

Penjadwalan Perawatan Komponen Pada Sistem Pendingin Main engine Crew Boat 41 GT

Andreas Nova¹, Tasya Putri Lindyawati², Nurvita Arumsari³, Aminatus Sa'diyah⁴

PT ELPI Tbk.¹

Program studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{2 3 4}

Email: andreas.nova@kctgroup.co.id¹; tasyaputri28@student.ppns.ac.id²; arum@ppns.ac.id³; am.sadiyah@ppns.ac.id⁴

Abstract - Currently, there is a growing trend of damages occurring to the main engine, with some cases leading to sailing delays or even endangering human safety. The Crew Boat 41 GT is a vessel operating to transport crews or provide offshore support. Therefore, it is crucial to pay attention to the maintenance of its main engine, especially the cooling sub-system, which plays a vital role in maintaining the working temperature of the main engine to prevent overheating. Consequently, a suitable maintenance scheduling strategy is required for the sub-system components of the Crew Boat 41 GT's main engine to ensure the operational efficiency of the main engine is not disrupted. This study aims to predict the reliability using both qualitative (FMEA) and quantitative methods (theoretical and Monte Carlo simulation) to develop a plan for preventive maintenance scheduling. FMEA analysis identified three critical components, there are sea water pump, heat exchanger, and fresh water pump. The results of the quantitative analysis for these three critical components showed that the RLLM = 0.6, with little difference between the two methods. Additionally, error calculations were performed using RMSE, MAPE, and MAE, with results close to 0. Moreover, from the evaluation of corrective and preventive maintenance, it was found that preventive maintenance is more recommended as it can save costs by approximately 16.26% or Rp 7,703,292.56 for a single maintenance of all components.

Keyword: Preventive maintenance, Corrective maintenance, Penjadwalan Perawatan

1. PENDAHULUAN

Sistem pendingin *main engine* merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam menjaga kerja *main engine* agar tetap berada dalam kondisi yang optimum karena sistem ini berfungsi untuk menjaga suhu kerja dari *main engine*.

Main engine DOOSAN 4V222TIL merupakan *main engine* yang digunakan pada kapal crewboat 41 GT, dimana kapal tersebut digunakan untuk mengangkut crew atau *support offshore*. dengan demikian perawatan dari *main engine* ini sangat penting terutama pada sistem pendinginnya. Komponen penyusun sistem pendingin *main engine* Doosan 4V222TIL adalah *sea water pump*, *fresh water pump*, *heat exchanger*, *oil cooler*, *intercooler*, dan *thermostat*.

Sebelumnya, komponen-komponen pada sistem pendingin *main engine* ini menggunakan perawatan *corrective maintenance* yang merupakan perbaikan yang akan dilakukan ketika suatu komponen mengalami kerusakan. Sementara perawatan jenis *corrective maintenance* memungkinkan *main engine* mengalami

kerusakan secara tiba-tiba saat digunakan, dan hal tersebut pastinya akan menimbulkan kerugian

Dengan demikian pada penelitian ini akan dilakukan penjadwalan perawatan dengan *preventive maintenance* untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan secara tiba-tiba dengan memperhitungkan biaya perawatan agar dapat dilakukan perbandingan jadwal perawatan sebelum dan sesudah adanya *preventive maintenance*, sehingga akan diketahui jadwal perawatan yang paling sesuai untuk diterapkan.

2. METODOLOGI.

Alur penelitian yang dilakukan sebagai berikut

2.1 Identifikasi Engine Cooling System

Engine cooling system adalah sub sistem penting pada *diesel engine* yang berfungsi mengatasi *over heating* agar mesin beroperasi secara stabil. *Cooling system* mengurangi panas dari pembakaran campuran bahan bakar dan udara, mempertahankan suhu optimal, dan mencegah keausan serta emisi gas berlebih. *Diesel engine* DOOSAN tipe 4V222TIL harus beroperasi pada suhu 76°C sampai 90°C, sehingga *cooling system*

berperan penting dalam mengatur suhu dengan komponen-komponen penyusunnya. [1]

Sea water pump adalah alat yang digunakan untuk memindahkan air laut melalui perpipaan dengan menambahkan energi secara terus menerus. *Sea water pump* pada *diesel engine* DOOSAN 4V222TIL menggunakan jenis *bronze impeller type driven by V-belt pulley*.

Fresh water pump adalah bagian vital dari instalasi pipa air bersih untuk menyediakan aliran air tawar ke. Salah satu tujuannya adalah mendinginkan *main engine* dan komponen-komponen lain yang memerlukan pendinginan.

Heat exchanger adalah komponen sistem pendingin yang berfungsi untuk mengubah suhu fluida dengan bertukar kalor dengan fluida lainnya. Pada kapal, fungsi *heat exchanger* adalah untuk mendinginkan mesin dengan menyerap panas dari air pendingin. Prinsip kerjanya melibatkan pertukaran kalor antara dua jenis fluida dengan suhu berbeda. *Heat exchanger* merupakan komponen penting dalam sistem pendingin. Pada DOOSAN 4V222TIL, sistem *heat exchanger* menggunakan *sea water* sebagai media penyerap panas dan *fresh water* sebagai fluida pendingin.

Intercooler adalah komponen penting dalam sistem pendingin mesin diesel yang mendinginkan udara hasil kompresi dengan *sea water*. Prinsip kerjanya adalah mentransfer panas dari udara yang dikompresi ke media pendingin, sehingga udara yang dingin memiliki kepadatan yang lebih tinggi dan meningkatkan efisiensi dan kinerja mesin.

Oil cooler adalah komponen penting pada kapal untuk mendinginkan minyak pelumas setelah melumasi komponen mesin induk. Kerusakan *oil cooler* harus dihindari karena dapat mempengaruhi kapasitas minyak pelumas dan menurunkan performa mesin induk.

Thermostat mengendalikan suhu mesin hingga mencapai suhu kerja. Ia akan membuka dan menutup secara otomatis sesuai suhu *engine*. Ketika suhu *engine* di bawah suhu kerja, *thermostat* tertutup, dan ketika suhu *engine* melebihi suhu kerja, *thermostat* terbuka untuk memasukkan aliran fluida pendingin ke *engine*.

2.2 Prediksi Nilai Reliability

Nilai *reliability* suatu komponen atau sistem tidak tetap dan akan berkurang seiring berjalannya waktu. Pada analisis kegagalan, waktu kegagalan (time to failure/TTF) sering digunakan sebagai variable random (t). Probabilitas kegagalan saat t = 0 adalah 0, dan cenderung mendekati 1 pada t = ∞. Fungsi distribusi kumulatif (Q(t)) mengukur probabilitas kegagalan sebagai fungsi waktu, dan

hubungannya dengan fungsi keandalan R(t) dinyatakan dengan rumus berikut

$$R(t) = 1 - Q(t) \quad (1)$$

Pada data TTF yang telah didapatkan, kemudian akan dilakukan uji distribusi untuk mengetahui distribusi yang sesuai dengan data TTF yang telah didapatkan, sehingga nantinya parameter untuk masing-masing distribusi akan diketahui dan prediksi *reliability* dapat dilakukan.

Distribusi eksponensial memiliki laju kerusakan konstan terhadap waktu. Parameter distribusinya adalah λ (laju kerusakan) yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan..

Cummulative Failure Distribution

$$F(t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Mean Time to Failure (MTTF)

$$MTTF = 1/\lambda \quad (4)$$

Parameter distribusi normal adalah μ (nilai rata-rata) dan σ (standar deviasi). Distribusi ini juga dikenal sebagai Gaussian Distribution dan memiliki ciri simetris di sekitar rata-rata dengan sebaran yang ditentukan oleh σ.

Cummulative Failure Distribution

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (5)$$

Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (6)$$

Mean Time to Failure (MTTF)

$$MTTF = \mu \quad (7)$$

Distribusi Lognormal memiliki dua parameter: μ' sebagai parameter bentuk (shape parameter) dan σ' sebagai parameter lokasi (location parameter), yang menentukan distribusi kerusakan [2].

Cummulative Failure Distribution

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu'}{\sigma'}$$

Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \varphi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad (9)$$

$$Tc_{(tp)} = \frac{Cp \times R_{(tp)} + Cf \times (1 - R_{(tp)})}{tp \times R_{(tp)} + \int_0^{tp} t \times f(t) dt} \quad (13)$$

Mean Time to Failure (MTTF)

$$MTTF = t_{med} s^2 / 2\mu \quad (10)$$

2.3 Corrective Maintenance

Corrective maintenance merupakan perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan [3]. *Emergency maintenance* adalah salah satu jenis dari *corrective maintenance* yang diperlukan untuk memfungsikan kembali peralatan secepatnya agar dampak yang lebih buruk dapat dihindari. Biaya yang harus dikeluarkan apabila melakukan perawatan ini dapat dihitung dengan rumus berikut

$$Cf = CF + ((CW + CO) \times MTTR_{failure}) \quad (11)$$

2.4 Preventive Maintenance

Preventive maintenance merupakan sebuah strategi pemeliharaan atau perawatan komponen yang terencana. Tujuan dari tindakan ini yaitu untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan atau kegagalan sebelum kegagalan tersebut terjadi. Berdasarkan *Reliability Lower Limit Maintenance (RLLM)* yakni yakni 0.6 atau 60% [4]. Komponen dengan nilai keandalan yang melewati batas nilai keandalan sebesar 0.6 akan diterapkan strategi penjadwalan baru yaitu *preventive maintenance*.

$$Cp = CF + (CW \times MTTR_{preventive}) \quad (12)$$

2.4 Rekomendasi Jadwal Perawatan

Rekomendasi jadwal perawatan didapatkan berdasarkan perbandingan biaya kedua jenis perawatan, Jenis perawatan yang memiliki nilai total paling sedikit untuk masing-masing komponen akan direkomendasikan untuk diaplikasikan.

2.9 Analisis Total Biaya Minimum

Perawatan yang efektif dilakukan secara terjadwal saat mesin tidak beroperasi dalam proses produksi. Perawatan yang terlalu sering dapat meningkatkan biaya perawatan, tetapi mengabaikan perawatan dapat menyebabkan penurunan kinerja mesin. Oleh karena itu, diperlukan pola maintenance yang optimal untuk mencapai keseimbangan antara biaya perawatan dan biaya kerusakan sehingga total cost menjadi minimal [5]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Cooling System

Cooling system pada *main engine* DOOSAN V222TI digunakan untuk menjaga suhu mesin agar tetap dalam rentang operasional yang aman dan efisien. Sistem ini menggunakan dua media pendingin, yaitu fresh water sebagai media utama yang menyerap panas dari komponen mesin, dan sea water sebagai media sekunder yang membantu mendinginkan fresh water dan menghilangkan panasnya ke lingkungan melalui saluran pembuangan. Pertukaran panas antara kedua media pendingin terjadi di *heat exchanger*. Komponen-komponen seperti *sea water pump*, *heat exchanger*, *fresh water pump*, *intercooler*, *oil cooler*, dan *thermostat* bekerja secara sinergis dalam menjaga sistem pendinginan mesin berfungsi dengan baik, sehingga perawatan mereka menjadi hal yang penting

3.2 Prediksi Nilai Reliability

Sebelum prediksi nilai *reliability* dilakukan, distribusi dan parameter untuk tiap komponen ditentukan berdasarkan data waktu kegagalan. Pemilihan distribusi dan parameter dilakukan dengan memperhatikan nilai *P-Value* tertinggi dan nilai *Anderson darling* terendah dari hasil *import data TTF* setiap komponen. Berikut adalah hasil uji distribusi untuk masing-masing komponen.

Tabel 1 Hasil Uji Distribusi

| Komponen | Distribusi | AD | P |
|----------------|-------------|-------|-------|
| SW Pump | Normal | 0,279 | 0,545 |
| Heat Exchanger | Ekponential | 0,212 | 0,516 |
| FW Pump | Lognormal | 0,322 | 0,738 |

Berdasarkan hasil uji distribusi yang telah dilakukan, diketahui distribusi yang sesuai untuk masing-masing komponen. Berikut adalah nilai parameter dari hasil uji distribusi yang telah dilakukan untuk selanjutnya dapat diketahui prediksi nilai *reliability* nya.

Tabel 2 Parameter Distribusi

| Komponen | Distribusi | Parameter | |
|----------------|-------------|-----------|---------|
| | | Location | Scale |
| SW Pump | Normal | 1189,000 | 504,783 |
| Heat Exchanger | Ekponential | - | 838,055 |
| FW Pump | Lognormal | 7,058 | 0,416 |

Setelah uji distribusi dilakukan maka telah diketahui distribusi dan parameter yang digunakan untuk masing-masing komponen dalam melakukan prediksi nilai *reliability*. Prediksi dapat dilakukan sesuai dengan rumus untuk masing-masing distribusi yang digunakan. Berikut adalah hasil prediksi nilai *reliability* untuk masing-masing komponen.

Tabel 3 Hasil Prediksi Nilai *Reliability*

| SW Pump | | Heat Exchanger | | FW Pump | |
|---------|--------|----------------|--------|---------|--------|
| t | R(t) | t | R(t) | t | R(t) |
| 1040 | 0.6161 | 580 | 0.6141 | 1000 | 0.6407 |
| 1050 | 0.6085 | 590 | 0.6089 | 1010 | 0.6317 |
| 1060 | 0.6009 | 600 | 0.6038 | 1020 | 0.6227 |
| 1070 | 0.5932 | 610 | 0.5988 | 1030 | 0.6138 |
| 1080 | 0.5855 | 620 | 0.5938 | 1040 | 0.6048 |
| 1090 | 0.5777 | 630 | 0.5888 | 1050 | 0.5960 |
| 1100 | 0.5700 | 640 | 0.5839 | 1060 | 0.5871 |
| 1110 | 0.5622 | 650 | 0.5790 | 1070 | 0.5783 |
| 1120 | 0.5544 | 660 | 0.5741 | 1080 | 0.5695 |
| 1130 | 0.5465 | 670 | 0.5693 | 1000 | 0.6407 |

3.3 Biaya Perawatan

Yang membedakan antara biaya perawatan *corrective* dan *preventive maintenance* adalah pada biaya konsekuensi. Pada *preventive maintenance* tidak terdapat biaya konsekuensi karena perawatan ini merupakan jenis perawatan pencegahan sehingga konsekuensi kerusakan secara tiba-tiba dapat dihindarkan. Berikut adalah uraian biaya untuk masing-masing komponen

Tabel 4 Uraian Biaya

| Biaya | SW Pump | Heat Exchanger | FW Pump |
|---------|------------------|-----------------|-----------------|
| CF (Rp) | Rp 12.788.700,00 | Rp 1.491.400,00 | Rp 1.296.300,00 |
| CW (Rp) | Rp 333.500,00 | Rp 392.900,00 | Rp 448.800,00 |
| CO (Rp) | Rp 434.500,00 | Rp 434.500,00 | Rp 434.500,00 |

Tabel 4 merupakan uraian biaya masing-masing komponen yang nantinya akan digunakan untuk menghitung biaya *corrective* dan *preventive maintenance*. Parameter yang dibutuhkan untuk menghitung biaya adalah MTTR (*Mean Time To Repair*), nilai MTTR didapatkan dari rata-rata TTR yang didapatkan dari data *record* kerusakan, berikut adalah nilai MTTR untuk masing-masing komponen.

Tabel 5 MTTR Tiap Komponen

| Komponen | MTTR (jam) |
|----------------|------------|
| SW Pump | 7,5 |
| Heat Exchanger | 6,36 |

| | |
|---------|------|
| FW Pump | 5,57 |
|---------|------|

Setelah diketahui seluruh parameter yang dibutuhkan, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan biaya *corrective* dan *preventive maintenance* untuk masing-masing komponen. Perhitungan biaya dapat dilakukan sesuai dengan rumus (11) dan (12). Berikut adalah hasil perhitungan biaya *corrective* dan *preventive maintenance* untuk masing-masing komponen.

Tabel 6 Biaya *Corrective* dan *Preventive Maintenance*

| Komponen | Biaya Maintenance | |
|----------------|-------------------|------------------|
| | Corrective | Preventive |
| SW Pump | Rp 29.805.100,00 | Rp 24.688.100,00 |
| Heat Exchanger | Rp 15.430.300,00 | Rp 9.144.200,00 |
| FW Pump | Rp 9.490.200,00 | Rp 5.826.200,00 |
| Biaya Total | Rp 54.725.600,00 | Rp 39.658.500,00 |

Setelah diketahui biaya maintenance untuk masing-masing komponen, berikut adalah persentase perbandingan biaya *corrective* dan *preventive maintenance* untuk masing-masing komponen.

Tabel 7 Selisih Biaya *Corrective* dan *Preventive Maintenance*

| Komponen | Selisih Biaya | |
|--------------------|------------------|-------|
| | Rp | % |
| SW Pump | Rp 5.117.000,00 | 17,17 |
| Heat Exchanger | Rp 6.286.100,00 | 40,74 |
| FW Pump | Rp 3.664.000,00 | 38,61 |
| Perbandingan Total | Rp 15.067.100,00 | 27,53 |

Berdasarkan hasil perhitungan biaya *corrective* dan *preventive maintenance*, diketahui bahwa *preventive maintenance* direkomendasikan untuk diaplikasikan pada seluruh komponen, karena biaya yang dikeluarkan untuk *preventive maintenance* lebih sedikit dibandingkan dengan *corrective maintenance*, hal tersebut dipengaruhi adanya biaya konsekuensi pada *corrective maintenance*. Dengan demikian *preventive maintenance* direkomendasikan untuk diaplikasikan karena penghematan biaya yang dapat dihasilkan adalah sebesar 27,53% atau senilai Rp 15.067.100,00

3.4 Analisis Total Biaya Minimum

Analisis total biaya minimum dilakukan untuk mencari pola *maintenance* optimal dengan mencapai keseimbangan antara biaya perawatan dan biaya kerusakan yang paling minimal.

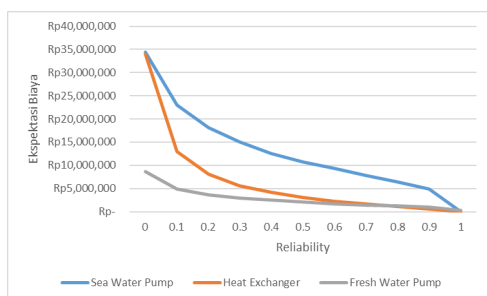
Total biaya minimum dapat diketahui dengan menggunakan rumus (13). Diketahui bahwa

seluruh parameter yang dibutuhkan telah didapatkan pada perhitungannya sebelumnya yaitu prediksi nilai *reliability* pada interval T tertentu, biaya *corrective maintenance* dan biaya *preventive maintenance*. Dengan demikian berikut adalah hasil perhitungannya total biaya minimum untuk masing-masing komponen.

Tabel 8 Ekspektasi Total Biaya Minimum

| R | Ekspektasi Total Biaya Minimum | | |
|-----|--------------------------------|------------------|-----------------|
| | SW Pump | Heat Exchanger | FW Pump |
| 1 | Rp 0 | Rp 0 | Rp 238.548,00 |
| 0,9 | Rp 4.833.249,00 | Rp 521.862,00 | Rp 962.880,00 |
| 0,8 | Rp 6.483.634,00 | Rp 1.057.858,00 | Rp 1.196.231,00 |
| 0,7 | Rp 7.852.742,00 | Rp 1.632.446,00 | Rp 1.456.058,00 |
| 0,6 | Rp 9.280.766,00 | Rp 2.271.516,00 | Rp 1.732.105,00 |
| 0,5 | Rp 10.740.023,00 | Rp 3.076.997,00 | Rp 2.071.080,00 |
| 0,4 | Rp 12.616.140,00 | Rp 4.135.145,00 | Rp 2.475.872,00 |
| 0,3 | Rp 15.009.542,00 | Rp 5.609.880,00 | Rp 2.979.529,00 |
| 0,2 | Rp 18.190.975,00 | Rp 8.050.560,00 | Rp 3.687.886,00 |
| 0,1 | Rp 23.074.338,00 | Rp 12.953.579,00 | Rp 4.878.732,00 |
| 0 | Rp 34.442.102,00 | Rp 33.957.710,00 | Rp 8.587.647,00 |

Berdasarkan tabel 8 diketahui bahwa komponen yang memiliki ekspektasi total biaya minimum terbesar adalah komponen *sea water pump*. Selanjutnya adalah penggambaran grafik hasil perhitungannya untuk mengetahui tren yang dihasilkan dari perhitungannya yang telah dilakukan. Berikut adalah grafik ekspektasi total biaya minimum untuk masing-masing komponen.



Gambar 1 Grafik Ekspektasi Total Biaya Minimum

Berdasarkan grafik ekspektasi total biaya minimum, diketahui bahwa hasil dari perhitungan ekspektasi total biaya minimum akan terus meningkat seiring dengan lama masa gunanya dan penurunan nilai *reliability* komponen tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan pada *preventive maintenance* dianjurkan untuk diaplikasikan karena penghematan biaya yang dapat dilakukan sebesar 27,53% atau senilai Rp 15.067.100,00. Dan berdasarkan ekspektasi total biaya minimum, diketahui bahwa biaya minimum terbesar adalah komponen *sea water pump*, yaitu sebesar Rp 34.442.102,00 dan ekspektasi total biaya minimum suatu komponen akan terus meningkat seiring dengan lama masa gunanya dan penurunan nilai *reliability* komponen tersebut.

5. PUSTAKA

- [1] DOOSAN MANUAL BOOK, "Operation & Maintenance Manual," 2020.
- [2] N. Arumsari *et al.*, "Prediksi *Reliability* Pada Komponen Strainer Dan Lo Cooler," *Tekno. Marit.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–9, 2020.
- [3] D. Harmila, R. Rais, and F. Fadjryani, "Analisis Keaktifan Mahasiswa Jurusan Matematika Fakultas Mipa Universitas Tadulako Dengan Metode Mann Whitney," *J. Ilm. Mat. Dan Terap.*, vol. 12, no. 2, pp. 104–114, 2017, doi: 10.22487/2540766x.2015.v12.i2.7903.
- [4] T. W. MacFarland and J. M. Yates, "Introduction to Nonparametric Statistics for the Biological Sciences Using R," *Introd. to Nonparametric Stat. Biol. Sci. Using R*, 2016, doi: 10.1007/978-3-31930634-6.
- [5] Amira Herwindyani Hutasuhut, "Pembuatan Aplikasi Pendukung Keputusan Untuk Peramalan Persediaan Bahan Baku Produksi Plastik Blowing dan Inject Menggunakan Metode ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) Di CV. Asia," *J. Tek. POMITS*, vol. 3, no. 2, pp. A169–A174, 2014.
- [6] D. Smith, J. *RELIABILITY MAINTENABILITY AND RISK*, 8th ed. Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2011.

