ANALISIS KEANDALAN MESIN JET DYEING MENGGUNAKAN METODE RCM DAN FMEA PADA INDUSTRI TEKSTIL

Rangga Putra Irdian [1], Jojo Sumarjo [1], Deri Teguh Santoso [1], Marno [1], Kayla Rahma Nourizka [2]

[1] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

[2] Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

Jl. HS. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat

angrangga42@gmail.com [1]

Abstrak

Tingginya frekuensi *downtime* pada mesin *jet dyeing* Tonghue di PT. Toyobo Manufacturing Indonesia berdampak langsung pada penurunan efisiensi dan keandalan proses produksi tekstil. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi moda kegagalan, menganalisis tingkat *downtime*, serta menentukan strategi pemeliharaan yang tepat berbasis data historis periode Januari 2020–Desember 2024. Metode yang diterapkan adalah *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang didukung oleh analisis *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), dan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab kerusakan didominasi oleh kebocoran dengan total 75 kejadian dari 144 total insiden, serta keausan komponen pada *mechanical seal*, *bearing*, dan *packing*. Mesin T 30-2 mencatat frekuensi kerusakan tertinggi (31 kejadian, MTBF = 45.106 menit), sedangkan mesin T 20-2 memiliki total waktu henti terbesar (13.160 menit, MTTR = 506 menit/kejadian). Analisis FMEA menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 192 pada mesin T 20-2 dan T 30-2. Total potensi kerugian produksi akibat *downtime* seluruh mesin mencapai 15.524,3 kg. Berdasarkan nilai MTBF, *interval preventive maintenance* diusulkan pada 80% nilai MTBF, berkisar antara 25,1 hingga 40,9 hari operasi per mesin, yang berpotensi mengurangi kerugian produksi secara signifikan apabila diimplementasikan secara konsisten.

Kata kunci : *jet dyeing*, *downtime*, RCM, FMEA, *preventive maintenance*.

Abstract

The high frequency of downtime on Tonghue jet dyeing machines at PT. Toyobo Manufacturing Indonesia significantly reduces production efficiency and system reliability. This study aims to identify failure modes, analyze downtime levels, and establish appropriate maintenance strategies based on historical data from January 2020 to December 2024. The methodology employs Reliability Centered Maintenance (RCM) supported by MTBF, MTTR, and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Results indicate that failures are dominated by leakage (75 of 144 total incidents) and component wear, particularly in mechanical seals, bearings, and packing. Machine T 30-2 recorded the highest failure frequency (31 incidents, MTBF = 45,106 minutes), while machine T 20-2 exhibited the longest downtime (13,160 minutes, MTTR = 506 minutes/incident). FMEA analysis yielded the highest Risk Priority Number (RPN) of 192 for machines T 20-2 and T 30-2. Total potential production loss across all machines was estimated at 15,524.3 kg. Based on MTBF values, preventive maintenance intervals are proposed at 80% of the MTBF, ranging from 25.1 to 40.9 operational days per machine, which is projected to substantially reduce production losses if consistently implemented.

Key words : *jet dyeing, downtime, RCM, FMEA, preventive maintenance.*

PENDAHULUAN

Pengujian Industri tekstil merupakan salah satu sektor strategis dalam perekonomian Indonesia. Selain menjadi penyumbang devisa negara yang signifikan, industri ini berperan dalam menciptakan lapangan kerja bagi jutaan masyarakat di berbagai daerah [1]. Keberhasilan industri tekstil nasional tidak terlepas dari kinerja mesin-mesin produksi yang beroperasi secara kontinu dan andal. Salah satu proses krusial dalam produksi kain adalah proses *dyeing* atau pencelupan, yang menentukan keseragaman warna serta tampilan akhir produk.

Mesin *jet dyeing* merupakan peralatan utama dalam proses pencelupan yang bekerja dengan prinsip sirkulasi fluida bertekanan tinggi

pada temperatur operasi hingga 130°C. Kondisi termal dan tekanan yang tinggi secara kontinu menempatkan komponen *sealing* seperti *mechanical seal*, *packing*, dan *O-ring* pada risiko keausan yang signifikan. Permasalahan yang paling sering terjadi adalah *downtime* yang tidak terencana, yang dapat menghambat proses produksi dan berpotensi menurunkan kualitas produk akhir.

Penelitian mengenai strategi pemeliharaan berbasis keandalan (*Reliability Centered Maintenance*/RCM) pada industri manufaktur telah banyak dilakukan. Nurcahyo [2] mendefinisikan RCM sebagai pendekatan sistematis yang mengintegrasikan data keandalan historis dengan analisis kegagalan untuk mengoptimalkan strategi perawatan. Prastiawan dkk. [3] berhasil menerapkan RCM pada mesin amplas *multipleks* di industri *plywood* dan membuktikan bahwa pendekatan ini mampu meningkatkan interval perawatan secara terencana dibandingkan strategi reaktif. Sejalan dengan itu, Islam dkk. [4] mengembangkan metode *Fuzzy* FMEA untuk analisis *preventive maintenance* pada mesin produksi, dan menyimpulkan bahwa identifikasi komponen kritis melalui nilai RPN merupakan langkah fundamental dalam penentuan prioritas perawatan.

Pada konteks mesin pencelupan, Sana dkk. [5] menjelaskan bahwa mesin *jet dyeing* dengan sistem sirkulasi *soft flow* memiliki keunggulan dalam efisiensi penggunaan larutan pewarna, namun rentan terhadap kegagalan pada sistem pompa dan katup akibat paparan bahan kimia bertemperatur tinggi secara berkepanjangan. Fadilah dkk. [6] lebih lanjut mendemonstrasikan bahwa perhitungan MTBF dan MTTR secara kuantitatif memberikan dasar yang objektif bagi perencanaan jadwal *preventive maintenance*, sehingga *downtime* yang tidak terencana dapat diantisipasi.

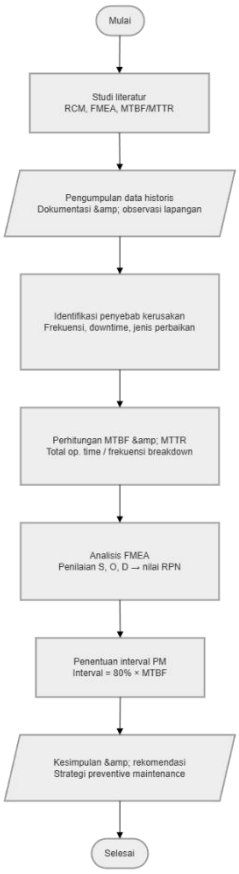
Pada PT. Toyobo Manufacturing Indonesia, mesin *jet dyeing* Tonghue digunakan secara kontinu dalam proses pencelupan kain. Berdasarkan data historis periode Januari 2020 hingga Desember 2024, mesin-mesin tersebut mengalami total 144 kejadian kerusakan dengan total *downtime* keseluruhan mencapai 45.740 menit. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pemeliharaan yang berjalan saat ini masih bersifat reaktif dan belum optimal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi moda kegagalan (*failure mode*) dominan pada mesin *jet dyeing* Tonghue; (2) menganalisis parameter keandalan MTBF dan MTTR; (3) menentukan komponen kritis berdasarkan nilai RPN melalui FMEA; dan (4) merumuskan strategi pemeliharaan preventif berbasis nilai MTBF yang terukur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Departemen *Dyeing* PT. Toyobo Manufacturing Indonesia, Kawasan KIIC Karawang, Jawa Barat. Objek penelitian adalah enam unit mesin *jet dyeing* Tonghue (kode: T 05, T 20-1, T 20-2, T 30-1, T 30-2, T 30-3) yang beroperasi 24 jam per hari. Data yang dianalisis merupakan data historis periode Januari 2020 hingga Desember 2024, mencakup 144 kejadian kerusakan pada seluruh unit mesin.

Pengumpulan data dilakukan melalui dua metode: (1) dokumentasi, yaitu pengambilan data historis *downtime*, frekuensi kerusakan, dan catatan perbaikan komponen dari sistem arsip perusahaan; dan (2) observasi lapangan, yaitu pengamatan langsung terhadap kondisi operasional mesin dan prosedur pemeliharaan yang berjalan.

Teknik Analisis Data Metode utama adalah RCM dengan dukungan perhitungan keandalan dan FMEA. Langkah analisis disajikan pada Gambar 1 (diagram alir penelitian).



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Analisis dilaksanakan secara bertahap mengikuti kerangka RCM. Pertama, dilakukan perhitungan MTBF dan MTTR menggunakan persamaan berikut [4]:

$$\boldsymbol{MTBF} = \frac{\boldsymbol{Total\ Operation\ Time}}{\boldsymbol{Frekuensi\ Breakdown}} \text{.....(1)}$$

$$\boldsymbol{MTTR} = \frac{\boldsymbol{Total\ Time\ to\ Repair}}{\boldsymbol{Frekuensi\ Breakdown}} \text{.....(2)}$$

Di mana *Total Operation Time* diperoleh dari selisih antara total waktu kalender operasional standar (mesin beroperasi 24 jam/hari selama ±1.199 hari dalam periode 5 tahun, atau ±1.405.440 menit untuk seluruh periode) dengan total *downtime* masing-masing mesin. Nilai MTBF yang mendekati satu sama lain pada Tabel 4 merupakan konsekuensi langsung dari dasar penghitungan yang sama: penyebut (*total operation time*) hampir identik karena seluruh mesin tunduk pada kalender operasional yang seragam (jam kerja, hari libur, dan cuti bersama yang sama), sedangkan pembilang (jumlah frekuensi *breakdown*) yang berbeda menjadi pembeda utama nilai MTBF antarmesin.

Nilai MTBF selanjutnya digunakan sebagai landasan penentuan *interval preventive maintenance* (PM) dengan mengaplikasikan rasio keamanan 80% dari nilai MTBF, yang dalam literatur rekayasa keandalan dikenal sebagai pendekatan konservatif untuk memberikan selang waktu penyangga (*buffer*) sebelum peluang kegagalan meningkat signifikan [2]. Persamaannya adalah:

Interval PM = 0,80 × MTBF

Kedua, dilakukan analisis FMEA untuk menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN) menggunakan persamaan [4]:

$$RPN = S \times O \times D \text{ .....(3)}$$

Nilai *Severity* (S) ditentukan berdasarkan rata-rata MTTR aktual masing-masing mesin yang dikonversi ke dalam satuan jam dan dicocokkan dengan tabel kriteria. Nilai *Occurrence* (O) ditentukan berdasarkan rata-rata frekuensi kerusakan tahunan (total frekuensi dibagi 5 tahun) yang dicocokkan dengan tabel kriteria frekuensi. Nilai *Detection* (D) ditentukan berdasarkan kemampuan sistem pemeliharaan perusahaan dalam mendeteksi kegagalan sebelum terjadi, yang dinilai melalui observasi lapangan terhadap prosedur inspeksi yang berlaku. Pendekatan berbasis data historis ini menjamin objektivitas dan replikabilitas penilaian [4].

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Frekuensi Kerusakan dan *Downtime*

Berdasarkan data historis periode Januari 2020–Desember 2024, diperoleh rekapitulasi frekuensi kerusakan dan total *downtime* untuk setiap unit mesin *jet dyeing* Tonghue sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Frekuensi Kerusakan dan Total *Downtime* pada Mesin *Jet dyeing* Tonghue

Kode Mesin	Frekuensi Perbaikan	*Total Downtime (Menit)*
T 05	19	6.585
T 20-1	21	6.070
T 20-2	26	13.160
T 30-1	20	8.015
T 30-2	31	7.150
T 30-3	27	4.760

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa mesin T 30-2 memiliki frekuensi kerusakan tertinggi (31 kejadian, 21,5% dari total), sedangkan mesin T 20-2 mencatat total *downtime* terbesar (13.160 menit, 28,8% dari total *downtime*). Paradoks antara frekuensi dan durasi ini memiliki implikasi teknis yang signifikan: mesin T 30-2 mengalami kegagalan paling sering, namun setiap kejadiannya relatif singkat (MTTR = 231 menit); sebaliknya, mesin T 20-2 mengalami kegagalan yang lebih jarang tetapi dengan durasi perbaikan yang jauh lebih panjang (MTTR = 506 menit), mengindikasikan kompleksitas kerusakan yang lebih tinggi pada mesin tersebut.

2. Analisis Penyebab Kerusakan

Tabel 2 menyajikan distribusi penyebab kerusakan pada seluruh unit mesin selama periode observasi.

Tabel 2 Distribusi Penyebab Kerusakan pada Mesin *Jet dyeing* Tonghue

Penyebab Kerusakan	T 05	T 20-1	T 20-2	T 30-1	T 30-2	T 30-3
Bocor	10	10	13	11	17	14
Error	3	0	4	2	1	2
Karat	1	0	2	1	1	0
Rusak	2	5	0	1	2	0
Aus	2	5	4	2	6	6
Retak	0	1	0	0	1	1
Kotoran	0	0	2	1	1	1
Kerusakan *Gear*/ Baut	0	0	1	2	2	2
Total	**19**	**21**	**26**	**20**	**31**	**27**

Kebocoran (*leakage*) merupakan penyebab kegagalan yang paling dominan dengan total 75 kejadian (52,1% dari 144 total insiden). Keausan (aus) menempati posisi kedua dengan 25 kejadian, disusul kerusakan komponen (rusak) sebanyak 10 kejadian.

Dominasi kebocoran sebagai penyebab *downtime* memiliki justifikasi teknis yang jelas dan dapat dijelaskan melalui *Root Cause Analysis* (RCA). Mesin *jet dyeing* Tonghue beroperasi pada tekanan kerja hingga 3–4 bar dan temperatur larutan pencelup mencapai 130°C secara siklus berulang. Paparan termal dan tekanan tinggi yang kontinu ini menyebabkan degradasi material elastomer pada *mechanical seal* dan *packing*, yang bermanifestasi sebagai kebocoran (*leakage*). Mekanisme kegagalannya adalah: (a) siklus termal berulang menyebabkan *thermal fatigue* dan *creep* pada material karet/elastomer *seal*, yang secara bertahap kehilangan elastisitas dan kemampuan *sealing*-nya; (b) paparan kimia dari larutan pewarna bersifat korosif dan dapat mendegradasi komposisi material *seal* dari dalam; dan (c) beban hidrodinamik dari putaran pompa sirkulasi menyebabkan aus abrasif pada *mechanical seal face*. Ketiga faktor ini bekerja secara sinergis, yang menjelaskan mengapa penggantian *mechanical seal* mendominasi jenis perbaikan (30 penggantian dari total 144 aksi, atau 20,8%).

3. Jenis Perbaikan Komponen Kritis

Tabel 3 Jenis Perbaikan Komponen Kritis pada Mesin *Jet dyeing* Tonghue

Jenis Perbaikan	T 05	T 20-1	T 20-2	T 30-1	T 30-2	T 30-3
Ganti *Mechanical seal*	3	2	5	5	8	7
Ganti *Bearing*	0	5	4	2	6	6
Ganti *Packing*	4	1	1	1	2	1
Ganti O-Ring	1	0	1	2	2	1
Ganti *Rubber Coupling*	1	0	2	0	4	0
Perbaikan *Valve*	0	3	1	2	1	2
Overhaul	1	0	1	1	1	1
Lainnya	9	10	11	7	7	9
Total	**19**	**21**	**26**	**20**	**31**	**27**

Data pada Tabel 3 mengkonfirmasi bahwa penggantian *mechanical seal* (total 30 kali), *bearing* (total 23 kali), dan *packing* (total 10 kali) merupakan tiga jenis perbaikan yang paling dominan. Ketiga komponen ini secara bersama-sama merepresentasikan 43,8% dari seluruh aksi perbaikan, mengkonfirmasikan status mereka sebagai komponen kritis (*critical components*) yang harus menjadi fokus utama program *preventive maintenance*.

4. Perhitungan MTBF dan MTTR

Hasil perhitungan parameter keandalan mesin disajikan pada Tabel 4. Nilai *Total Operation Time* diperoleh dari total waktu kalender standar (±1.405.440 menit untuk seluruh periode 5 tahun, mencerminkan operasi 24 jam/hari pada hari kerja aktif, setelah dikurangi hari libur nasional, cuti bersama, dan akhir pekan) dikurangi total *downtime* masing-masing mesin. Nilai yang hampir seragam pada kolom *Total Operation Time* (rentang 1.392.280–1.400.680 menit) merupakan konsekuensi wajar dari kesamaan kalender operasional yang diberlakukan pada seluruh unit mesin, sementara perbedaan antarmesin semata-mata ditentukan oleh besarnya total *downtime* masing-masing.

Tabel 4 Hasil Perhitungan MTBF dan MTTR Mesin *Jet dyeing* Tonghue

Kode Mesin	*Time to Repair* (menit)	*Total Operation Time* (menit)	MTBF (menit)	MTTR (menit)
T 05	6.585	1.398.855	73.624	347
T 20-1	6.070	1.399.370	66.637	289
T 20-2	13.160	1.392.280	53.549	506
T 30-1	8.015	1.397.425	69.871	401
T 30-2	7.150	1.398.290	45.106	231
T 30-3	4.760	1.400.680	51.877	176

Mesin T 05 menunjukkan keandalan tertinggi dengan MTBF = 73.624 menit (±51,1 hari) dan MTTR = 347 menit (±5,8 jam), sementara mesin T 30-2 memiliki keandalan terendah dengan MTBF = 45.106 menit (±31,3 hari). Nilai MTTR tertinggi dimiliki mesin T 20-2 sebesar 506 menit (±8,4 jam), yang mengindikasikan kompleksitas perbaikan yang signifikan, konsisten dengan ditemukannya dua *overhaul* besar (*over houle*) dan durasi *cek hike* yang panjang (7.680 menit) pada mesin tersebut.

5. Analisis FMEA dan Penentuan RPN

Penentuan nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) didasarkan pada tiga kriteria tabel yang ditetapkan secara objektif menggunakan data historis perusahaan, sebagaimana disajikan pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7.

Tabel 5 Kriteria *Severity* (S) Berdasarkan Rata-rata MTTR

Nilai S	Kriteria	Rata-rata Downtime	Dampak pada Produksi
1	Sangat Rendah	≤ 1 jam	Hampir tidak berdampak pada produksi
2	Rendah	1–2 jam	Gangguan kecil, dapat diatasi tanpa menghentikan produksi
3	Cukup Rendah	2–3 jam	Mengurangi efisiensi, masih dapat diatasi dengan penjadwalan ulang

4	Sedang	3–4 jam	Menghambat sebagian proses, menyebabkan keterlambatan *output*
5	Cukup Tinggi	4–5 jam	Produksi terganggu signifikan, menyebabkan backlog
6	Tinggi	5–6 jam	*Downtime* cukup panjang, berdampak pada pengiriman produk
7	Sangat Tinggi	6–7 jam	Produksi terhenti lama, kehilangan pendapatan signifikan
8	Parah	7–9 jam	Gangguan produksi sangat besar, perlu tindakan segera
9	Sangat Parah	9–10 jam	Produksi hampir tidak berjalan, dampak finansial besar
10	Kritis	> 10 jam	*Downtime* ekstrem, berpotensi penghentian operasional sementara

Tabel 6 Kriteria *Occurrence* (O) Berdasarkan Frekuensi Tahunan

Nilai O	Kriteria	Frekuensi Kejadian
1	Sangat Jarang	< 1× per tahun
2	Jarang Terjadi	1× per tahun
3	Tidak Sering	2× per tahun
4	Kadang-kadang	3–4× per tahun
5	Cukup Sering	4–5× per tahun
6	Sering Terjadi	5–6× per tahun
7	Sangat Sering	6–7× per tahun
8	Hampir Selalu	7–8× per tahun
9	Nyaris Pasti	8–9× per tahun
10	Selalu Terjadi	> 9× per tahun

Tabel 7 Kriteria *Detection* (D) Berdasarkan Kemampuan Deteksi Sistem

Nilai D	Kriteria	Kemungkinan Terdeteksi
1	Sangat Mudah Dideteksi	≥ 99%
2	Mudah Dideteksi	≥ 95%
3	Cukup Mudah Dideteksi	≥ 85%
4	Terkadang Dapat Dideteksi	≥ 75%
5	Tidak Selalu Dapat Dideteksi	≥ 60%
6	Cukup Sulit Dideteksi	≥ 40%
7	Sulit Dideteksi	≥ 20%
8	Sangat Sulit Dideteksi	≥ 10%
9	Hampir Tidak Dapat Dideteksi	< 5%
10	Tidak Ada Mekanisme Deteksi	0%

Sebagai contoh justifikasi skor untuk mesin T 20-2: (a) S = 8 karena MTTR rata-rata = 506 menit ≈ 8,4 jam, yang masuk dalam rentang 7–9 jam (kriteria "Parah"); (b) O = 6 karena frekuensi kerusakan 26 kejadian dalam 5 tahun = 5,2 kejadian/tahun, masuk dalam rentang 5–6 kali/tahun (kriteria "Sering Terjadi"); (c) D = 4 karena sistem inspeksi hanya mampu mendeteksi kegagalan dengan probabilitas ≥ 75% berdasarkan observasi lapangan, menunjukkan deteksi yang belum konsisten. Dengan justifikasi yang analog dan berbasis data, skor untuk seluruh mesin ditentukan sebagaimana tersaji pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai RPN Hasil Analisis FMEA Mesin Jet *dyeing Tonghue*

Kode Mesin	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN	Prioritas
T 05	6	3	6	108	Sedang
T 20-1	5	4	5	100	Sedang
T 20-2	**8**	**6**	**4**	**192**	**Kritis**
T 30-1	7	5	5	175	Tinggi
T 30-2	**4**	**8**	**6**	**192**	**Kritis**
T 30-3	3	7	4	84	Rendah

Mesin T 20-2 dan T 30-2 memperoleh RPN tertinggi sebesar 192, namun dengan profil risiko yang berbeda. Mesin T 20-2 memiliki RPN = 8 × 6 × 4 = 192, yang didominasi oleh nilai *Severity* tinggi (dampak perbaikan yang panjang dan parah), sedangkan mesin T 30-2 memiliki RPN = 4 × 8 × 6 = 192 yang didominasi oleh nilai *Occurrence* sangat tinggi (kegagalan sangat sering terjadi) dikombinasikan dengan *Detection* yang sulit. Perbedaan profil ini memerlukan respons strategi yang berbeda: mesin T 20-2 membutuhkan perbaikan kualitas komponen dan prosedur perbaikan untuk memperpendek MTTR, sementara mesin T 30-2 membutuhkan peningkatan frekuensi inspeksi untuk mengurangi laju kegagalan.

6. Estimasi Loss Produksi dan Potensi Penghematan

Mesin *jet dyeing* beroperasi dengan kapasitas produksi: 30 kg/480 menit untuk T 05; 170 kg/480 menit untuk T 20-1 dan T 20-2; dan 200 kg/480 menit untuk T 30-1, T 30-2, dan T 30-3. Total estimasi kerugian produksi akibat *downtime* disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Estimasi Potensi Kerugian Produksi Akibat *Downtime* (2020–2024)

Kode Mesin	Produksi per 480 menit (kg)	Total Downtime (menit)	Total Loss Produksi (kg)
T 05	30	6.585	411,6

T 20-1	170	6.070	2.149,8
T 20-2	170	13.160	4.660,8
T 30-1	200	8.015	3.339,6
T 30-2	200	7.150	2.979,2
T 30-3	200	4.760	1.983,3
Total	**—**	**45.740**	**15.524,3**

Total potensi kerugian produksi seluruh mesin selama lima tahun mencapai 15.524,3 kg kain, dengan kontribusi terbesar dari mesin T 20-2 (4.660,8 kg) dan T 30-1 (3.339,6 kg). Apabila program *preventive maintenance* dengan interval yang diusulkan (Tabel 10) diimplementasikan secara konsisten, maka target pengurangan frekuensi *downtime* tidak terencana diperkirakan dapat mencapai 30–40% (asumsi konservatif berdasarkan literatur industri tentang efektivitas PM), yang berimplikasi pada potensi penghematan kerugian produksi sebesar 4.657–6.210 kg per siklus lima tahun.

7. Usulan Interval preventive maintenance

Berdasarkan nilai MTBF yang diperoleh, *interval preventive maintenance* (PM) diusulkan pada 80% nilai MTBF. Rasio 80% dipilih karena pada titik tersebut, berdasarkan kurva keandalan Weibull, peluang kegagalan mulai meningkat secara akseleratif sehingga intervensi PM sebelum titik ini secara statistik lebih efektif daripada menunggu hingga MTBF tercapai [5].

Tabel 10 Usulan *Interval preventive maintenance* Berdasarkan Nilai MTBF

Kode Mesin	MTBF (menit)	Interval PM (80% MTBF) (menit)	Interval PM (hari)	MTTR (menit)
T 05	73.624	58.899	40,9	347
T 20-1	66.637	53.310	37,0	289
T 20-2	53.549	42.839	29,7	506
T 30-1	69.871	55.897	38,8	401
T 30-2	45.106	36.085	25,1	231
T 30-3	51.877	41.502	28,8	176

Interval PM untuk mesin T 30-2 yang paling kritis adalah 25,1 hari (36.085 menit), sedangkan mesin T 05 dengan keandalan terbaik dapat dijadwalkan setiap 40,9 hari (58.899 menit). Jadwal ini harus diintegrasikan dengan sistem *work order* perusahaan dan mencakup pemeriksaan serta penggantian preventif pada *mechanical seal*, *bearing*, dan *packing* sebagai komponen kritis prioritas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis RCM, MTBF/MTTR, dan FMEA pada enam unit mesin *jet dyeing* Tonghue di PT. Toyobo Manufacturing Indonesia periode 2020–2024, dapat disimpulkan:

1. Moda kegagalan dominan adalah kebocoran komponen **sealing** (75 dari 144 kejadian, 52,1%), yang secara teknis disebabkan oleh degradasi material elastomer akibat siklus termal berulang pada temperatur operasi ±130°C, paparan kimia korosif, dan aus abrasif pada permukaan *seal face*. Komponen kritis yang paling sering memerlukan penggantian adalah **mechanical seal** (30 kali), **bearing** (23 kali), dan **packing** (10 kali).
2. Analisis MTBF dan MTTR menunjukkan bahwa mesin T 30-2 memiliki keandalan terendah (MTBF = 45.106 menit, ±31,3 hari) dengan frekuensi kegagalan tertinggi, sementara mesin T 20-2 memiliki MTTR tertinggi (506 menit/kejadian) yang menunjukkan kompleksitas perbaikan tertinggi. Mesin T 05 mencatat performa terbaik dengan MTBF = 73.624 menit (±51,1 hari).
3. Analisis FMEA mengidentifikasi mesin T 20-2 (S=8, O=6, D=4) dan T 30-2 (S=4, O=8, D=6) sebagai mesin dengan RPN tertinggi (192) dan memerlukan prioritas penanganan. Kedua mesin memiliki profil risiko berbeda: T 20-2 didominasi *severity* tinggi akibat durasi perbaikan panjang, sedangkan T 30-2 didominasi *occurrence* tinggi akibat frekuensi kegagalan sangat sering.
4. Total potensi kerugian produksi selama lima tahun mencapai 15.524,3 kg kain. *Interval preventive maintenance* diusulkan pada 80% MTBF, berkisar 25,1–40,9 hari per mesin (T 30-2 paling sering pada 25,1 hari; T 05 paling jarang pada 40,9 hari), yang berpotensi mengurangi kerugian produksi sebesar 30–40% apabila diimplementasikan secara konsisten.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Toyobo Manufacturing Indonesia yang telah memberikan izin dan fasilitas penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang atas dukungan bimbingan akademik selama proses penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Anugrah *Et Al.*, "Analisis Industri Tekstil Di Jawa Barat Sebelum Dan Setelah Krisis Ekonomi Universitas Pakuan," Vol. 2, No. 2, Pp. 118–135, 2024, Doi: 10.59581/Doktrin-Widyakarya.V2i1.2579.

[2] A. N. Rahmat Nurcahyo, "Manajemen Pemeliharaan Preventive," 2024.

[3] A. Prastiawan *Et Al.*, "Metode Rcm Untuk Sistem Perawatan Mesin Amplas Multipleks Pada Pabrik Plywood Rcm Method For Multiplex Sandary Machine Maintenance System At Plywood Factory," *Jurnal Ilmiah Teknologi Fst Undana*, Vol. 15, No. 2, 2021.

[4] A. Wibi Sana, E. Novarini, U. Prayudie, R. Marlina Balai Besar Tekstil, And J. Jenderal Ahmad Yani No, "Studi Penggunaan Mesin Pencelupan Sistem Jet Tipe Soft Flow Untuk Pencelupan Kain Poliester Dan Kain Rayon A Study On Soft Flow Type *Jet dyeing* Machine Application For Polyester And Rayon Fabric Dyeing Process," 2015.

[5] H. P. R. A. K. Nur Fadilah Fatma, "Analisis Preventive Maintenance Dengan Metode Menghitung *Mean Time Between Failure* (Mtbf) Dan *Mean Time To Repair*(Mttr) (Studi Kasus Pt. Gajah Tunggal Tbk)".

[6] S. S. Islam, T. Lestari, A. Fitriani, And D. A. Wardani, "Analisis Preventive Maintenance Pada Mesin Produksi Dengan Metode Fuzzy Fmea," 2020.