

USULAN SISTEM PEMELIHARAAN MESIN OVEN DI PT SANDANG ASIA MAJU ABADI DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE DAN AGE REPLACEMENT

Devita Chrestian Maritha¹, Ary Arvianto¹, Singgih Saptadi¹

¹Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Mesin merupakan elemen penting dalam proses produksi perusahaan. Efisiensi dan keandalan operasi mesin dapat ditingkatkan dengan perencanaan pemeliharaan yang efektif. Pemeliharaan bertujuan menjaga sistem berfungsi dengan baik, mempertahankan kontinuitas, dan mengendalikan biaya. Pada proses produksi departemen laundry di PT Sandang Asia Maju Abadi, terdapat permasalahan, yakni tingginya frekuensi kerusakan mesin oven dan biaya pemeliharaan. Saat ini, perusahaan hanya melakukan pemeliharaan setelah mesin mengalami rusak, tanpa melakukan pemeliharaan pencegahan karena banyaknya komponen, biaya yang dinilai tinggi, dan ketidaktahuan mengenai tindakan yang tepat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemeliharaan, berisi jadwal, jenis dan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan, dan estimasi alokasi waktu serta sumber daya manusia. Metode yang digunakan adalah Reliability centered maintenance (RCM) dan Age replacement. Dengan sistem pemeliharaan yang diusulkan, perusahaan dapat menurunkan biaya pemeliharaan sebesar 26,749% dari biaya sistem pemeliharaan aktual meningkatkan nilai keandalan rata-rata sebesar 30,249% pada komponen kritis dari 20 mesin oven, mengurangi rata-rata total downtime komponen kritis sebesar 315,006 menit, dan meningkatkan nilai ketersediaan rata-rata sebesar 0,068% dari sistem pemeliharaan aktual. Berdasarkan pengolahan data dan analisis, telah disusun kerangka usulan sistem pemeliharaan untuk mesin oven yang dibeli pada tahun 2010 yang dikelompokkan ke dalam empat kelompok komponen.

Kata Kunci: pemeliharaan, reliability centered maintenance, age replacement

Abstract

[Title: Proposed Maintenance System for Oven Machines at PT Sandang Asia Maju Abadi Using Reliability centered maintenance and Age replacement Methods] Machinery is a critical element in a company's production process. The efficiency and reliability of machine operations can be improved through effective maintenance planning. Maintenance aims to ensure systems operate optimally, maintain continuity, and control costs. In the laundry production department of PT Sandang Asia Maju Abadi, issues such as high machine oven failure rates and maintenance costs have been identified. Currently, the company only performs corrective maintenance after machines fail, without implementing preventive maintenance due to the complexity of components, perceived high costs, and lack of knowledge regarding appropriate actions. This study aims to develop a maintenance system comprising schedules, types and activities of maintenance, and estimates for time allocation and human resources. The methods used are Reliability centered maintenance (RCM) and Age replacement. The proposed maintenance system can reduce maintenance costs by 26,749% compared to the current system, increase the average reliability of critical components by 30,249%, decrease the average total downtime of critical components by 315.006 minutes, and improve the average availability value by 0.068%. Based on data processing and analysis, a proposed maintenance framework has been developed for oven machines purchased in 2010 and categorized into four component groups.

Keywords: maintenance, reliability, reliability centered maintenance, age replacement

1. Pendahuluan

Mesin merupakan elemen penting dalam mendukung proses produksi di berbagai perusahaan. Penggunaan mesin secara terus-menerus, khususnya di

rantai produksi, dapat menyebabkan penurunan performa hingga kerusakan. Dua kerugian utama yang timbul akibat kerusakan mesin adalah penurunan keuntungan akibat target produksi yang tidak tercapai

dan meningkatnya biaya perbaikan akibat kerusakan mesin yang tidak terduga (Setiawan et al., 2019). Untuk menghindari kerugian tersebut, aktivitas pemeliharaan menjadi langkah penting yang dilakukan perusahaan.

Seiring waktu, perusahaan semakin menyadari pentingnya merencanakan kegiatan pemeliharaan secara efektif untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan mesin. Pemeliharaan atau *maintenance* meliputi kegiatan seperti inspeksi, pembersihan, dan pelumasan guna memastikan sistem serta semua komponennya dapat berfungsi dengan baik. Pemeliharaan bertujuan untuk mempertahankan kemampuan sistem sambil mengendalikan biaya (Stephens, 2022). Sistem pemeliharaan modern diharapkan dapat mengintegrasikan komponen proaktif seperti efisiensi tinggi, efektivitas, dan perbaikan berkelanjutan. Hal ini penting untuk meningkatkan ketersediaan mesin, produktivitas, dan menekan biaya pemeliharaan seminimal mungkin (Qaid et al., 2024).

Kegiatan pemeliharaan biasanya terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. *Preventive maintenance* dilakukan sebelum kerusakan terjadi, bertujuan untuk mencegah kerusakan dan menjaga performa mesin. Pemeliharaan ini dilakukan pada interval tertentu sesuai rencana yang telah ditentukan. Fokus utamanya adalah mengurangi biaya tak terduga akibat kegagalan mesin, dengan memperbaiki atau mengganti komponen sesuai kondisi (Odeyar et al., 2022). Di sisi lain, *corrective maintenance* dilakukan setelah kerusakan terjadi untuk memperbaiki komponen yang rusak. *Corrective maintenance* dianggap kurang efektif karena menimbulkan *downtime* yang dapat mengganggu produksi (Hamasha et al., 2023).

PT Sandang Asia Maju Abadi adalah perusahaan yang memproduksi pakaian denim, seperti celana dan jaket untuk pria dan wanita. Perusahaan ini berlokasi di Kawasan Industri Wijaya Kusuma, Kecamatan Tugu, Semarang. Produk-produknya memiliki standar internasional dan telah diekspor ke lima benua. Proses produksi di perusahaan ini dimulai dari desain dan pengembangan sampel, dilanjutkan dengan pattern printing, cutting, sewing, laundry, finishing, hingga audit kualitas.

Di departemen laundry, terdapat dua jenis mesin utama yang digunakan, yaitu mesin washer dan mesin oven, masing-masing berjumlah 62 unit. Selama 2023, mesin-mesin ini mengalami masalah kerusakan cukup serius. Mesin washer tercatat mengalami kerusakan sebanyak 966 kali, sementara mesin oven mengalami kerusakan hingga 1723 kali. Tingkat keandalan rata-rata mesin oven hanya mencapai 27,918%, yang berarti hanya sekitar 27,918% dari total waktu operasinya mesin dapat bekerja dengan baik tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan fungsi.

Mesin oven memiliki tingkat keandalan yang bervariasi berdasarkan tahun pembelian. Mesin yang dibeli pada 2001 memiliki keandalan rata-rata 26,222%, mesin dari tahun 2006 memiliki keandalan 28,699%, dan mesin dari tahun 2010 memiliki tingkat

keandalan terendah, yaitu 24,219%. Frekuensi kerusakan tertinggi terjadi pada bulan Desember 2023 dengan 278 kejadian. Rata-rata, satu mesin oven mengalami dua kali kerusakan setiap bulan, yang berkontribusi pada *downtime* total sebesar 11.591,75 jam pada 2023. *Downtime* ini mencakup 2,427% dari total jam kerja tahunan perusahaan untuk mesin oven. Biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan mencakup pembayaran mekanik sebesar Rp123.176.381,84, kerugian operator Rp184.764.572,76, dan pembelian suku cadang Rp237.936.097,34.

Saat ini, PT Sandang Asia Maju Abadi hanya mengandalkan *corrective maintenance* untuk menangani kerusakan mesin, dengan cara mengganti komponen atau mengatur ulang mesin setelah kerusakan terjadi. Perusahaan belum menerapkan pemeliharaan yang terstruktur karena kesulitan menentukan prioritas komponen yang perlu dipelihara akibat banyaknya jumlah komponen pada mesin serta anggapan bahwa *preventive maintenance* memerlukan biaya tinggi. Aktivitas pemeliharaan terbatas pada pembersihan luar mesin secara berkala tanpa jadwal tetap.

Melihat tingginya frekuensi kerusakan, rendahnya tingkat keandalan mesin, dan tingginya biaya pemeliharaan, diperlukan analisis mendalam untuk menentukan sistem pemeliharaan yang lebih baik. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemeliharaan berbasis *Reliability centered maintenance (RCM)* dan *Age replacement*. Metode RCM bertujuan mengoptimalkan keandalan dengan memprioritaskan jenis tindakan pemeliharaan, interval waktu, serta jadwal kegiatan yang tepat (Satrijo et al., 2021). Sementara itu, metode *Age replacement* menentukan waktu optimal penggantian komponen untuk meminimalkan biaya (Eddouh et al., 2023). Dengan sistem pemeliharaan usulan, diharapkan PT Sandang Asia Maju Abadi dapat mengurangi *downtime*, menekan biaya pemeliharaan, dan meningkatkan keandalan mesin secara keseluruhan, sehingga mendukung kelancaran operasional produksi secara optimal.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian Pemeliharaan

Pemeliharaan atau pemeliharaan (*maintenance*) menurut Satrijo et al. (2021) dapat diartikan sebagai suatu aktivitas guna merawat peralatan agar selalu dalam keadaan siap pakai untuk mendukung proses produksi berjalan secara efektif dan efisien. Kegiatan pemeliharaan adalah suatu kegiatan rutin yang diperlukan untuk menjaga peralatan agar dapat digunakan sesuai dengan fungsinya (Sajardj et al., 2019). Dengan demikian, tindakan pemeliharaan dilakukan secara berurutan untuk memperbaiki suatu komponen agar dapat digunakan kembali setelah mengalami kerusakan atau menjaga fasilitas agar sesuai dengan standar ketika digunakan.

2.2 Klasifikasi Pemeliharaan

Terdapat dua jenis tindakan pemeliharaan berdasarkan waktu pelaksanaannya, yaitu tindakan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) dan preventif (*preventive maintenance*) (Hu et al., 2021).

1. Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Pemeliharaan korektif juga disebut dengan *failure maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dengan memperbaiki sistem setelah terjadi kegagalan. Dalam sistem ini, tidak ada kegiatan prediksi sehingga staf dan manajemen tidak dapat mengetahui kapan kerusakan akan terjadi. Akibatnya, kegagalan yang terjadi secara tiba-tiba menyebabkan perusahaan tidak dapat menyiapkan sumber daya, seperti peralatan, suku cadang, dan staf mekanik, untuk melakukan kegiatan pemeliharaan. Hal ini dapat menyebabkan kerugian karena dapat mengganggu rencana produksi (Hu et al., 2021).

2. Pemeliharaan Preventif (*Preventive Maintenance*)

Pemeliharaan preventif adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala pada peralatan untuk mencegah kerusakan tiba-tiba dan mempertahankan kinerja sistem sehingga selalu beroperasi dengan keandalan dan efisiensi tinggi (Musthopa et al., 2023). Berdasarkan tipe informasi yang digunakan dalam penentuan tindakan pemeliharaan, pemeliharaan preventif dapat dibagi menjadi dua, yakni sebagai berikut (Hu et al., 2021).

a. Pemeliharaan terjadwal (*scheduled maintenance*), yaitu mengacu pada penjadwalan kegiatan pemeliharaan berdasarkan karakteristik peralatan, seperti tingkat kegagalan atau distribusi masa pakai yang diperoleh dari statistik data waktu keagalannya (Hu et al., 2021).

b. Pemeliharaan berdasarkan kondisi (*condition-based maintenance*), yaitu metode pemeliharaan mengevaluasi kondisi sistem saat ini dengan memantau dan menganalisis beberapa indikator, seperti temperatur, tekanan, dan getaran (Hu et al., 2021).

2.3 Reliability centered maintenance

Reliability centered maintenance adalah sebuah metode komprehensif untuk menganalisis pola kegagalan sistem untuk menentukan tindakan terbaik guna memastikan bahwa sistem senantiasa memenuhi standar keandalan yang diperlukan dalam operasional, keamanan dan kesiapan pada tahap yang diinginkan, serta keamanan lingkungan dengan biaya terendah (Patil & Bewoor, 2022). *Reliability centered maintenance* merupakan metode yang digunakan untuk memastikan tingkat keandalan sistem optimal sehingga semua fasilitas dan peralatan dapat beroperasi dengan

baik sesuai dengan desain dan fungsinya (Sajaradj et al., 2019).

Menurut Patil & Bewoor (2022), berikut ini adalah delapan langkah penerapan *reliability centered maintenance*.

1. Pemilihan sistem (*system selection*)
2. Batasan sistem (*system boundary*)
3. Deskripsi sistem dan diagram blok fungsional (*system description and functional block diagram*)
4. *Failure Modes Effects and Analysis* (FMEA)
5. *Logic Tree Analysis* (LTA)
6. Pemilihan tindakan (*task selection*)
7. Analisis penentuan interval pemeliharaan
8. Perbandingan dengan sistem yang ada

2.4 Age replacement

Menurut Eddouh et al. (2023), secara sederhana, model *age replacement* menentukan waktu tetap pergantian komponen dalam sistem dengan biaya yang minimal. Dalam model ini, penggantian komponen dilakukan ketika komponen telah mencapai usia atau masa pakai tertentu atau ketika komponen mengalami kerusakan (mana dari keduanya yang terjadi lebih dulu) (Alsyouf et al., 2021). Pada umumnya, analisis kebijakan penggantian dilakukan dengan meminimalkan biaya. Akan tetapi dalam sebagian kondisi, keandalan dan ketersediaan lebih penting daripada biaya dan perlu dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan (Alsyouf et al., 2021).

2.5 Laju Kerusakan

Laju kerusakan adalah probabilitas terjadinya kerusakan dalam periode waktu tertentu (Stephens, 2022). Perhitungan laju kerusakan dilakukan dengan menggunakan data antar kejadian kerusakan. Distribusi data antar kejadian kerusakan dapat mengikuti distribusi tertentu dengan masing-masing distribusi memiliki parameter yang akan memengaruhi perhitungan laju kerusakan. Berikut ini merupakan lima jenis distribusi data antar kejadian kerusakan (Ebeling, 1996)

a. Distribusi Weibull 2 Parameter

1. Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1}, \theta > 0, \beta > 0, t \geq 0$$

2. Fungsi Keandalan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

3. Mean time between failure

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

b. Distribusi Weibull 3 Parameter

1. Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^{\beta-1}, t \geq t_0$$

2. Fungsi Keandalan

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right], t \geq t_0$$

3. Mean time between failure

$$MTTF = t_0 + \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

c. Distribusi Eksponensial

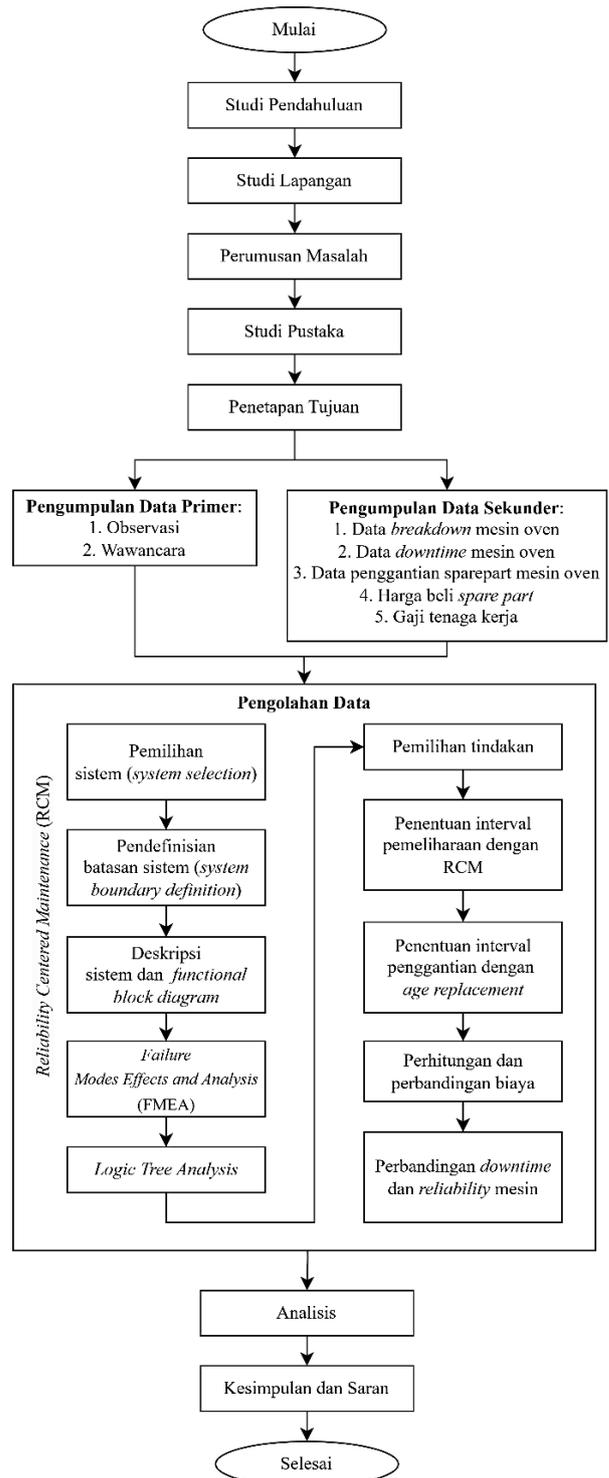
1. Laju Kerusakan

- $\lambda(t) = \lambda$
- Fungsi Keandalan
 $R(t) = \exp(-\lambda.t)$
 - Mean time between failure
 $MTTF = \frac{1}{\lambda}$
- d. Distribusi Normal
- Laju Kerusakan
 $\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)}$
 - Fungsi Keandalan
 $R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$
 - Mean time between failure
 $MTTF = \mu$
- e. Distribusi Lognormal
- Laju Kerusakan
 $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$
 - Fungsi Keandalan
 $R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)$
 - Mean time between failure
 $MTTF = t_{med} e^{\left(\frac{s^2}{2}\right)}$

3. Metode Penelitian

Data primer penelitian ini dikumpulkan dengan melakukan observasi dan wawancara. Observasi dilakukan pada rantai produksi PT Sandang Asia Maju Abadi untuk mengamati kondisi mesin yang rusak dan melakukan wawancara untuk mengetahui kapan kegiatan pemeliharaan atau *preventive maintenance* dilakukan oleh perusahaan. Data sekunder yang dikumpulkan dalam penelitian adalah data *breakdown* mesin oven dan data *downtime* mesin oven, data penggantian komponen mesin oven, harga beli komponen, dan gaji tenaga kerja operator dan mekanik yang diperoleh dari data arsip perusahaan. Pengolahan data dilakukan dengan tahapan dalam konsep *reliability centered maintenance*, yakni melakukan pemilihan sistem, mendefinisikan batasan sistem, mendeskripsikan sistem dan membuat *functional block diagram*, menganalisis fungsi, kegagalan fungsi, penyebab, dan efeknya dengan *Failure Modes Effects and Analysis*, melakukan analisis *Logic Tree Analysis*, menentukan jenis tindakan, menentukan interval pemeliharaan dengan perhitungan dalam RCM dan menentukan interval penggantian dengan perhitungan dalam *age replacement*.

Berikut adalah tahapan dalam penelitian ini yang disusun dalam bentuk *flowchart*,



Gambar 1. Tahapan Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pemilihan Sistem

Pada rantai produksi di departemen laundry, terdapat dua jenis mesin utama yang digunakan, yaitu mesin washer dan mesin oven yang keduanya masing-masing berjumlah 62 mesin. Pada tahun 2023, mesin washer mengalami kerusakan sebanyak 966 kali dan mesin oven sebanyak 1723 kali. Karena mesin oven mengalami kerusakan yang lebih banyak, mesin oven

dipilih untuk dilakukan analisis mengenai kegiatan pemeliharaan.

Dari total 62 mesin, mesin oven memiliki umur yang berbeda-beda karena pembelian mesin tidak dilakukan sekaligus untuk 62 mesin, melainkan pembelian dilakukan secara berkala, yakni pada tahun 2001 sebanyak 4 mesin, tahun 2006 sebanyak 38 mesin, dan 2010 sebanyak 20 mesin. Mesin-mesin yang dibeli di setiap tahun pembelian juga memiliki merek dan spesifikasi yang sedikit berbeda. Tabel 1. menunjukkan jumlah kerusakan dan *downtime* waktu yang dialami oleh masing-masing mesin selama tahun 2023 menurut kelompok umurnya.

Tabel 1. Frekuensi Kerusakan dan Jumlah *Downtime* Menurut Kelompok Mesin

Tahun Pembelian	Jumlah Kerusakan	Rata-Rata Frekuensi Kerusakan	Jumlah Downtime (menit)	Rata-Rata Downtime	Rata-Rata Nilai Reliabilitas
2001	30	8	11790	2948	26,222%
2006	1028	27	497195	13084	28,699%
2010	505	25	233230	11662	24,219%

Berdasarkan data, diketahui bahwa mesin-mesin yang dibeli pada tahun 2006 memiliki rata-rata frekuensi kerusakan dan jumlah *downtime* tertinggi dibandingkan mesin-mesin lainnya. Akan tetapi, dengan selisih rata-rata rekuensi kerusakan dan total *downtime* yang tidak terlalu besar, mesin-mesin yang dibeli pada tahun 2010 memiliki nilai reliabilitas terendah daripada yang lainnya. Oleh karena itu, mesin-mesin yang dibeli pada tahun 2010 dipilih sebagai mesin yang akan dianalisis dalam proses penentuan sistem pemeliharaan yang paling baik untuk ditetapkan. Mesin-mesin ini adalah mesin dengan nomor 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, dan 58.

4.2 Pendefinisian Batasan Sistem

Proses analisis dengan menggunakan metode RCM dalam penelitian ini dilakukan pada level sistem kemudian pada level komponen. karena kegagalan fungsi suatu sistem dapat dilihat pada level sistem terlebih dahulu kemudian setelah itu ditentukan pendukung fungsi sistem tersebut pada level komponen. Dalam mendefinisikan batasan sistem, pertama dapat dilakukan perincian mengenai subsistem dalam sistem tersebut. Mesin oven dapat dibagi menjadi beberapa subsistem yang merupakan kumpulan beberapa komponen yang mengerjakan satu fungsi yang sama. Tabel 2. menunjukkan subsistem dan komponen dalam mesin oven.

Tabel 2. Subsistem dan Komponen Mesin Oven

Subsistem	Komponen	
	Kode	Nama Komponen
Control panel	1.1	Twin timer
	1.2	Timer
	1.3	Lampu indikator
	1.4	Fuse
	1.5	Temperature control
	1.6	Tombol on/off
	1.7	Tombol switch mode

Subsistem	Komponen	
	Kode	Nama Komponen
Pengaturan uap	2.1	Solenoid valve
	2.2	Steam trap
	2.3	Thermocouple
	2.4	Relay
	2.5	Radiator
Pengadaan uap	3.1	Ball valve
	3.2	Pipa
	3.3	Sambungan T
	3.4	Sambungan Knee
	3.5	Double nepel
	3.6	Watermur
Penggerak	4.1	Contaktor
	4.2	Dinamo
	4.3	Fan belt
	4.4	Bearing
	4.5	Silinder bong
Pembuangan uap	5.1	Blower

4.3 Deskripsi Sistem dan *Functional Block Diagram*

Berikut ini adalah spesifikasi mesin oven yang digunakan dalam proses pengeringan produk garmen di dalam departemen laundry.

Merek mesin : Junye Hongda GDP Dryer Machine
 Seri : GDP-300
 Bahan bakar : Lstrik
 Kapasitas : 135 kg
 Ukuran : 2100 x 1860 x 2680 mm
 Sumber panas : Uap
 Berat : 1300 kg
 Daya : 6 kW
 Voltase : 380 V

Kemudian dilakukan pembuatan *functional block diagram* guna memahami hubungan fungsi antar komponen mesin.

4.4 *Failure Mode Effects and Analysis*

Kerusakan-kerusakan yang terjadi pada komponen-komponen mesin oven akan menyebabkan operasi mesin menjadi terganggu. Masing-masing kerusakan komponen tentu memiliki dampak yang berbeda-beda terhadap keseluruhan fungsi mesin. Oleh karena itu, dilakukan analisis dampak yang ditimbulkan untuk setiap kerusakan pada komponen. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode FMEA yang mengidentifikasi fungsi, kegagalan fungsi, dan mode kegagalan. Selanjutnya, dilakukan analisis penentuan tingkat risiko untuk setiap mode kegagalan dengan melakukan penilaian *severity* (keparahan), *occurrence* (frekuensi), dan *detection* (deteksi) kemudian dilakukan perhitungan nilai RPN dengan mengalikan penilaian *severity* x *occurrence* x *detection*.

Berdasarkan hasil analisis FMEA dan perhitungan RPN, masing-masing komponen dapat dikelompokkan berdasarkan tingkat kekritisan (critical level) yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Nilai RPN dan *Critical Level* Komponen Mesin Oven

Kode Komponen	Nilai RPN	Critical Level	Kode Komponen	Nilai RPN	Critical Level
3.1	105	Medium	4.2	112	High
3.2	105	Medium	4.3	63	Minor
3.3	105	Medium	4.4	189	Critical

Kode Komponen	Nilai RPN	Critical Level	Kode Komponen	Nilai RPN	Critical Level
3.4	105	Medium	4.5	105	Medium
3.5	105	Medium	1.1	63	Minor
3.6	84	Medium	1.2	63	Minor
2.1	105	Medium	1.3	42	Minor
2.2	35	Minor	1.4	105	Medium
2.3	84	Medium	1.5	84	Medium
2.4	42	Minor	1.6	63	Minor
2.5	252	Very Critical	1.7	63	Minor
4.1	112	High	5.1	210	Critical

Diketahui bahwa komponen yang memiliki nilai RPN di atas rata-rata sebesar 99,000 adalah komponen radiator, dinamo, bearing, kontaktor, dan blower. Komponen-komponen ini juga masuk ke dalam kelompok dengan tingkat kritis tertinggi dengan level risiko dapat ditoleransi hingga tidak dapat ditoleransi. Tingkat kritis (*critical level*) menggambarkan pentingnya komponen dalam mendukung operasi keseluruhan sistem; semakin kritis komponen, semakin signifikan dampak kerusakannya terhadap performa mesin secara keseluruhan. Dengan demikian, komponen tersebut dikatakan sebagai komponen kritis yang memerlukan perhatian lebih dibandingkan dengan komponen-komponen lain.

4.6 Logic Tree Analysis

Model pertama LTA yang digunakan disusun oleh Higgins et al. (2008) digunakan untuk mengidentifikasi efek kegagalan serta jenis tindakan yang efektif untuk dilakukan dan model kedua yang dikemukakan oleh Feng et al. (2019) digunakan untuk menganalisis apakah tindakan pemeliharaan preventif atau korektif yang lebih cocok untuk menangani kerusakan komponen berdasarkan karakteristik kerusakannya. Tabel 4. menunjukkan hasil analisis diagram pohon logis untuk masing-masing komponen mesin oven.

Tabel 4. Hasil *Logic Tree Analysis*

Kode Komponen	Hasil Model 1		Hasil Model 2
	Efek Kegagalan	Tindakan	Jenis Pemeliharaan
3.1	<i>Hidden-function safety effects</i>	Restorasi	Preventif
3.2	<i>Hidden-function safety effects</i>	Restorasi	Preventif
3.3	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Preventif
3.4	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Preventif
3.5	<i>Hidden-function safety effects</i>	Restorasi	Preventif
3.6	<i>Hidden-function safety effects</i>	Restorasi	Preventif
2.1	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Preventif
2.2	<i>Hidden-function safety effects</i>	Restorasi	Preventif
2.3	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Preventif
2.4	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Preventif
2.5	<i>Hidden-function safety effects</i>	Restorasi	Preventif
4.1	<i>Evident direct cost effects</i>	Buang/ Ganti	Korektif
4.2	<i>Evident direct cost effects</i>	Inspeksi / Pemeriksaan	Preventif

Kode Komponen	Hasil Model 1		Hasil Model 2
	Efek Kegagalan	Tindakan	Jenis Pemeliharaan
4.3	<i>Hidden-function safety effects</i>	Fungsional / Pemantauan Kondisi	Preventif
		Inspeksi / Pemeriksaan Fungsional / Pemantauan Kondisi	
4.4	<i>Evident direct cost effects</i>	Lubrikasi	Preventif
4.5	<i>Evident direct cost effects</i>	Buang/ Ganti	Korektif
1.1	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Korektif
1.2	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Korektif
1.3	<i>Hidden-function safety effects</i>	Restorasi	Preventif
1.4	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Korektif
1.5	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Korektif
1.6	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Korektif
1.7	<i>Hidden-function safety effects</i>	Buang/ Ganti	Korektif
5.1	<i>Evident direct cost effects</i>	Buang/ Ganti	Preventif

4.7 Pemilihan Tindakan

Tabel 5. menunjukkan pemilihan tindakan pemeliharaan untuk masing-masing komponen dalam mesin oven.

Tabel 5. Pemilihan Tindakan untuk Komponen-Komponen Mesin Oven

Kode Komponen	Jenis Tindakan	Jenis Pemeliharaan	Keterangan
3.1	Buang	Preventif	Restorasi untuk mencegah kebocoran dan tersumbatnya ball valve guna mempertahankan aliran uap dengan membersihkan karat.
			Restorasi untuk mencegah kebocoran dan mempertahankan aliran pipa dengan membersihkan karat.
3.2	Restorasi	Preventif	Restorasi untuk mencegah korosi dan kebocoran guna mempertahankan aliran uap dan kekuatan sambungan dengan membersihkan karat.
3.3	Buang	Preventif	
3.4	Buang	Preventif	
3.5	Restorasi	Preventif	Restorasi untuk mencegah korosi dan kebocoran guna mempertahankan aliran uap dan kekuatan sambungan dengan membersihkan karat.
3.6	Restorasi	Preventif	Restorasi untuk mencegah korosi dan kebocoran guna mempertahankan aliran uap dan kekuatan sambungan dengan membersihkan karat.
2.1	Buang	Preventif	
2.2	Buang	Preventif	
2.3	Buang	Preventif	

Kode Komponen	Jenis Tindakan	Jenis Pemeliharaan	Keterangan
2.4	Buang Restorasi	Preventif	Restorasi radiator dengan melakukan penambalan dinding radiator guna mengurangi laju kerusakan dan mencegah kebocoran yang besar.
2.5			
4.1	Buang	Preventif	Inspeksi dinamo untuk memastikan tidak ada kerusakan komponen listrik dan kemampuan penggerak tetap optimal.
4.2	Inspeksi / Pemeriksaan Fungsional / Pemantauan Kondisi	Preventif	
4.3	Inspeksi / Pemeriksaan Fungsional / Pemantauan Kondisi	Preventif	Inspeksi fan belt untuk mendeteksi adanya keausan dan gangguan pada fungsi penggerak.
4.4	Lubrikasi	Preventif	Pemberian lubrikan guna mengurangi dampak gesekan dan memastikan bearing dapat berputar dengan kecepatan yang diinginkan.
4.5	Restorasi	Preventif	Restorasi untuk dengan melakukan penambalan pada retakan dinding silinder bong guna mengurangi laju kerusakan berupa kebocoran.
1.1	Buang	Korektif	
1.2	Buang	Korektif	
1.3	Buang	Korektif	
1.4	Buang	Korektif	
1.5	Buang	Korektif	
1.6	Buang	Korektif	
1.7	Buang	Korektif	
5.1	Restorasi	Preventif	Restorasi blower dengan melakukan pembersihan dari debu agar tidak ada penurunan kinerja dalam sirkulasi udara.

4.8 Penentuan Interval Pemeliharaan dengan Reliability centered maintenance

Penentuan interval pemeliharaan dengan metode RCM dilakukan untuk komponen-komponen kritis yang dilakukan pemeliharaan pencegahan berupa restorasi, lubrikasi, atau inspeksi, yakni komponen radiator, dinamo, bearing, dan blower. Langkah pertama adalah melakukan perhitungan *mean time to repair* (MTTR) atau rata-rata waktu perbaikan setiap kejadian kerusakan berdasarkan data *time to repair* yang telah diperoleh dari perusahaan. Perhitungan MTTR dilakukan dengan melakukan *goodness of fit*, yaitu mencari nilai *r* atau *index of fit* terbesar untuk lima pola distribusi, yaitu distribusi Weibull 2 parameter, distribusi lognormal, distribusi eksponensial, distribusi Weibull 3 parameter, dan distribusi normal. Pengujian ini dilakukan dengan bantuan software Minitab 17. Setelah mendapatkan jenis distribusi data, dilakukan penghitungan nilai parameter distribusi data yang dilakukan dengan pengujian *Parametric Distribution*

Analysis dalam software Minitab 17. Terakhir, dilakukan penghitungan nilai MTTR menggunakan rumus perhitungan sesuai dengan jenis distribusi data. Perhitungan nilai MTTR dilakukan untuk setiap mesin kemudian dilakukan perhitungan untuk komponen secara keseluruhan. Tabel 6. menunjukkan hasil perhitungan MTTR komponen-komponen kritis mesin oven.

Tabel 6. Nilai *Mean Time to Repair* Komponen Kritis

Komponen	MTTR (Menit)
Radiator	514,520
Dinamo	415,746
Bearing	385,654
Blower	203,545

Berikut ini merupakan perhitungan interval pemeliharaan komponen radiator.

a. Rasio waktu perbaikan terhadap rata-rata jam kerja per bulan ($1/\mu$)

$$MTTR = 514,520 \text{ menit} = 8,575 \text{ jam}$$

$$\text{Rata-rata jam kerja per bulan} = 4 \text{ minggu} \times 6 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} = 576 \text{ jam}$$

$$\mu = \frac{\text{jam kerja per bulan}}{MTTR} = \frac{576}{8,575} = 67,170$$

b. Rasio waktu pemeliharaan terhadap rata-rata jam kerja per bulan ($1/i$)

Waktu rata-rata untuk melakukan pemeliharaan komponen radiator berdasarkan wawancara = 1 jam

Rasio waktu pemeliharaan terhadap rata-rata jam kerja per bulan = $\frac{1}{i} = \frac{1}{576} = 0,00174$

$$i = \frac{1}{0,00174} = 576$$

c. Rata-rata jumlah kerusakan per bulan (k)

Total kerusakan komponen radiator selama satu tahun adalah 182 kali kerusakan.

$$k = \frac{\text{jumlah kerusakan selama satu tahun}}{12}$$

$$= \frac{182}{12} = 15,167$$

≈ 16 kali kerusakan per bulan

d. Frekuensi pemeliharaan optimal (n)

$$n = \sqrt{\frac{k+i}{\mu}} = \sqrt{\frac{16 \times 576}{67,170}} = 2,969$$

$$\approx 3 \text{ kali per bulan}$$

e. Interval waktu pemeliharaann (t_i)

$$t = \frac{\text{rata-rata jam kerja per bulan}}{n} = \frac{576}{2,969}$$

$$= 194,160 \text{ jam} = 8,090 \text{ hari}$$

$$\approx 9 \text{ hari}$$

Kemudian dilakukan perhitungan interval pada komponen kritis yang lain dan hasilnya disajikan dalam Tabel 7. berikut.

Tabel 7. Interval Pemeliharaan Komponen Kritis

Komponen	Interval Pemeliharaan (Hari)
Radiator	9
Dinamo	7
Bearing	10
Blower	14

4.9 Penentuan Interval Penggantian dengan Age replacement

4.9.1 Perhitungan Nilai Mean Time to Repair

Berdasarkan nilai parameter hasil dari pengujian *Parametric Distribution Analysis* dalam software Minitab 17, berikut adalah perhitungan MTTR dari distribusi waktu perbaikan komponen kontakor yang berdistribusi normal.

$$\text{mean} = \mu = 182,173$$

$$MTTF = \mu$$

$$MTTF = 182,173$$

Dengan demikian, nilai MTTR dari komponen kontakor adalah 182,173 menit.

4.9.2 Perhitungan Nilai Mean time between failure

Mean time between failure (MTBF) atau rata-rata waktu perbaikan setiap kejadian kerusakan. Perhitungan MTBF komponen kontakor dilakukan dengan tahapan yang sama dengan perhitungan nilai MTTR. Berdasarkan nilai parameter hasil dari pengujian *Parametric Distribution Analysis* dalam software Minitab 17, berikut adalah perhitungan MTBF dari distribusi waktu kerusakan komponen kontakor yang berdistribusi Weibull 3 parameter.

$$\text{threshold} = t_0 = -121,328$$

$$\text{scale} = \theta = 54106,6$$

$$\text{shape} = \beta = 0,670822$$

$$MTTF = t_0 + \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$MTTF = -121,328 + 54106,6 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{0,670822}\right) \\ = 71337,882$$

Dengan demikian, nilai MTTR dari komponen kontakor adalah 71337,882 menit atau 49,540 hari.

4.9.3 Perhitungan Cost of Failure dan Cost of Prevention

1. Perhitungan Cost of Failure

Berikut ini adalah komponen biaya penggantian akibat kerusakan dari komponen kontakor.

a. Biaya Komponen

$$\text{Biaya Komponen} = 180.000 \text{ per unit}$$

b. Biaya Tenaga Kerja Mekanik

Diketahui gaji tenaga kerja mekanik selama satu bulan adalah Rp3.060.348,78. Diketahui jam kerja mekanik adalah 12 jam sehari dan 6 hari dalam satu minggu. Penggantian komponen kontakor hanya membutuhkan satu pekerja mekanik. Dengan demikian, berikut ini adalah biaya tenaga kerja mekanik per jam.

$$\text{Biaya Mekanik} \\ = \frac{\text{Gaji per bulan}}{\text{Rata - rata jam kerja per bulan}} \\ \text{Biaya Mekanik} = \frac{\text{Rp3.060.348,78}}{12 \times 6 \times 4}$$

$$\text{Biaya Mekanik} = \text{Rp10.626,21 per jam}$$

c. Kerugian Akibat Operator Menganggur

Diketahui gaji tenaga kerja operator selama satu bulan adalah Rp3.060.348,78. Diketahui jam kerja mekanik adalah 8 jam sehari dan 6 hari

dalam satu minggu. Dengan demikian, berikut ini adalah biaya tenaga kerja operator per jam.

$$\text{Kerugian} = \frac{\text{Gaji operator per bulan}}{\text{Rata - rata jam kerja per bulan}} \\ \text{Kerugian} = \frac{\text{Rp3.060.348,78}}{8 \times 6 \times 4} \\ \text{Kerugian} = \text{Rp15.939,32 per jam}$$

d. Waktu Penggantian

Berdasarkan nilai Mean Time to Repair (MTTR) yang telah dihitung sebelumnya, diketahui waktu penggantian akibat kerusakan komponen kontakor adalah 182,173 menit atau 3,036 jam.

Berdasarkan komponen biaya di atas, biaya penggantian akibat kerusakan komponen kontakor adalah sebagai berikut.

$$Cf = \text{Biaya komponen} \\ + (\text{Biaya Mekanik} \\ + \text{Biaya Operator}) \\ \times \text{Waktu Penggantian} \\ Cf = \text{Rp180.000} + (\text{Rp10.626,21} \\ + \text{Rp15.939,32}) \times 3,036 \\ Cf = \text{Rp260.652,94}$$

2. Perhitungan Cost of Prevention

Berikut ini adalah komponen biaya penggantian pencegahan dari komponen kontakor.

a. Biaya Komponen

$$\text{Biaya Komponen} = 180.000 \text{ per unit}$$

b. Biaya Tenaga Kerja Mekanik

Diketahui gaji tenaga kerja mekanik selama satu bulan adalah Rp3.060.348,78. Diketahui jam kerja mekanik adalah 12 jam sehari dan 6 hari dalam satu minggu. Penggantian komponen kontakor hanya membutuhkan satu pekerja mekanik. Dengan demikian, berikut ini adalah biaya tenaga kerja mekanik per jam.

$$\text{Biaya Mekanik} \\ = \frac{\text{Gaji per bulan}}{\text{Rata - rata jam kerja per bulan}} \\ \text{Biaya Mekanik} = \frac{\text{Rp3.060.348,78}}{12 \times 6 \times 4}$$

$$\text{Biaya Mekanik} = \text{Rp10.626,21 per jam}$$

c. Kerugian Akibat Operator Menganggur

Diketahui gaji tenaga kerja operator selama satu bulan adalah Rp3.060.348,78. Diketahui jam kerja mekanik adalah 8 jam sehari dan 6 hari dalam satu minggu. Dengan demikian, berikut ini adalah biaya tenaga kerja mekanik per jam.

$$\text{Kerugian} = \frac{\text{Gaji operator per bulan}}{\text{Rata - rata jam kerja per bulan}} \\ \text{Kerugian} = \frac{\text{Rp3.060.348,78}}{8 \times 6 \times 4 \times 60} \\ \text{Kerugian} = \text{Rp15.939,32 per jam}$$

d. Waktu Penggantian

Berdasarkan wawancara dengan pekerja mekanik, diketahui waktu penggantian pencegahan komponen kontakor adalah 30 menit atau 0,5 jam.

Berdasarkan komponen biaya di atas, biaya penggantian akibat kerusakan komponen kontakor adalah sebagai berikut.

$$Cf = \text{Biaya komponen} + (\text{Biaya Mekanik} + \text{Kerugian}) \times \text{Waktu Penggantian}$$

$$Cf = \text{Rp}180.000 + (\text{Rp}10.626,21 + \text{Rp}15.939,32) \times 0,5$$

$$Cf = \text{Rp}193.282,76$$

4.9.4 Penentuan Interval Penggantian

Berikut ini adalah perhitungan interval penggantian komponen kontaktor dengan menggunakan *age replacement*.

Tabel 8. Perhitungan Interval Penggantian Komponen Kontaktor

tp (jam)	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)	C(tp)
12	0,9406	0,0594	20018,606	0,0005418	Rp164,280
24	0,9115	0,0885	13429,060	0,0005980	Rp164,455
36	0,8873	0,1127	10551,001	0,0006432	Rp164,423
48	0,8661	0,1339	8882,010	0,0006818	Rp164,288
72	0,8295	0,1705	6973,692	0,0007462	Rp163,865
96	0,7980	0,2020	5885,357	0,0007993	Rp163,347
120	0,7700	0,2300	5169,026	0,0008448	Rp162,798
...					
864	0,3779	0,6221	1911,093	0,0013693	Rp154,988
888	0,3711	0,6289	1890,597	0,0013777	Rp154,971
912	0,3646	0,6354	1871,060	0,0013860	Rp154,9629
936	0,3582	0,6418	1852,417	0,0013941	Rp154,9630
960	0,3519	0,6481	1834,608	0,0014020	Rp154,971

Berdasarkan perhitungan dapat diketahui bahwa nilai C(tp) terus berkurang sampai pada tp = 912 jam kemudian mulai bertambah kembali pada nilai tp = 936. Hal ini menunjukkan bahwa interval penggantian komponen kontaktor paling optimal adalah pada jam ke 912 atau pada hari ke 38 dengan nilai C(tp) terendah, yakni Rp154,9629/hari dengan nilai reliabilitas sebesar 36,46%.

4.10 Penentuan Interval Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan yang diusulkan memperhatikan beberapa hal, yakni interval pemeliharaan dan penggantian optimal yang telah diperoleh dengan metode RCM dan *age replacement*, karakteristik komponen mesin oven dan batasan-batasan atau kebijakan yang dimiliki oleh perusahaan. Diketahui bahwa jika kegiatan pemeliharaan yang dilakukan tidak mungkin hanya dilakukan pada satu komponen saja. Terdapat tiga kondisi yang memungkinkan hal ini untuk dilakukan, yaitu komponen terletak berdekatan, komponen memiliki satu aliran (uap atau arus listrik) dengan komponen lainnya, dan komponen memiliki kontak langsung dengan komponen lainnya. Oleh karena itu, berikut ini adalah kelompok-kelompok komponen yang dapat dilakukan pemeliharaan secara bersamaan.

Tabel 9. Pengelompokkan Komponen Mesin Oven

Kode	Nama-Nama Komponen	Alasan Pengelompokan
A	Twin timer, timer, lampu indikator, fuse, temperature control, tombol on/off, tombol switch mode	Komponen-komponen pada subsistem <i>control panel</i> memiliki posisi yang berdekatan dan memiliki hubungan arus listrik.
B	Radiator, solenoid valve, steam trap, relay, ball valve,	Komponen-komponen ini terhubung dalam satu aliran uap karena berfungsi dalam

Kode	Nama-Nama Komponen	Alasan Pengelompokan
	pipa, sambungan T, sambungan knee, double nepel, watermur	pengaturan aliran uap yang masuk ke dalam mesin sehingga kondisi satu komponen dapat memengaruhi komponen lainnya.
C	Contactor, dinamo, bearing, blower, fan belt	Komponen-komponen ini berfungsi dalam proses penggerak, terletak berdekatan, dan satu komponen memiliki kontak langsung dengan komponen lainnya.
D	Silinder bong, thermocouple	Komponen-komponen ini memiliki posisi yang berdekatan.

Penentuan interval pemeliharaan suatu kelompok komponen dilakukan dengan didasarkan pada penentuan interval pemeliharaan dan penggantian komponen kritis yang ada di dalam kelompok tersebut yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini dilakukan guna menjaga nilai keandalan komponen kritis dan menghindari interval pemeliharaan yang ternyata lebih panjang dari *mean time between failure* komponen kritis karena berdasarkan analisis FMEA, komponen kritis dianggap lebih sering mengalami kerusakan daripada komponen tidak kritis yang berarti bahwa komponen tidak kritis MTBF yang lebih lama.

4.11 Perhitungan dan Perbandingan Biaya

4.11.1 Perhitungan Biaya Pemeliharaan Aktual

Komponen biaya yang dihitung dalam perhitungan biaya pemeliharaan aktual terdiri dari biaya pemeliharaan korektif saja, yakni biaya pembelian komponen, biaya tenaga kerja, dan kerugian akibat operator mesin yang menganggur.

a. Biaya Pembelian Komponen

Harga komponen radiator adalah Rp5.000.000,00/unit. Jumlah penggantian selama tahun 2023 adalah 9 kali, sehingga total biaya pembelian komponen radiator adalah

$$\begin{aligned} \text{Biaya Pembelian Komponen} &= \text{Rp}5.000.000,00/\text{unit} \\ &\times 9 = \text{Rp}45.000.000,00 \end{aligned}$$

b. Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja mekanik adalah Rp10.626,21/jam. Diketahui total waktu perbaikan komponen radiator adalah 1666,5 jam, sehingga total biaya tenaga kerja adalah

$$\begin{aligned} \text{Biaya Tenaga Kerja} &= \text{Rp}10.626,21/\text{jam} \\ &\times 1666,5 \text{ jam} \\ &= \text{Rp}17.708.580,70 \end{aligned}$$

c. Kerugian Akibat Operator Menganggur

Biaya operator adalah Rp15.939,32/jam. Diketahui total *downtime* mesin akibat kerusakan komponen radiator adalah 1666,5 jam, sehingga total kerugian adalah

$$\begin{aligned} \text{Biaya Tenaga Kerja} &= \text{Rp}10.626,21/\text{jam} \\ &\times 1666,5 \text{ jam} \\ &= \text{Rp}26.562.871,05 \end{aligned}$$

d. Total Biaya Pemeliharaan Korektif

Berikut ini adalah total biaya pemeliharaan korektif komponen radiator selama tahun 2023.

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Biaya Pembelian Komponen} \\ &+ \text{Biaya Tenaga Kerja} \\ &+ \text{Kerugian} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Rp}45.000.000,00 \\ &+ \text{Rp}17.708.580,70 \\ &+ \text{Rp}26.562.871,05 \\ &= \text{Rp}89.271.451,75 \end{aligned}$$

Perhitungan biaya pemeliharaan korektif untuk komponen lainnya menggunakan komponen biaya yang sama dengan komponen radiator.

4.10.2 Perhitungan Biaya Pemeliharaan Usulan

Berikut ini adalah perhitungan biaya komponen biaya yang dihitung dalam perhitungan biaya pemeliharaan usulan terdiri dari komponen biaya pemeliharaan preventif (untuk komponen yang tindakan pemeliharaan terpilih adalah pemeliharaan preventif), antara lain biaya tenaga kerja dan kerugian akibat operator menganggur per jam dikalikan dengan total *downtime* mesin, dan komponen biaya pemeliharaan korektif (untuk komponen yang tindakan pemeliharaan terpilih adalah pemeliharaan korektif), yang sama dengan komponen biaya pemeliharaan aktual. Akan tetapi, untuk kegiatan pemeliharaan berupa penggantian, seperti pada komponen kontaktor, terdapat perbedaan komponen biaya yang digunakan. Berikut ini adalah perhitungan biaya pemeliharaan korektif komponen kontaktor.

a. Total Downtime

Diketahui waktu pemeliharaan preventif komponen kontaktor adalah 0,5 jam. Berdasarkan perhitungan, interval waktu penggantian optimal komponen kontaktor adalah setiap 38 hari sekali.

$$\begin{aligned} \text{Total Downtime} &= \frac{\text{Total hari kerja selama satu tahun}}{\text{Interval pemeliharaan}} \\ &\times \text{Waktu pemeliharaan} \end{aligned}$$

$$\text{Total Downtime} = \frac{321}{38} \times 0,5 \text{ jam}$$

$$\text{Total Downtime} = 4 \text{ jam}$$

b. Biaya Pembelian Komponen

Diketahui harga komponen kontaktor adalah Rp180.000,00/unit. Berdasarkan perhitungan, diketahui total penggantian pencegahan komponen kontaktor dalam satu tahun adalah 8 kali, sehingga total biaya pembelian komponen kontaktor adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Biaya Pembelian Komponen} &= \text{Harga per unit} \\ &\times \text{Jumlah penggantian} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Pembelian Komponen} &= \text{Rp}180.000,00 \times 8 \\ &= \text{Rp}1.440.000,00 \end{aligned}$$

c. Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja mekanik adalah Rp10.626,21/jam.

d. Kerugian Akibat Operator Menganggur

Biaya operator adalah Rp15.939,32/jam.

Berikut ini adalah tabel perbandingan nilai *downtime*, *reliability*, dan *availability* dari komponen-komponen kritis pada kelompok mesin oven yang dibeli pada tahun 2010.

e. Total Biaya Pemeliharaan Usulan

Berikut ini adalah total biaya pemeliharaan usulan komponen kontaktor untuk satu mesin oven selama tahun 2023.

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Biaya Komponen} \\ &+ (\text{Biaya Tenaga Kerja} \\ &+ \text{Kerugian}) \times \text{Total Downtime} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Rp}1.440.000,00 \\ &+ (\text{Rp}10.626,21 + \text{Rp}15.939,32) \\ &\times 4 = \text{Rp}1.546.262,11 \text{ per mesin} \end{aligned}$$

Berikut ini adalah total biaya pemeliharaan usulan komponen kontaktor untuk 20 mesin oven selama tahun 2023.

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Rp}1.546.262,11 \times 20 \\ &= \text{Rp}30.925.242,21 \end{aligned}$$

Tabel 10. menunjukkan perbandingan biaya sistem pemeliharaan aktual dan usulan

Tabel 10. Perbandingan Biaya Pemeliharaan Aktual dan Usulan

Kelompok Komponen	Biaya Sistem Pemeliharaan		Perubahan
	Aktual	Usulan	
A	Rp15.655.048,44	Rp15.655.048,44	0,000%
B	Rp206.455.552,15	Rp91.119.759,68	55,865%
C	Rp62.207.483,34	Rp89.502.230,58	-67,304%
D	Rp20.965.133,46	Rp20.965.133,46	0,000%
Total	Rp305.283.217,39	Rp217.242.172,16	26,749%

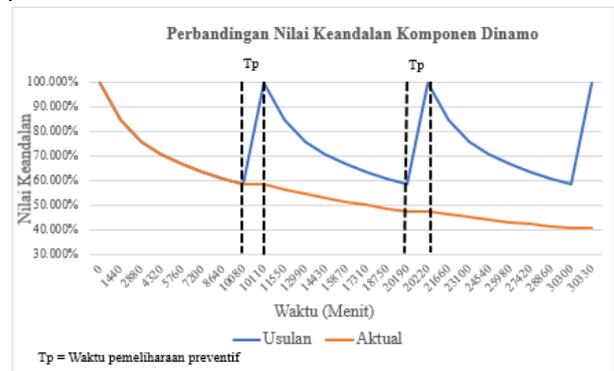
4.11 Perbandingan Downtime, Reliability, dan Availability Komponen Mesin

Tabel 11. Menunjukkan perbandingan nilai keandalan mesin oven nomor 39 dari sistem pemeliharaan aktual dan usulan.

Tabel 11. Perbandingan Nilai Keandalan Aktual dan Usulan Mesin Oven Nomor 39

Nomor Mesin	R(t) Aktual	R(t) Usulan	Selisih
39	0,078%	7,489%	7,410%

Berikut ini adalah grafik perbandingan nilai keandalan komponen dinamo pada sistem pemeliharaan aktual dan usulan.



Gambar 2. Perbandingan Nilai Keandalan Komponen Dinamo

Tabel 11. Perbandingan *Downtime*, *Reliability*, dan *Availability* Komponen Kritis Semua Mesin

Komponen	Nilai Keandalan (R(t))			Total Downtime (D(t)) (Menit)			Nilai Ketersediaan (A(t))		
	Aktual	Usulan	Selisih	Aktual	Usulan	Selisih	Aktual	Usulan	Selisih
Radiator	23,753%	75,195%	51,442%	411,021	114,929	296,092	99,911%	99,975%	0,064%
Dinamo	22,484%	58,645%	36,161%	799,192	265,044	534,147	99,827%	99,943%	0,116%
Bearing	18,822%	62,717%	43,895%	867,345	223,246	644,099	99,812%	99,952%	0,139%
Blower	56,223%	88,542%	32,320%	95,701	34,874	60,827	99,979%	99,992%	0,013%
Contaktor	29,965%	36,455%	6,490%	290,756	250,893	39,863	99,937%	99,946%	0,009%
Rata-Rata	30,249%	64,311%	34,061%	492,803	177,797	315,006	99,893%	99,962%	0,068%

4.12 Kerangka Usulan Jadwal Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan untuk masing-masing komponen pada interval yang telah ditetapkan dilakukan pada semua mesin oven yang dibeli pada tahun 2010, yakni berjumlah 20 mesin. Semua tindakan dan interval pemeliharaan yang dilakukan adalah sama untuk setiap komponen pada 20 mesin oven. Berikut ini adalah kerangka usulan sistem pemeliharaan mesin oven.

Tabel 12. Kerangka Usulan Sistem Pemeliharaan Mesin Oven

Kode Kelompok	Nama Komponen	Jenis Pemeliharaan	Interval Pemeliharaan	Estimasi Waktu (Menit)	Estimasi Jumlah Mekanik
A	Twin timer	Korektif	Setelah terjadi kerusakan	10	1 orang
	Timer			15	
	Lampu indikator			10	
	Fuse			15	
	Temperature control			30	
	Tombol on/off			10	
	Tombol switch mode			10	
B	Solenoid valve	Preventif	9 hari sekali	210	2 orang
	Steam trap				
	Relay				
	Radiator				
	Ball valve				
	Pipa				
	Sambungan T				
C	Sambungan Knee	Preventif	7 hari sekali	180	2 orang
	Double nepel				
	Watermur				
	Contaktor				
D	Dinamo	Korektif	Setelah terjadi kerusakan	30	1 orang
	Fan belt			120	2 orang
	Bearing				
	Blower				

Berikut ini adalah contoh penjadwalan kegiatan pemeliharaan mesin oven pada bulan Januari dan Februari 2025 berdasarkan kerangka usulan jadwal pemeliharaan.

Tabel 12. Contoh Penjadwalan Sistem Pemeliharaan Usulan Mesin Oven

Tanggal	Nomor Mesin	Tindakan	Kelompok Komponen / Komponen
07 Januari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	B
09 Januari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	C
14 Januari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	B
18 Januari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	C
21 Januari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	B
28 Januari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	B dan C
04 Februari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	B
06 Februari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	C
08 Februari 2025	37-46 dan 49-58	Penggantian	Contaktor
11 Februari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	B
15 Februari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	C
18 Februari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	B
24 Februari 2025	37-46 dan 49-58	Preventif	C

5. Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil pengolahan data dan analisis dalam penelitian tugas akhir ini.

1. Metode reliability centered maintenance digunakan untuk menentukan jenis dan tindakan pemeliharaan serta interval pemeliharaan optimal dan metode age replacement digunakan untuk menentukan interval penggantian dengan biaya minimal sehingga dapat disusun usulan sistem pemeliharaan yang berisi jadwal atau interval pemeliharaan, jenis pemeliharaan yang dilakukan, dan estimasi alokasi waktu serta sumber daya manusia untuk semua komponen mesin oven dengan biaya pemeliharaan yang lebih rendah.
2. Sistem pemeliharaan usulan yang dirumuskan lebih baik dibandingkan dengan pemeliharaan aktual sehingga secara keseluruhan dapat mengurangi total biaya sebesar 26,749% dan menaikkan nilai keandalan rata-rata sebesar 30,249% mengurangi downtime hingga 315,006 menit, serta meningkatkan nilai ketersediaan rata-rata sebesar 0,068% pada komponen kritis mesin.

Daftar Pustaka

- Alsyouf, I., Hamdan, S., Shamsuzzaman, M., Haridy, S., & Alawaysheh, I. (2021). On preventive maintenance policies: a selection framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(1), 225–252. <https://doi.org/10.1108/JQME-10-2018-0085>
- Ebeling, C. E. (1996). *An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw Hill.
- Eddouh, Y., Daya, A., Elotmani, R., & Touache, A. (2023). *Age replacement* and inspection models for estimating optimal maintenance cost: numerical performance comparisons with a case study from chemical industries. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 14(4), 1354–1369. <https://doi.org/10.1007/s13198-023-01938-9>
- Higgins, L. R., Wikoff, D. J., York, N., San, C., Lisbon, F., Madrid, L., City, M., New, M., San, D., & Seoul, J. (2008). *MAINTENANCE ENGINEERING HANDBOOK* R. Keith Mobley Editor in Chief Seventh Edition. <https://doi.org/10.1036/0071546464>
- Hu, C., Fan, H., & Wang, Z. (2021). Residual Life Prediction and Optimal Maintenance Decision for a Piece of Equipment. In *Residual Life Prediction and Optimal Maintenance Decision for a Piece of Equipment*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-2267-0>
- Musthopa, Harsanto, B., & Yunani, A. (2023). Electric power distribution maintenance model for industrial customers: Total productive maintenance (TPM), reliability-centered maintenance (RCM), and four-discipline execution (4DX) approach. *Energy Reports*, 10, 3186–3196. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.129>
- Odeyar, P., Apel, D. B., Hall, R., Zon, B., & Skrzypkowski, K. (2022). A Review of Reliability and Fault Analysis Methods for Heavy Equipment and Their Components Used in Mining. *Energies*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/en15176263>
- Patil, S. S., & Bewoor, A. K. (2022). Optimization of maintenance strategies for steam boiler system using reliability-centered maintenance (RCM) model – A case study from Indian textile industries. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 39(7), 1745–1765. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0216>
- Patil, S. S., Bewoor, A. K., Kumar, R., Ahmadi, M. H., Sharifpur, M., & PraveenKumar, S. (2022). Development of Optimized Maintenance Program for a Steam Boiler System Using Reliability-Centered Maintenance Approach. *Sustainability (Switzerland)*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/su141610073>
- Qaid, A. A. A., Ahmad, R., Mustafa, S. A., & Mohammed, B. A. (2024). A systematic reliability-centred maintenance framework with fuzzy computational integration – a case study of manufacturing process machinery. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. <https://doi.org/10.1108/jqme-04-2022-0021>
- Sajaradj, Z., Huda, L. N., & Sinulingga, S. (2019). The Application of *Reliability centered maintenance* (RCM) Methods to Design Maintenance System in Manufacturing (Journal Review). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012058>
- Satrijo, D., Suprihanto, A., Kurdi, O., Wibowo, D. B., Haryadi, G. D., Umardani, Y., Rozi, K., & Pratomo, M. F. A. (2021). Penggunaan metode Reliability-Centered Maintenance untuk menjaga keandalan material belt conveyor. *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.22146/jmtp.66163>
- Setiawan, D., Jusolihun, N., & Cahyo, W. N. (2019). Maintenance System Design on Air Jet Loom (AJL) Machine using *Reliability centered maintenance* (RCM) Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 673(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/673/1/012102>
- Stephens, M. P. (2022). Productivity and reliability-based maintenance management.