

Perbandingan Model Peluang Kegagalan Pada Sistem Pendingin Main engine Crew Boat 41 GT

Tasya Putri Lindyawati¹, Nurvita Arumsari², Aminatus Sa'diyah³ Irfatin Ni'matus Sa'idah⁴

Program studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1 2 3}

PT ELPI Tbk.⁴

Email: tasyaputri28@student.ppns.ac.id¹; arum@ppns.ac.id²; am.sadiyah@ppns.ac.id³; Email Pembimbing⁴

Abstract - Damage to the main engine is currently common, some cases result in sailing delays or even threaten human safety. Crew boat 41 GT is a ship that operates to transport crew or support offshore. Thus, it is necessary to pay attention to the maintenance of the main engine, especially the cooling sub-system which plays an important role in maintaining the working temperature of the main engine so as not to overheat. Therefore, it is necessary to predict the failure of the 41 GT crew boat main engine cooling sub-system components so that the right time can be determined to carry out maintenance on these components before damage occurs. In this study, the prediction of reliability value was carried out using qualitative (FMEA) and quantitative (theoretical and Monte carlo simulation) methods. FMEA analysis resulted in 3 critical components, namely sea water pump, heat exchanger and fresh water pump. The results of quantitative analysis of 3 critical components at RLLM = 0.6 between the two methods are not much different and error calculations have been carried out with RMSE, MAPE, and MAE with results close to 0. So, it can be seen that the MCS method can be applied to predict reliability values.

Keyword: Reliability, Monte Carlo Simulation, FMEA

1. PENDAHULUAN

Main engine atau mesin utama kapal merupakan komponen penting yang berfungsi sebagai tenaga penggerak kapal untuk menggerakkan *propeller* dan mencapai kecepatan yang diinginkan. Namun, kinerjanya sangat tergantung pada sistem penunjang yang ada. Sistem penunjang mesin utama ini terdiri dari sistem bahan bakar, sistem pelumas, dan sistem pendingin.

Kinerja *main engine* dapat terganggu apabila sistem penunjang tidak dirawat dengan baik, sehingga perawatan yang tepat perlu dilakukan untuk menjaga operasional yang optimal dan mencegah kerusakan fatal serta kegagalan operasional kapal. Sebagai contoh, di Indonesia, sering terjadi kasus kerusakan *main engine* yang berdampak pada keterlambatan berlayar, kegagalan berlayar, dan bahaya keselamatan manusia.

Kerusakan *main engine* juga sering terjadi akibat jam operasional yang tinggi dan penjadwalan perawatan yang kurang tepat. Namun, kerusakan pada *main engine* dapat dicegah melalui pemeliharaan dan perawatan berkala pada komponen sistem penunjangnya, yang juga dikenal sebagai *preventive maintenance*. Metode analisis kualitatif seperti FTA (*Fault-Tree Analysis*) dan FMEA (*Failure*

Modes and Effects Analysis), serta analisis kuantitatif seperti simulasi *Monte carlo* (MCS), dapat digunakan untuk memprediksi keandalan sistem.

Crew boat 41 GT merupakan salah satu kapal milik perusahaan pelayaran di Indonesia yang bertugas mengangkut *crew* dan *support* peralatan untuk bangunan lepas pantai. Oleh karena itu, keandalan dan kinerja *main engine* pada kapal ini menjadi krusial. *Main engine* yang digunakan pada *crew boat* ini adalah merk DOOSAN tipe 4V222TIL. Dengan demikian, sistem pendingin atau cooling system yang merupakan salah satu sistem *main engine* yang berperan penting dalam menjaga suhu kerja *main engine*, termasuk komponen komponennya seperti *sea water pump*, *fresh water pump*, *heat exchanger*, *oil cooler*, *intercooler*, dan *thermostat*, juga harus mendapatkan perhatian khusus dalam perawatannya agar *main engine* dapat beroperasi dengan baik.

Metode kualitatif FMEA akan digunakan untuk menentukan komponen kritis dalam sistem pendingin *main engine*, kemudian dari komponen kritis yang didapatkan, akan dilakukan prediksi nilai *reliability* dengan menggunakan metode kuantitatif yaitu *theoretical* dan MCS. Kedua metode tersebut kemudian akan dibandingkan berdasarkan error prediksi yang diperoleh dengan

hasil aktualnya. Evaluasi error yang digunakan adalah nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). Metode prediksi yang terbaik diperoleh berdasarkan nilai error paling minimum.

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 $t = \infty$. 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 penelitian ini, digunakan analisis prediksi *reliability* dengan metode kualitatif (FMEA) dan metode kuantitatif (*theoretical* dan simulasi *Monte carlo*/MCS).

2.3 FMEA (Failure Mode Effect Analysis)

FMEA adalah metode analisis kualitatif yang mengevaluasi desain komponen dan sistem dengan mempertimbangkan mode kegagalan dan dampaknya terhadap keandalan system. Metode ini mengidentifikasi penyebab, efek, dan tingkat kekritisan kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses. Tujuannya adalah melakukan tindakan perbaikan untuk meningkatkan desain dan mengurangi probabilitas kegagalan yang kritis.

FMEA menggunakan analisis kualitatif dengan penilaian SOD (*severity, occurrence, detection*). Setiap perusahaan memiliki SOP untuk memberikan penilaian SOD dari analisis kualitatif. Pada perusahaan pelayaran pemilik kapal *crew boat* 41 GT, penilaian dilakukan oleh tim kompeten dengan mengikuti matrix risiko dan kriteria (Sangat Tinggi, Tinggi, Menengah, Rendah, Sangat Rendah).

Tabel 1 Risk Matrix Factor

Risk Factor Matrix					Probability		
Potential Consequence					High (H)	Medium (M)	Low (L)
Hazard Effect Rating	People	Facilities (Rp)	Bussines Loss (Rp)	Environment	Common Occurrence (at least once per quarter)	Likely to occur at least once in six months	Occurrence less than once per year
Very High (VH)	Multiple Fatalities (>1 person)	Major Loss greater than 50 Billion	Major Loss greater than 50 Billion	Total Loss of Containment > 200 L	15	14	11
High (H)	Fatality or Permanent Disability	Significant Damage with loss >500 Million < 50 Billion	Damage with loss >500 Million < 50 Billion	Hydrocarb on Spill exceeding > 50 - 200 L	13	12	10
Medium (M)	LTI, RWC, Temporary Disability, Medical Treatment, Hospitalization	Moderate Damage Loss >15 - 500 Million	Moderate Damage Loss >15 - 500 Million	Spill > 20 - 50 L	9	8	4
Low (L)	No Hospitalization; First Aid	Damage worth 1 - 15 Million	Damage worth 1 - 15 Million	Spill 10 - 20 L	7	6	2
Very Low (VL)	Simple First Aid	Damage worth less than 1 Million	Damage worth less than 1 Million	Spill less than 10 L	5	3	1

2.4 MCS (Monte Carlo Simulation)

Metode analisis data kuantitatif, seperti simulasi *Monte carlo*, digunakan untuk prediksi nilai *reliability* suatu sistem atau komponen. Analisis ini melibatkan pembangkitan bilangan acak, konversi ke distribusi non-uniform, dan perhitungan nilai *reliability* berdasarkan prediksi waktu yang diinginkan. Terdapat beberapa macam jenis distribusi yang digunakan untuk evaluasi keandalan [2]

- Membangkitkan bilangan random berdistribusi uniform (0,1) sebanyak 100
- Data random hasil bangkitan kemudian dikonversikan ke distribusi non uniform dengan transformasi invers CDF berdasarkan jenis distribusi dan nilai parameter yang dihasilkan pada data aktual
- Uji validitas data aktual dengan data hasil transformasi bilangan random
- Penentuan jenis distribusi dan parameter dari data transformasi bilangan random berdasarkan nilai *P-value* tertinggi dan nilai Anderson Darling terendah
- Perhitungan nilai *reliability monte carlo* berdasarkan prediksi waktu yang diinginkan

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

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

Fungsi Keandalan

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

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[3].

Cummulative Failure Distribution

$$F(t) = \varphi\left(\frac{\ln(t)-\mu'}{\sigma'}\right) \quad (8)$$

Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \varphi\left(\frac{\ln(t)-\mu'}{\sigma'}\right) \quad (9)$$

Mean Time to Failure (MTTF)

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

2.5 Mann-Whitney U Test

Uji Mann Whitney adalah metode statistik non parametrik yang digunakan untuk membandingkan dua sampel bebas dan menguji signifikansi perbedaan antara dua populasi. Metode ini digunakan ketika asumsi statistik parametrik tidak terpenuhi. [4]

Prinsip dari uji *Mann-Whitney* adalah membandingkan peringkat antara dua kelompok independen untuk menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan di antara mereka.

Hipotesis yang digunakan sebagai berikut.

H_0 : Tidak ada perbedaan antara data TTF aktual dengan transformasi bilangan random

H_1 : Ada perbedaan antara data TTF aktual dengan transformasi bilangan random

Perbedaan signifikan yang diizinkan untuk uji validasi ini adalah kurang dari 5% atau $p \geq 0.05$. [5]

2.6 Evaluasi Hasil Prediksi

Dalam melakukan evaluasi akurasi hasil prediksi *reliability* digunakan tiga jenis error yaitu MAE (*Mean Absolute Error*), MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) yang dinyatakan sebagai berikut. [2]

$$MAE = \frac{\sum_{n=1}^N |r_n - \hat{r}_n|}{N} \quad (11)$$

$$MAPE = \sum_{n=1}^N \left| \frac{r_n - \hat{r}_n}{r_n} \right| \times 100\% \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N |r_n - \hat{r}_n|^2}{N}} \quad (13)$$

Semakin besar nilai error, maka terdapat perbedaan besar antara kedua data dan prediksi kurang akurat. Sebaliknya, semakin kecil nilai error, maka terdapat perbedaan kecil antara kedua data dan prediksi lebih akurat. Nilai MAPE yang rendah menunjukkan model peramalan yang baik, dan rentang nilai MAPE dapat dilihat pada tabel berikut [6]

Tabel 2 Signifikansi MAPE

MAPE	Signifikasi
<10%	Kemampuan peramalan sangat baik
10-20%	Kemampuan peramalan baik
20-50%	Kemampuan peramalan layak/memadai
>50%	Kemampuan peramalan buruk

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 Identifikasi Kegagalan dengan FMEA

Analisis kegagalan dengan FMEA sangat sesuai untuk komponen-komponen sistem pendingin yang akan dianalisis. FMEA membantu menentukan dampak dan penanganan kerusakan komponen, serta pengaruhnya terhadap kinerja *main engine* dan operasional kapal. FMEA mencakup fungsi komponen, mode kegagalan, penyebab, dampak, detection, perbaikan, dan initial risk. Analisis ini membantu mengidentifikasi komponen kritis dan memungkinkan penjadwalan preventive maintenance. FMEA dilaksanakan oleh tenaga ahli yang kompeten dalam menangani diesel engine kapal Crew Boat 41 GT, yaitu technical analyst dan technical support engineer.

Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa komponen-komponen dengan rating tinggi adalah *sea water pump*, *fresh water pump*, dan *heat exchanger*. Komponen-komponen ini termasuk dalam kategori komponen kritis yang memerlukan analisis kuantitatif keandalan lebih lanjut. Evaluasi keandalan akan membantu menentukan nilai keandalan komponen dan merencanakan penjadwalan perawatan serta jenis perawatan yang tepat untuk komponen-komponen tersebut [7].

3.3 Analisis Kuantitatif Keandalan

Sebelum dilakukannya prediksi *reliability*, 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 3 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

Prediksi *reliability* secara *theoretical* adalah metode untuk memperkirakan umur suatu sistem atau produk menggunakan model matematika dan statistik. Metode ini membantu merencanakan perawatan dan perbaikan sistem agar berkinerja optimal. Prediksi tersebut didasarkan pada model distribusi reliabilitas yang sesuai dengan data kerusakan yang telah diolah untuk setiap komponen. Hasil prediksi ini memberikan perkiraan nilai *reliability* untuk masing-masing komponen. Berikut adalah hasil prediksi nilai *reliability* secara *theoretical*.

Tabel 4 Hasil Prediksi Nilai *Reliability* secara *Theoretical*

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

Setelah melakukan prediksi nilai *reliability* secara *theoretical* dengan distribusi dan parameter yang relevan, langkah berikutnya adalah melakukan prediksi nilai *reliability* dengan menggunakan simulasi *Monte carlo*. Simulasi *Monte carlo* adalah metode numerik yang digunakan untuk memodelkan atau memprediksi hasil acak dalam berbagai situasi. Metode ini menghasilkan rangkaian nilai acak berdasarkan distribusi yang telah ditentukan, dan kemudian dilakukan analisis statistik terhadap nilai-nilai tersebut untuk mendapatkan estimasi atau prediksi nilai *reliability*. Tahapan penentuan nilai *reliability* dengan metode MCS dilakukan sesuai dengan tahapan pada 2.4.

Sebelum diketahui hasil prediksi nilai *reliability* dengan metode ini, random data yang telah dilakukan harus di uji validasi dengan menggunakan uji Mann Whitney. Berikut adalah hasil uji Mann Whitney untuk masing masing komponen

Tabel 5 Hasil Uji Mann Whitney Test

Komponen	P-Value
Sea Water Pump	0,9486
Heat Exchanger	0,6605
Fresh Water Pump	0,9347

Berdasarkan penjelasan pada bab 2.5, maka diketahui bahwa *P-value* yang dihasilkan melebihi nilai signifikansi 5% sehingga keputusan yang diambil adalah gagal menolak H_0 . Hal ini menunjukkan tidak ada perbedaan antara data TTF aktual dengan transformasi invers. Yang berarti hasil transformasi invers untuk data transformasi invers berupa data TTF yang baru dinyatakan valid. Dengan demikian dapat dilakukan perhitungan nilai *reliability* dengan menggunakan random data yang telah diuji kemudian di lakukan intvers transformasi untuk mengetahui distribusi yang digunakan dalam

menentukan prediksi nilai *reliability* pada metode MCS

Tabel 6 Jenis Distribusi metode MCS

Komponen	Distribusi	AD	P
SW Pump	Normal	0,177	0,918
Heat Exchanger	Ekponential	0,370	0,697
FW Pump	Lognormal	0,350	0,467

Setelah diketahui jenis distribusi yang digunakan, selanjutnya dapat dilakukan prediksi nilai *reliability* dengan simulasi *monte carlo*

Tabel 7 Hasil Prediksi Nilai *Reliability* dengan MCS

SW Pump		Heat Exchanger		FW Pump	
t	R(t)	t	R(t)	t	R(t)
1040	0.6345	580	0.6357	1000	0.6307
1050	0.6272	590	0.6308	1010	0.6215
1060	0.6198	600	0.6259	1020	0.6124
1070	0.6124	610	0.6210	1030	0.6033
1080	0.6050	620	0.6162	1040	0.5943
1090	0.5975	630	0.6114	1050	0.5853
1100	0.5900	640	0.6066	1060	0.5763
1110	0.5825	650	0.6019	1070	0.5674
1120	0.5749	660	0.5972	1080	0.5585
1130	0.5673	670	0.5926	1000	0.6307

3.4 Perbandingan Hasil Simulasi Prediksi

Dalam analisis prediksi, keakuratan dan performa model prediksi menjadi penting. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan tiga metode yang umum digunakan: MAE (Mean Absolute Error) pada rumus (11), MAPE (Mean Absolute Percentage Error) pada rumus (12), dan RMSE (Root Mean Square Error) pada rumus (13). Grafik perbandingan antara nilai R secara *theoretical* dan R dengan simulasi *Monte carlo* juga dibuat untuk evaluasi perbandingan hasil dari kedua metode.

Data evaluasi menggunakan $R(t)$ *theoretical* dan $R(t)$ *Monte carlo* dengan indeks t sebanyak 10 data yang berada diantara range t (waktu) dimana komponen mencapai RLLM 0,6 [8]. Oleh karena itu, data waktu yang digunakan untuk masing-masing komponen akan berbeda.

Tabel 4 Hasil Perbandingan prediksi MCS dan Perhitungan Aktual

Evaluasi Error	SW Pump	Heat Exchanger	FW Pump
RMSE	0,0196	0,0225	0,0103
MAPE	3,3859%	3,802%	1,75%

MAE	0,0196	0,0225	0,0106
-----	--------	--------	--------

Dari hasil tabel 4 terlihat bahwa nilai error untuk masing-masing komponen sangat kecil, menunjukkan tingkat keakuratan yang tinggi dari prediksi yang telah dilakukan. Selain itu, nilai error berdasarkan MAPE kurang dari 10%, yang berarti prediksi memiliki signifikansi yang sangat baik berdasarkan tabel 2.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan identifikasi kegagalan dengan metode FMEA, diketahui bahwa terdapat tiga komponen kritis yaitu *sea water pump*, *heat exchanger*, dan *fresh water pump*. Pada ketiga komponen kritis tersebut kemudian dilakukan prediksi nilai reliability dengan menggunakan metode theoretical dan *monte carlo simulation*, hasil error kedua metode sangat kecil. Pada perhitungan MAE dan RMSE, nilai error mendekati 0, dan untuk MAPE nilai error < 10% atau dapat dinyatakan bahwa prediksi memiliki signifikansi sangat baik, sehingga *monte carlo simulation* dapat digunakan sebagai metode untuk mengetahui prediksi nilai *reliability* suatu komponen.

5. PUSTAKA

- [1] DOOSAN MANUAL BOOK, "Operation & Maintenance Manual," 2020.
- [2] N. Arumsari *et al.*, "Prediksi *Reliability* Pada Komponen Strainer Dan Lo Cooler," *Teknol. Marit.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–9, 2020.
- [3] P. Kvam and J. C. Lu, "Statistical *Reliability* with Applications," *Springer Handbooks*, pp. 49–61, 2006, doi: 10.1007/978-1-84628-288-1_2.
- [4] 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.
- [5] 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: 10.1007/978-3-319-30634-6.
- [6] 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.

- [7] E. S. Hadi and U. Budiarto, "Analisa Keandalan Sistem Bahan Bakar Motor Induk Pada KM. Leuser," *Kapal*, vol. 5, no. 3, pp. 123–135, 2008.
- [8] D. Smith, J. *RELIABILITY MAINTENABILITY AND RISK*, 8th ed. Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2011.