

**ANALISIS PENILAIAN PERFORMANSI MESIN TOSHIBA PADA PT XYZ
BERDASARKAN ANALISIS TREND DAN KORELASI SERIAL DENGAN
MENGUNAKAN METODE RELIABILITY, AVAILABILITY, AND
MAINTAINABILITY (RAM)**

**ANALYSIS OF PERFORMANCE INDICATOR OF MACHINE TOSHIBA AT PT XYZ
BASED ON TREND ANALYSIS AND SERIAL CORRELATION USING RELIABILITY,
AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY (RAM) METHOD**

Ariqa Radhwa¹, Judi Alhilman², Endang Budiasih³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹ariqaaraa@student.telkomuniversity.ac.id, ²judi.alhilman@telkomuniversity.ac.id,

³endangbudiasih@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Mesin Toshiba merupakan salah satu mesin CNC yang memiliki frekuensi kerusakan tertinggi dibanding mesin CNC lainnya pada PT XYZ. Kerusakan mesin yang dapat terjadi secara terus-menerus berdampak pada *operational* perusahaan yang dapat membuat aktivitas utama tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu, perlu adanya analisis *Reliability*, *Availability* dan *Maintainability* (RAM) untuk mengetahui performansi mesin dan untuk mengurangi frekuensi kerusakan pada subsistem kritis mesin tersebut. Mesin Toshiba memiliki enam subsistem, dengan menggunakan risk matrix terdapat tiga subsistem kritis yaitu subsistem *hydraulic*, *coolant*, dan *spindle*. Asumsi dalam melakukan RAM *analysis* yaitu data TBF dan TTR subsistem kritis harus *Independent and Identically Distributed* (IID) dengan melihat pada analisis *trend* dan korelasi serial. Setiap subsistem kritis merupakan IID karena data TBF dan TTR tidak memiliki *trend* dan korelasi serial. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode RAM *analysis* dengan menggunakan pemodelan *Reliability Block Diagram* (RBD), pada $t = 680$ jam nilai *reliability hydraulic* (69.14%), *coolant* (71.35%), *spindle* (74.53%) dan keseluruhan sistem kritis yaitu 36.77%. Untuk mencapai nilai *maintainability* 100% membutuhkan waktu berkisar antara 1 - 17 jam dengan nilai *inherent availability* 99.49% dan *operational availability* 98.89%. Berdasarkan hasil evaluasi standar IVARA *World Class Maintenance Target for Key Performance Indicator*, nilai *leading indicator* dan *lagging indicator* telah mencapai target.

Kata Kunci : Mesin Toshiba, *Reliability*, *Availability*, *Maintainability*, RAM *analysis*, *Independent and Identically Distributed* (IID), *Reliability Block Diagram* (RBD).

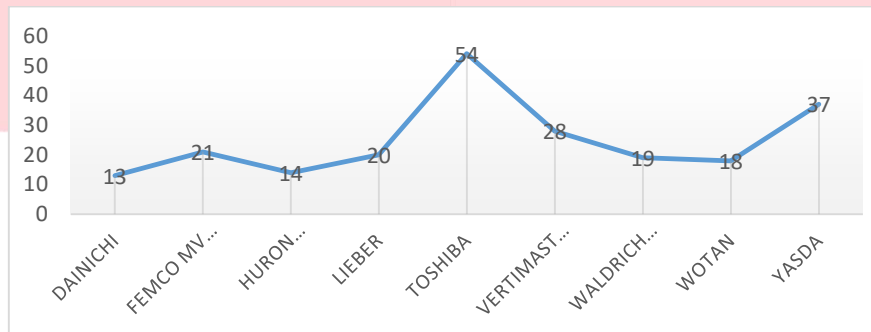
Abstract

Toshiba machine is one of the CNC machines that has the highest frequency of damage compared to other CNC machines at PT XYZ. Machine damage that can occur continuously has an impact on the company operations that can make the main activities can not be done. Therefore, it is necessary to have a Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) analysis to determine the performance of machine and to reduce the frequency of damage to the critical subsystem of the machine. Toshiba machines have six subsystems, using the risk matrix there are three critical subsystems namely hydraulic, coolant, and spindle subsystems. Assumptions in performing RAM analysis are TBF data and TTR critical subsystems must be Independent and Identically Distributed (IID) by looking at trend analysis and serial correlation. Each critical subsystem is an IID because TBF and TTR data do not have trends and serial correlations. Based on the results of data processing using the RAM analysis method using Reliability Block Diagram (RBD) modeling, at $t = 680$ hours the value of hydraulic reliability (69.14%), coolant (71.35%), spindles (74.53%) and the overall critical system is 36.77%. To achieve 100% maintainability, it takes between 1-17 hours with an inherent availability of 99.49% and operational availability of 98.89%. Based on the evaluation results of IVARA World Class Maintenance Standards Target for Key Performance Indicators, the value of leading indicators and lagging indicators have reached the target.

Keywords : *Toshiba Machine*, *Reliability*, *Availability*, *Maintainability*, RAM *analysis*, *Independent and Identically Distributed* (IID), *Reliability Block Diagram* (RBD).

1. Pendahuluan

PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang Alutsista (Alat Utama Sistem Persenjataan) dan produk komersial. Kelompok produk yang diproduksi diantaranya, produk senjata, munisi, kendaraan khusus, tempa cor & alat perkeretaapian, alat berat dan bahan peledak komersial. Kelompok produk dan layanan alat berat menghasilkan produk-produk pendukung industri konstruksi, pertambangan, perkapalan, kelistrikan, dan pertanian. Divisi alat berat merupakan salah satu divisi pada PT XYZ yang memproduksi alat berat dan komponen transportasi. Dalam melakukan produksi, produk-produk tersebut membutuhkan mesin yang mumpuni. Permesinan pada divisi alat berat terdiri atas dua macam yaitu mesin konvensional dan mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*). Jika dibandingkan mesin konvensional, mesin CNC lebih banyak membutuhkan perawatan. Berikut merupakan data frekuensi kerusakan mesin CNC pada divisi alat berat tahun 2017-2019.



Gambar 1 Data Frekuensi Kerusakan Mesin CNC Tahun 2017-2019

Mesin Toshiba memiliki kerusakan terbanyak dari pada mesin lainnya dengan 54 kali kerusakan dalam kurun waktu tiga tahun. Salah satu faktor peningkatan kerusakan karena banyaknya produk yang harus di produksi oleh mesin sehingga mesin sering mengalami *breakdown*. *Breakdown* mesin terjadi secara tiba-tiba dan tidak terprediksi, hal tersebut akan menghambat proses produksi sehingga mengakibatkan jumlah produksi menurun dan akan mengurangi kredibilitas perusahaan. Sehingga penting untuk mengetahui keandalan, ketersediaan, dan kemampuan perawatan mesin agar perusahaan dapat menekan tingkat kerusakan dengan melakukan pemeliharaan dan perbaikan yang sesuai agar mesin selalu memiliki kinerja yang baik. Salah satu metode untuk memeriksa keandalan, ketersediaan, dan kemampuan perawatan mesin yaitu metode *Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) analysis*. *RAM analysis* merupakan metode yang dapat digunakan untuk memprediksi dan mengevaluasi kinerja sistem. Metode *RAM analysis* dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem yang kompleks [1]. Hal tersebut memungkinkan bukan hanya mengidentifikasi komponen kritis untuk perencanaan perawatan, namun juga menentukan keandalan dan ketersediaan sistem secara kuantitatif. Tujuan dari *RAM analysis* adalah meningkatkan kemampuan sistem untuk beroperasi secara normal dalam waktu yang lama, tanpa terjadi kegagalan [2]. Sehingga diharapkan dari hasil penelitian ini berupa analisis *reliability, availability, dan maintainability* dapat berguna bagi perusahaan dalam melakukan evaluasi kinerja pada subsistem kritis mesin Toshiba sehingga dapat mengurangi frekuensi kerusakan mesin.

2. Dasar Teori/Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Risk Matrix

Risk Matrix merupakan sebuah mekanisme sederhana untuk meningkatkan visibilitas risiko dan membantu pengambilan keputusan manajemen [3]. *Risk matrix* digunakan untuk melakukan penilaian risiko dari beberapa kategori probabilitas bahaya dan dampak yang ditimbulkan dari risiko tersebut. Penentuan tingkat risiko menggunakan 2 parameter yaitu *likelihood* dan *severity*. *Likelihood* merupakan parameter yang menunjukkan probabilitas kemungkinan risiko bahaya terjadi. Skala *severity* merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keparahan dari bahaya yang diidentifikasi.

2.2 Analisis Trend dan Korelasi Serial

Sebelum melakukan analisis RAM terdapat asumsi yang harus dipenuhi yaitu data TBF dan TTR harus *Independent and Identically Distributed (IID)*. Analisis *trend* dan korelasi serial merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memvalidasi asumsi IID tersebut [4].

Analisis *trend* dapat dilakukan dengan dua metode yaitu secara grafis dan analitis. Metode grafis dilakukan dengan mem-*plotting* kumulatif frekuensi kegagalan atau perbaikannya dengan kumulatif TBF/TTR. Apabila kurva TBF menunjukkan kurva cekung keatas artinya sistem pada mesin tersebut memburuk sedangkan jika kurva cekung kebawah menunjukkan bahwa sistem membaik. Berbeda dengan TTR, jika kurva cekung keatas menunjukkan bahwa TTR menurun dan jika kurva cekung kebawah menunjukkan bahwa TTR meningkat.

Namun, apabila kurva TBF/TTR berupa garis lurus atau mendekati garis lurus maka data tersebut IID dan tidak memiliki *trend* [1]. Metode analitis dilakukan dengan perhitungan menggunakan U Statistik menggunakan rumus berikut [5].

$$U = 2 \sum_{i=1}^{n-1} \ln \frac{T_n}{T_i} \quad (1)$$

Dimana n merupakan jumlah kerusakan, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, T_n merupakan waktu kerusakan ke- n , dan T_i merupakan waktu kerusakan ke- i .

Korelasi serial atau dikenal sebagai autokorelasi merupakan korelasi serial antara data suatu periode (i) dengan periode sebelumnya ($i - 1$) dalam data yang disusun berdasarkan urutan waktu (*time series*). Korelasi serial dapat dilakukan dengan dua metode yaitu secara grafis dan analitis. Analisis korelasi serial secara grafis dengan memplotting data ke- i TBF/TTR dengan data ($i - 1$)TBF/TTR. Apabila poin-poin pada grafik tersebut tersebar secara acak maka data dapat dikatakan IID dan tidak memiliki korelasi, namun jika data berada disepanjang garis linear maka data tersebut memiliki korelasi (tidak IID) [1]. Analisis korelasi serial secara analitis dapat diselesaikan dengan Uji Durbin-Watson. Uji Durbin-Watson merupakan uji korelasi serial yang menilai adanya nilai korelasi serial pada residual. Berikut merupakan rumus dalam uji Durbin-Watson [6].

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2)$$

Uji Durbin-Watson memiliki dua pengujian yaitu uji korelasi serial positif dan korelasi serial negatif. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai DW dengan nilai yang ada pada Tabel Durbin-Watson, yaitu *Durbin Upper* (dU) dan *Durbin Lower* (dL). Berikut merupakan keputusan-keputusan dalam membandingkan nilai DW . Korelasi serial positif:

- 1) Jika $DW < dL$, maka terdapat korelasi serial positif
- 2) Jika $DW > dU$, maka tidak terdapat korelasi serial positif
- 3) Jika $dL < DW < dU$, maka pengujian tidak meyakinkan atau tidak dapat disimpulkan.

Korelasi serial negatif:

- 1) Jika $(4 - DW) < dL$, maka terdapat korelasi serial negatif
- 2) Jika $(4 - DW) > dU$, maka tidak terdapat korelasi serial negatif
- 3) Jika $dL < (4 - DW) < dU$, maka pengujian tidak meyakinkan atau tidak dapat disimpulkan.

2.3 RAM Analysis

Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) analysis merupakan sebuah metode yang digunakan untuk memprediksi kinerja keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), dan kemampurawatan (*maintainability*). Analisis ini memberikan informasi mengenai performansi kerja mesin seperti seberapa andal sistem pada mesin tersebut, seberapa besar ketersediaan mesin selama produksi maupun seberapa besar probabilitas mesin bisa dikembalikan ketika tiba-tiba mengalami kerusakan. Analisis RAM dapat memprediksi performansi kerja menggunakan parameter distribusi dan karakter pada masing-masing mesin [7].

2.4 Reliability

Reliability merupakan karakteristik dari suatu item, yang dinyatakan oleh probabilitas bahwa item tersebut akan melakukan fungsi yang diperlukan dalam kondisi tertentu untuk interval waktu yang dinyatakan [8].

2.5 Reliability Block Diagram (RBD) Sistem Seri

RBD merupakan suatu model yang mempresentasikan suatu sistem yang kompleks sebagai jaringan dari komponen-komponen atau subsistem dengan jumlah mesin atau komponen yang banyak untuk mempermudah analisis keandalan dengan konfigurasi seri, paralel, maupun kombinasi seri paralel. Dalam rangkaian sistem seri semua komponen dianggap penting, jika salah satu dari komponen yang terkait secara seri gagal, maka sistem akan gagal dalam menjalankan fungsinya [9].

2.6 Availability

Availability didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem beroperasi sesuai fungsinya dalam suatu waktu tertentu dalam kondisi operasi yang telah ditetapkan. Menurut (Ebeling, 1997) *availability* adalah fungsi dari suatu siklus waktu operasi (*reliability*) dan waktu *downtime* [9]. *Availability* terdiri atas *Inherent Availability* (A_i) dan *Operational Availability* (A_o). Berikut merupakan rumus A_i [1].

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

Berikut merupakan fungsi perhitungan Ao [10].

$$Ao = \frac{Uptime}{TotalTime} = \frac{CH - MH}{CH} \quad (4)$$

2.7 Maintainability

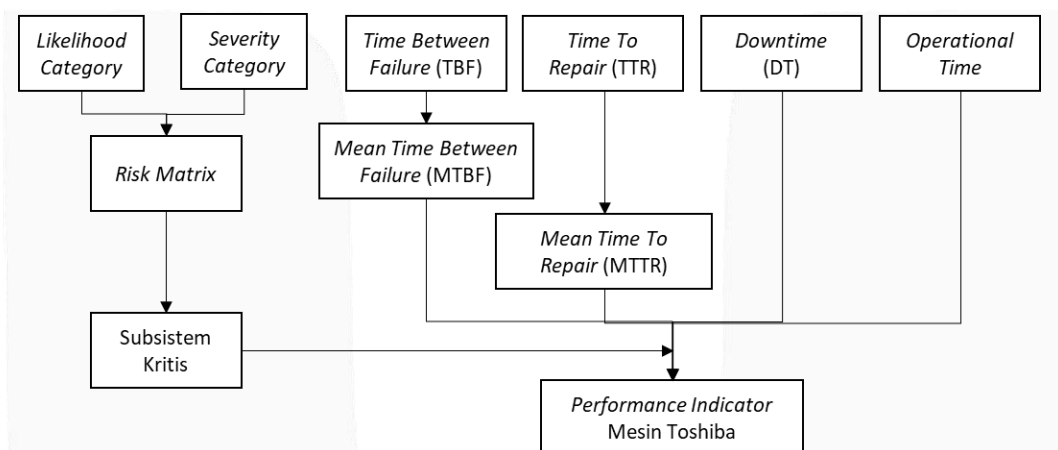
Maintainability merupakan probabilitas bahwa suatu sistem atau komponen yang gagal dapat diperbaiki ke fungsi awal dalam suatu periode waktu yang telah disepakati dan dilakukan dengan prosedur perawatan tertentu [9]. Berikut merupakan rumus *maintainability*.

$$M(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{MTTR}\right) \quad (5)$$

2.8 Model Konseptual

Model konseptual merupakan rancangan terstruktur dari sebuah konsep yang saling berkaitan untuk merumuskan sistematis penyelesaian masalah. Berdasarkan Gambar 2 tujuan pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui *performance indicator* pada subsistem kritis mesin Toshiba. Penentuan subsistem kritis pada mesin Toshiba menggunakan *risk matrix* dengan berdasarkan kategori *likelihood* dan *severity* yang didapatkan dari hasil wawancara dengan bagian *maintenance* pada PT XYZ dengan mempertimbangkan literatur yang ada. *Severity* dikategorikan dalam tiga aspek yaitu *environment*, *productivity* dan *operational*.

Data TBF, TTR, *downtime*, dan *operational time* merupakan *input* dalam menentukan *performance indicator* mesin Toshiba. Data tersebut diolah dengan menggunakan metode *RAM analysis*, yang mana untuk menentukan nilai *reliability* menggunakan data MTBF yang didapatkan dari rata-rata nilai TBF dengan mempertimbangkan distribusi yang sesuai. Nilai *maintainability* didapatkan dengan menggunakan data MTTR yang didapatkan dari rata-rata nilai TTR dengan mempertimbangkan distribusi yang sesuai. Nilai *inherent availability* didapatkan dengan menggunakan data MTBF dan MTTR sedangkan nilai *operational availability* didapatkan dengan menggunakan data *downtime* dan *operational time*.



Gambar 2 Model Konseptual

3. Pembahasan

3.1 Penentuan Subsistem Kritis Menggunakan *Risk Matrix*

Mesin Toshiba memiliki enam subsistem yaitu *coolant*, *hydraulic*, *spindle*, *axis*, *power supply*, dan *alarm*. Berdasarkan perhitungan *risk matrix* terdapat tiga subsistem yang paling kritis yaitu *hydraulic* yang berada pada kategori *extreme* dengan nilai 20. *Coolant* dan *spindle* yang berada pada kategori *high* dengan nilai 12. Dengan demikian subsistem *hydraulic*, *coolant* dan *spindle* akan dilakukan penelitian dengan menggunakan metode RAM.

3.2 Penentuan Distribusi dan Parameter Distribusi TBF dan TTR Subsistem Kritis

Dalam penentuan distribusi TBF dan TTR dilakukan uji Anderson-Darling (AD) dengan menggunakan *software* Minitab 17. Setelah itu dilakukan penentuan parameter distribusi dengan menggunakan *software* AvSim+9.0. Parameter tersebut akan digunakan untuk melakukan perhitungan MTBF dan MTTR.

Tabel 1 Distribusi TBF dan TTR

Subsistem	Distribusi Terpilih	
	TBF	TTR
<i>Hydraulic</i>	Weibull	Weibull
<i>Coolant</i>	Weibull	Weibull
<i>Spindle</i>	Weibull	Weibull

3.3 Perhitungan MTBF dan MTTR

Perhitungan MTBF dan MTTR dilakukan berdasarkan distribusi yang mewakili. Dengan rumus berikut.

$$MTBF = \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (6)$$

Yang mana nilai $\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$ didapatkan dari fungsi $\Gamma(x)$. Berikut merupakan perhitungan MTBF dan MTTR pada subsistem kritis mesin Toshiba.

Tabel 2 Perhitungan MTBF dan MTTR

Subsistem	Distribusi	Parameter	(1/β+1)	Γ(1/β+1)	MTBF
<i>Hydraulic</i>	Weibull	η	1391.49	1.718422	0.912258
		β	1.39194		
<i>Coolant</i>	Weibull	η	2301.16	2.122608	1.058195
		β	0.89078		
<i>Spindle</i>	Weibull	η	2303.58	1.996472	0.998514
		β	1.00354		
Subsistem	Distribusi	Parameter	(1/β+1)	Γ(1/β+1)	MTTR
<i>Hydraulic</i>	Weibull	η	2.78594	1.513537	0.88674
		β	1.94728		
<i>Coolant</i>	Weibull	η	3.33764	1.51114	0.886639
		β	1.95641		
<i>Spindle</i>	Weibull	η	5.1965	1.514872	0.886799
		β	1.94223		

3.4 Analisis Trend dan Korelasi Serial

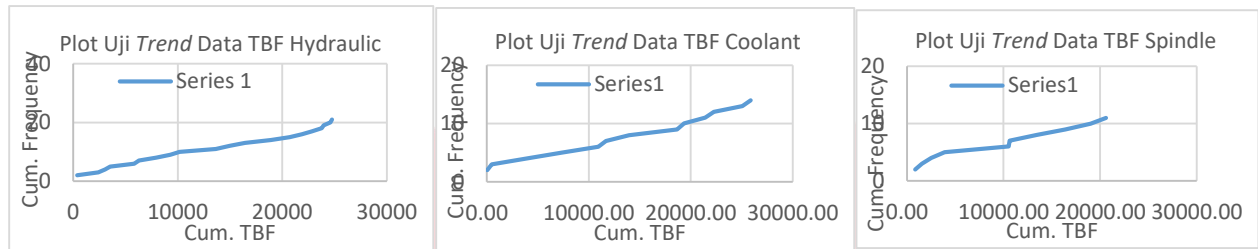
Uji *trend* dilakukan dengan dua cara yaitu secara analitis dan grafis. Pengujian memiliki hipotesis nol yaitu data TBF/TTR tidak memiliki *trend* dan hipotesis alternatifnya adalah data TBF/TTR memiliki *trend*. Pengujian dilakukan dengan tingkat kepercayaan 95%. Pengambilan keputusan dilakukan jika nilai U Statistik > $\chi^2_{\alpha,df}$ maka terima hipotesis nol. Berikut merupakan perhitungan uji *trend* secara analitis.

Tabel 3 Perhitungan Uji Trend Secara Analitis

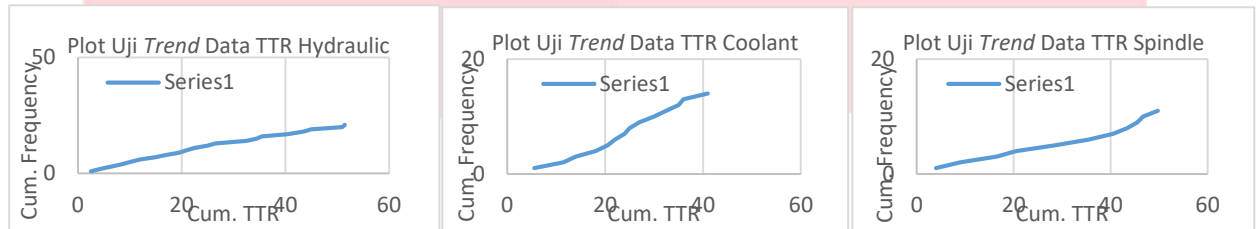
TBF					TTR				
Subsistem	df	U Statistik	$\chi^2_{\alpha,df}$	Kesimpulan	Subsistem	df	U Statistik	$\chi^2_{\alpha,df}$	Kesimpulan
<i>Hydraulic</i>	38	52.05	24.88	Tidak Memiliki Trend	<i>Hydraulic</i>	40	43.99	26.51	Tidak Memiliki Trend
<i>Coolant</i>	24	34.14	13.85	Tidak Memiliki Trend	<i>Coolant</i>	26	24.07	15.38	Tidak Memiliki Trend
<i>Spindle</i>	18	23.73	9.39	Tidak Memiliki Trend	<i>Spindle</i>	20	15.46	10.85	Tidak Memiliki Trend

Analisis *trend* secara grafis dilakukan dengan mem-plotting kumulatif frekuensi kegagalan atau perbaikannya dengan kumulatif TBF/TTR. Uji *trend* data TBF dan TTR pada setiap subsistem kritis garisnya hampir mendekati

garis lurus sehingga data tidak memiliki *trend*. Berikut merupakan grafik plot *trend* pada data TBF dan TTR subsistem kritis.



Gambar 3 Plot Uji *Trend* Data TBF Subsistem Kritis



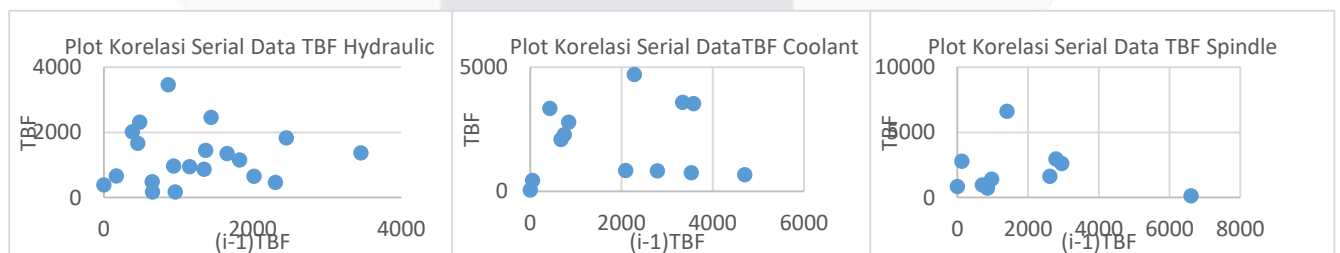
Gambar 4 Plot Uji *Trend* Data TTR Subsistem Kritis

Uji korelasi serial dilakukan dengan dua cara yaitu secara analitis dan grafis. Pengujian memiliki hipotesis nol yaitu data TBF/TTR tidak terdapat korelasi serial dan hipotesis alternatifnya adalah data TBF/TTR terdapat korelasi serial. Pengujian dilakukan dengan tingkat kepercayaan 95%. Pengambilan keputusan dilakukan jika nilai $DW > dU$ dan nilai $(4 - DW) > dU$ maka hipotesis nol diterima. Berdasarkan Tabel 4 seluruh subsistem kritis tidak memiliki korelasi serial. Berikut merupakan perhitungan uji korelasi serial secara analitis.

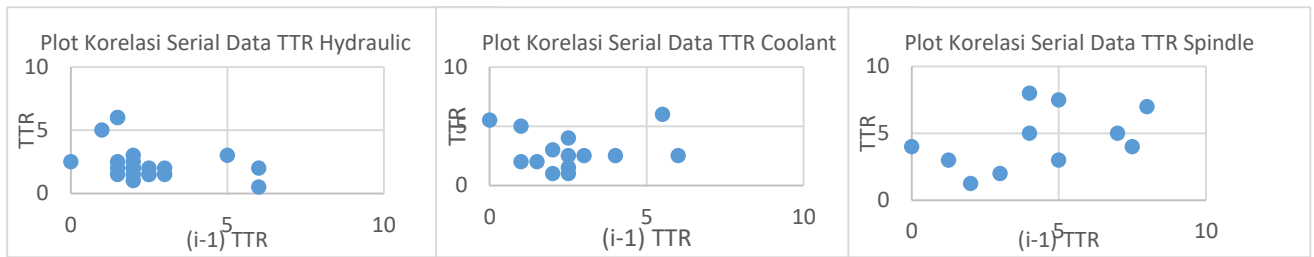
Tabel 4 Perhitungan Uji Korelasi Serial dengan Uji Durbin-Watson

Subsistem	Variabel	n	k	DW	dL	dU	$(4 - DW)$	Korelasi Serial Positif	Korelasi Serial Negatif
Hydraulic	TBF	20	1	1.966	1.201	1.411	2.034	Tidak Ada	Tidak Ada
	TTR	21		1.526	1.221	1.42	2.474	Tidak Ada	Tidak Ada
Coolant	TBF	13	1	1.781	1.01	1.34	2.219	Tidak Ada	Tidak Ada
	TTR	14		1.516	1.045	1.35	2.484	Tidak Ada	Tidak Ada
Spindle	TBF	10	1	1.827	0.879	1.32	2.173	Tidak Ada	Tidak Ada
	TTR	11		1.678	0.927	1.324	2.322	Tidak Ada	Tidak Ada

Uji korelasi serial secara grafis dilakukan dengan memplot-kan data ke- i TBF/TTR dengan data $(i - 1)$ TBF/TTR., dimana $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Berdasarkan grafik korelasi serial, poin (titik) yang berada pada setiap kotak tersebar dan tidak berada pada garis lurus sehingga tidak memiliki korelasi. Berdasarkan analisis *trend* dan korelasi serial setiap data TBF dan TTR pada subsistem kritis mesin Toshiba tidak memiliki *trend* dan korelasi serial sehingga data dikatakan IID. Maka dengan data yang IID tersebut, asumsi pada RAM *analysis* telah terpenuhi sehingga analisis RAM dapat dilakukan. Berikut grafik korelasi serial pada data TBF dan TTR subsistem kritis.



Gambar 5 Plot Korelasi Serial Data TBF Subsistem



Gambar 6 Plot Korelasi Serial Data TTR Subsistem

3.5 Perhitungan Reliability

Perhitungan *reliability* dengan menggunakan *analytical approach* merupakan perhitungan keandalan yang dilakukan dengan menggunakan *reliability block diagram* untuk melihat hubungan antar subsistem. Diketahui bahwa hubungan subsistem kritis mesin Toshiba memiliki hubungan seri. Perhitungan *reliability* menggunakan data TBF. Penelitian ini menggunakan waktu 8 jam hingga 680 jam dengan interval waktu 8 jam dan didapatkan hasil *reliability system* pada $t = 680$ jam sebesar 36.77%. Hasil perhitungan *reliability* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Perhitungan *Analytical Approach Reliability* Subsistem Kritis

<i>t(hours)</i>	<i>Hydraulic</i>	<i>Coolant</i>	<i>Spindle</i>	<i>R System</i>
8	99.92%	99.36%	99.66%	98.94%
16	99.80%	98.81%	99.32%	97.94%
24	99.65%	98.30%	98.98%	96.95%
32	99.48%	97.81%	98.64%	95.97%
40	99.29%	97.33%	98.30%	95.00%
48	99.08%	96.87%	97.97%	94.03%
56	98.86%	96.41%	97.63%	93.06%
64	98.63%	95.97%	97.29%	92.10%
72	98.39%	95.53%	96.96%	91.14%
80	98.14%	95.11%	96.63%	90.19%
.
.
.
680	69.14%	71.35%	74.53%	36.77%

3.6 Perhitungan Maintainability

Perhitungan *maintainability* dilakukan pada subsistem kritis dengan menggunakan data TTR yang mempresentasikan seberapa besar peluang suatu subsistem kritis dapat diperbaiki. Pada penelitian ini waktu yang ditentukan adalah 1 jam hingga 18 jam dengan interval waktu satu jam dan didapatkan hasil bahwa subsistem *hydraulic* dapat berfungsi kembali secara sempurna apabila telah dilakukan perbaikan selama 10 jam, subsistem *coolant* selama 11 jam, dan subsistem *spindle* selama 17 jam. Hasil perhitungan *reliability* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Perhitungan *Maintainability* Subsistem Kritis

<i>t(hours)</i>	<i>Hydraulic</i>	<i>Coolant</i>	<i>Spindle</i>
1	12.72%	9.03%	3.99%
2	40.81%	30.73%	14.49%
3	68.50%	55.59%	29.11%
4	86.77%	75.95%	45.20%
5	95.60%	88.98%	60.46%
6	98.84%	95.72%	73.34%
7	99.76%	98.59%	83.20%
8	99.96%	99.60%	90.09%
9	99.99%	99.91%	94.53%
10	100.00%	99.98%	97.17%
11	100.00%	100.00%	98.63%
12	100.00%	100.00%	99.38%
13	100.00%	100.00%	99.74%
14	100.00%	100.00%	99.89%
15	100.00%	100.00%	99.96%
16	100.00%	100.00%	99.99%
17	100.00%	100.00%	100.00%
18	100.00%	100.00%	100.00%

3.7 Perhitungan *Availability*

Perhitungan *availability* dengan *analytical approach* merupakan perhitungan *availability* yang dilakukan dengan menggunakan RBD untuk melihat hubungan antar subsistem. Perhitungan *availability* dibagi menjadi dua, yaitu *inherent availability* dan *operational availability*.

3.7.1 *Inherent Availability*

Perhitungan *Inherent availability* dilakukan menggunakan data MTBF dan MTTR. Berdasarkan Tabel 7 nilai *inherent availability* dari yang tertinggi hingga terendah secara berturut-turut yaitu pada subsistem *coolant* (99.88%), *hydraulic* (99.81%), dan *spindle* (99.80%) dengan nilai *availability system* (99.49%).

Tabel 7 Perhitungan *Inherent Availability*

<i>Hydraulic</i>	<i>Coolant</i>	<i>Spindle</i>	<i>Availability System</i>
99.81%	99.88%	99.80%	99.49%

3.7.2 *Operational Availability*

Perhitungan *operational availability* dilakukan berdasarkan data waktu operasional yang dihitung berdasarkan waktu mesin melakukan fungsinya dan *downtime* dari setiap subsistem kritis. Berdasarkan Tabel 8 nilai *operational availability* dari yang tertinggi secara berturut-turut yaitu pada subsistem *coolant* (99.68%), subsistem *spindle* (99.66%), dan subsistem *hydraulic* (99.54%) dengan nilai *availability system* (98.89%).

Tabel 8 Perhitungan *Operational Availability*

<i>Hydraulic</i>	<i>Coolant</i>	<i>Spindle</i>	<i>Availability System</i>
99.54%	99.68%	99.66%	98.89%

3.8 Analisis *Maintenance Key Performance Indicator (KPI)*

Pada penelitian ini penentuan KPI menggunakan IVARA *World Class Maintenance Target for Key Performance Indicator*, dimana KPI terbagi menjadi dua bagian, yaitu *leading indicator* dan *lagging indicator*. *Leading indicator* menggunakan perhitungan *inherent availability* sedangkan *lagging indicator* menggunakan perhitungan *operational availability*. Berikut analisis *maintenance key performance indicator*.

Tabel 9 Analisis *Maintenance Key Performance Indicator*

Subsistem	Leading Indicator	Lagging Indicator	Performance Indicator (95%)
<i>Hydraulic</i>	99.81%	99.54%	<i>Achieved</i>
<i>Coolant</i>	99.88%	99.68%	<i>Achieved</i>
<i>Spindle</i>	99.80%	99.66%	<i>Achieved</i>

Target *key performance indicator* IVARA yaitu 95%, sehingga berdasarkan Tabel 8 *leading indicator* dan *lagging indicator* telah mencapai target. Hal ini ditunjukkan karena nilai pada semua subsistem kritis sudah lebih dari 95%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, mesin Toshiba memiliki enam subsistem yang dilakukan analisis *risk matrix* didapatkan tiga subsistem kritis yaitu *hydraulic*, *coolant* dan *spindle*. Berdasarkan analisis *trend* dan korelasi serial, data TBF dan TTR tidak memiliki *trend* dan korelasi serial sehingga data dapat dikatakan IID. Perhitungan menggunakan metode *RAM Analysis*, nilai *reliability* pada $t = 680$ jam pada subsistem *hydraulic* (69.14%), *coolant* (71.35%), *spindle* (74.53%) dengan nilai keseluruhan *reliability system* yaitu 36.77%. Nilai *maintainability* dalam mencapai 100% membutuhkan waktu 1-17 jam. Sedangkan nilai *inherent availability system* sebesar 99.49% dan nilai *operational availability system* sebesar 98.89%. Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan dengan menggunakan IVARA *World Class Maintenance Target for Key Performance Indicator*, nilai *leading indicator* dan *lagging indicator* telah mencapai target karena nilainya melebihi 95%.

Daftar Pustaka

- [1] D. Choudhary, M. Tripathi, and R. Shankar, "Reliability, availability and maintainability analysis of a cement plant: a case study," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 36, no. 3, pp. 298–313, 2019.
- [2] M. Badar, E. Budiasih, and J. Alhilman, "Analisis Performansi Mesin Menggunakan Metode Reliability , Availability , Maintainability (Ram) Analysis Dan Penentuan Umur Mesin Serta Maintenance Set Crew Optimal Menggunakan Life Cycle Cost (Lcc) Analysis Pada Mesin Dumping Line 1 Di Pt Xyz Analys," vol. 5, no. 2, pp. 2553–2560, 2018.
- [3] M. Ben-Daya, S. O. Duffuaa, J. Knezevic, D. Ait-Kadi, and A. Raouf, *Handbook of maintenance management and engineering*. 2009.
- [4] P. Tsarouhas, "Statistical analysis of failure data for estimating reliability, availability and maintainability of an automated croissant production line," *J. Qual. Maint. Eng.*, 2019.
- [5] F. Ulugbek, S. Buyun, X. Zheng, and T. Ismael, "A reliability-based preventive maintenance methodology for the projection spot welding machine," *Manag. Sci. Lett.*, vol. 8, no. 6, pp. 497–506, 2018.
- [6] J. Durbin and G. S. Watson, "Testing for serial correlation in least squares regression. II.," *Biometrika*, vol. 38, no. 1–2, pp. 159–178, 1951.
- [7] J. Alhilman, F. T. D. Atmaji, and N. Athari, "Software application for maintenance system: A combination of maintenance methods in printing industry," in *2017 5th International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2017*, 2017.
- [8] A. Birolini, *Reliability engineering: Theory and practice, Seventh edition*. 2014.
- [9] C. E. Ebeling, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Boston: McGraw-Hill, 1997.
- [10] D. J. Nainggolan, J. Alhilman, and N. A. Supratman, "Performance Assessment Based on Reliability of Weaving M251 Machine Using Reliability, Availability & Maintainability (RAM) and Cost of Unreliability (COUR) Methods (Case Study at PT Buana Intan Gemilang)," *Int. J. Innov. Enterp. Syst.*, 2017.