

Analisis Statistik Umur Pakai dan Kebutuhan Perawatan Mesin Oven Pengering Menggunakan Metode *Weibull Distribution*

^{1*} Muhammad Rijal Ghulam Mukhlis Al Kautsar, ²Fatkur Rohman,

¹ Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹imrgmalk13@gmail.com, ²fatkurrohman@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Muhammad Rijal Ghulam Mukhlis Al Kautsar

Abstrak— Mesin pengering (oven) merupakan peralatan penting dalam industri yang bekerja pada kondisi suhu tinggi sehingga rentan mengalami kerusakan komponen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis umur pakai komponen mesin oven serta menentukan jadwal perawatan preventif menggunakan metode distribusi *Weibull*. Data penelitian diperoleh dari pengamatan waktu kegagalan komponen utama seperti komponen pemanas, komponen motor kipas, dan komponen sensor suhu. Analisis dilakukan dengan menentukan parameter bentuk (β) dan skala (η), kemudian menghitung nilai keandalan dan *Mean Time To Failure* (MTTF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar komponen mengalami pola kegagalan wear-out ($\beta > 1$), yang menandakan kerusakan akibat keausan. Berdasarkan nilai MTTF, diperoleh interval perawatan optimal sebelum terjadi kegagalan. Penerapan metode *Weibull* terbukti mampu meningkatkan efektivitas perawatan dan mengurangi *downtime* mesin.

Kata Kunci— keandalan, mesin oven, perawatan preventif, distribusi *Weibull*

Abstract— Drying machines (ovens) are essential industrial equipment operating under high temperature conditions, making them prone to component failure. This study aims to analyze component lifetime and determine preventive maintenance schedules using the *Weibull* distribution method. Data were obtained from failure time observations of main components such as heating components, component fan motors, and component temperature sensors. The analysis includes estimating shape (β) and scale (η) parameters, followed by reliability and *Mean Time To Failure* (MTTF) calculations. The results show that most components exhibit wear-out failure patterns ($\beta > 1$), indicating degradation due to usage. Based on MTTF values, optimal maintenance intervals were determined to prevent failures. The *Weibull* method proves effective in improving maintenance strategies and reducing machine downtime.

Keywords— maintenance, oven machine, reliability, *Weibull*

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Mesin oven pengering merupakan salah satu peralatan penting dalam proses produksi industri, khususnya pada sektor pangan, pertanian, dan manufaktur. Proses pengeringan dilakukan dengan memanfaatkan panas dan sirkulasi udara untuk mengurangi kadar air pada bahan, sehingga dapat meningkatkan kualitas produk dan memperpanjang umur simpan. Dalam operasinya, mesin oven bekerja pada temperatur tinggi dan mengalami siklus termal berulang yang berpotensi menyebabkan degradasi material serta penurunan kinerja komponen [1].

Permasalahan yang sering terjadi pada mesin pengering adalah kerusakan komponen secara mendadak, terutama pada bagian kompor gas, motor kipas, dan sensor suhu. Kerusakan ini menyebabkan *downtime* produksi, meningkatnya biaya operasional, serta menurunnya efisiensi kerja mesin [2]. Pada praktiknya, sistem perawatan yang diterapkan masih bersifat *corrective maintenance*, yaitu perbaikan dilakukan setelah terjadi kerusakan, sehingga kurang efektif dalam mencegah kegagalan berulang [3].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pendekatan berbasis keandalan (*reliability*) yang mampu memprediksi umur pakai komponen. Analisis keandalan menjadi aspek penting dalam sistem industri karena dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola kegagalan serta menentukan strategi perawatan yang optimal [4]. Salah satu metode yang mampu digunakan adalah distribusi Weibull, karena memiliki kemampuan dalam memodelkan berbagai pola kegagalan, seperti kegagalan awal (*early failure*), kegagalan acak (*random failure*), dan kegagalan akibat keausan (*wear-out failure*) [5].

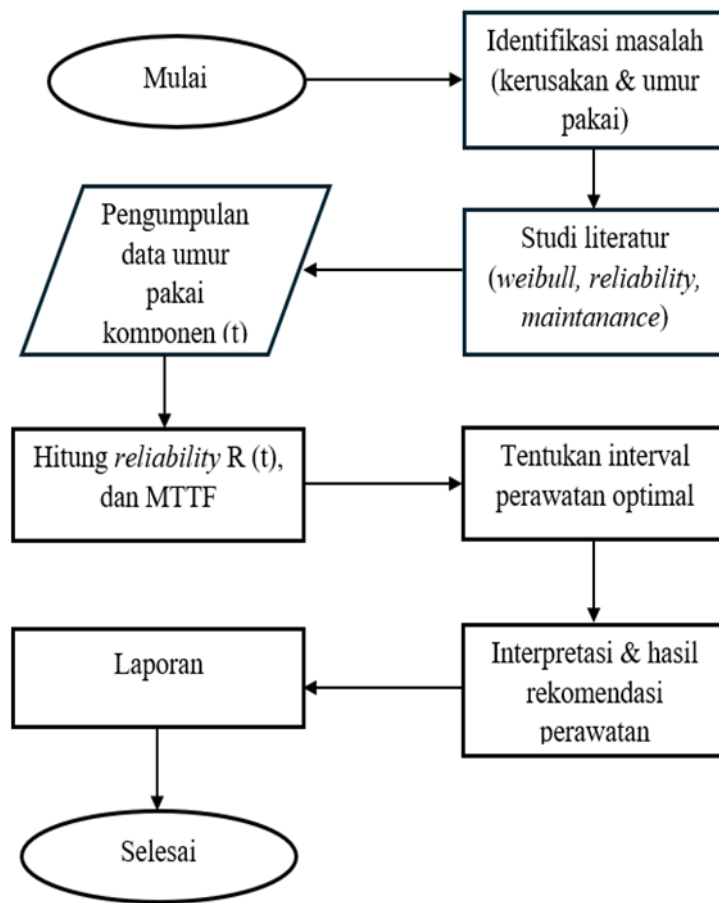
Distribusi Weibull memiliki dua parameter utama, yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (η), yang dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik kegagalan komponen secara kuantitatif. Parameter β menunjukkan pola kegagalan, sedangkan parameter η menggambarkan umur karakteristik komponen. Metode ini telah banyak digunakan dalam analisis keandalan peralatan industri karena fleksibilitas dan akurasinya dalam memodelkan data umur pakai [6].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan distribusi Weibull mampu meningkatkan efektivitas sistem perawatan. Metode *Maximum Likelihood Estimation* pada distribusi Weibull mampu menghasilkan estimasi parameter yang akurat [7]. Selain itu, distribusi Weibull dua parameter efektif digunakan untuk mengevaluasi keandalan peralatan industri [8]. Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa model Weibull dapat digunakan untuk menentukan strategi perawatan yang optimal serta meningkatkan keandalan sistem [9].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis umur pakai komponen mesin pengering (oven) menggunakan metode distribusi Weibull serta menentukan interval perawatan preventif yang optimal guna meningkatkan keandalan mesin dan mengurangi *downtime* produksi.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode distribusi Weibull untuk menganalisis umur pakai komponen mesin pengering (oven) serta menentukan interval perawatan preventif yang optimal. Metode Weibull dipilih karena mampu memodelkan berbagai karakteristik kegagalan komponen industri secara statistik [10]. Rancangan penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data waktu kegagalan, pengurutan data dari nilai terkecil hingga terbesar, penentuan probabilitas kegagalan menggunakan metode Median Rank, transformasi data Weibull, dan analisis regresi linier untuk menentukan parameter bentuk (β) dan parameter skala (η). Berikut adalah alur tahapan penelitian:



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Tahapan penelitian sebagaimana gambar 1 dilakukan secara sistematis mulai dari pengumpulan data hingga analisis hasil. Secara umum, alur penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah, yaitu mengenali permasalahan yang terjadi pada mesin pengering (oven), terutama yang berkaitan dengan seringnya kerusakan komponen dan belum adanya jadwal perawatan yang tepat.
2. Studi Literatur, dengan membaca berbagai referensi mengenai analisis keandalan, distribusi Weibull, serta teori perawatan mesin.
3. Pengumpulan data umur pakai komponen, melalui pencatatan waktu kegagalan selama mesin beroperasi.
4. Analisis menggunakan metode Weibull, untuk menentukan parameter keandalan seperti β dan η .
5. Perhitungan nilai keandalan dan MTTF (*Mean Time To Failure*), yang menggambarkan rata-rata waktu sebelum komponen mengalami kegagalan.
6. Penentuan jadwal perawatan preventif, berdasarkan hasil analisis umur pakai komponen.
7. Interpretasi hasil dan pembuatan rekomendasi, agar hasil penelitian dapat diterapkan oleh pengguna mesin pengering oven.

Teknik pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode purposive sampling, yaitu pemilihan komponen berdasarkan tingkat kerusakan yang paling sering terjadi pada mesin

oven. Objek penelitian mesin oven pengering yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu kompor gas, motor kipas, dan sensor suhu. Ketiga komponen tersebut dipilih karena memiliki peran penting dalam proses pengeringan dan berpotensi mengalami kegagalan akibat beban termal maupun mekanis selama operasi mesin.

A. Rumus Matematis Distribusi Weibull

1. Menghitung Probabilitas Gagal (F)

Karena data kegagalan bersifat diskrit (berbeda), probabilitas gagal tidak bisa langsung dihitung. Oleh karena itu digunakan Median Rank (*Benard's Approximation*):

$$F_i = \frac{i-0.3}{n+0.4} \quad (1)$$

Keterangan :

- a. F_i : estimasi probabilitas kegagalan data ke- i
- b. i : urutan data kegagalan (1, 2, ..., n)
- c. n : jumlah total data kegagalan

2. Transformasi Weibull

Agar bisa dianalisis secara linier, dilakukan dua transformasi:

a. Transformasi waktu:

$$X = \ln(t) \quad (2)$$

Keterangan:

- 1) X : sumbu horizontal pada grafik Weibull
- 2) $\ln$: logaritma natural
- 3) t : waktu kegagalan

Transformasi waktu dilakukan dengan menggunakan logaritma natural, yaitu $\ln(t)$ dengan basis $e = 2,718$, untuk melinierkan persamaan distribusi Weibull sehingga parameter bentuk dan skala dapat ditentukan melalui regresi linier.

b. Transformasi probabilitas:

$$Y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F}\right)\right) \quad (3)$$

Keterangan:

- 1) Y : sumbu vertikal pada grafik Weibull.
- 2) $\ln$: logaritma natural.
- 3) F : probabilitas kegagalan.

3. Menentukan Parameter β & η

a. Parameter β (Shape Parameter) menunjukkan pola kegagalan.

Nilai β diperoleh dari kemiringan garis regresi linier:

$$\beta = \frac{n\sum(XY) - \sum X \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (4)$$

Keterangan:

- 1) β : parameter bentuk Weibull.
- 2) X : $\ln(t)$

$$3) Y: \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-F} \right) \right)$$

4) n : jumlah data.

5) Σ : simbol penjumlahan.

b. Parameter η (Scale Parameter)

Intersep regresi:

$$C = -\beta \ln(\eta) \quad (5)$$

Maknanya C adalah hasil regresi linier $\rightarrow$ konstanta, β diperoleh dari kemiringan grafik, η adalah umur karakteristik yang ingin kita cari. Jadi Intersep regresi menyimpan informasi umur karakteristik komponen (η). Sehingga dipindahkan ruas hilangkan logaritma alami ($\ln$):

$$\eta = e^{-\frac{C}{\beta}} \quad (6)$$

Keterangan:

- 1) η : parameter skala Weibull.
- 2) C : konstanta regresi linier.
- 3) β : parameter bentuk.
- 4) e : bilangan Euler ($\approx 2,71828$).
- 5) $\ln$: logaritma natural.

Dimana η menunjukkan waktu ketika 63,2% populasi komponen mengalami kegagalan. Nilai η dihitung menggunakan persamaan $\eta = e^{-\frac{C}{\beta}}$, dengan β merupakan parameter bentuk hasil kemiringan grafik Weibull.

4. Menghitung *Reliability Function*

Fungsi keandalan atau kemungkinan komponen masih berfungsi pada waktu ke- t dinyatakan dengan rumus:

$$R(t) = e^{-(t/\eta)^\beta} \quad (7)$$

Keterangan:

- 1) $R(t)$: probabilitas komponen masih berfungsi.
- 2) t : waktu operasi.
- 3) β : parameter bentuk.
- 4) η : parameter skala.
- 5) e : bilangan Euler ($\approx 2,71828$)

5. Menghitung MTTF

Nilai rata-rata waktu sebelum terjadi kerusakan (MTTF) dihitung menggunakan rumus:

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (8)$$

Keterangan:

- 1) MTTF: rata-rata waktu sebelum kegagalan.
- 2) η : parameter skala.
- 3) β : parameter bentuk.
- 4) $\Gamma(\cdot)$: fungsi gamma.

Jadwal perawatan biasanya ditetapkan sekitar 70% dari nilai MTTF, agar komponen diganti atau diperiksa sebelum mayoritas kerusakan terjadi.

6. Menentukan Interval Perawatan Preventif

$$T_{PM} = 0.7 \times MTTF \quad (9)$$

Keterangan:

- a. T_{PM} : interval waktu perawatan preventif.
- b. MTTF: rata-rata waktu sebelum kegagalan.

B. Tabel Perhitungan Weibull

Tabel 1. Data Perhitungan Weibull Kompor Infrared

No	Waktu Gagal (t) [jam]	Status	Urutan (i)	Probabilitas Gagal (F)	ln(t)	ln(ln(1/(1-F)))
1	925	merah	1	0,12962963	6,82979374	-1,97445869
2	950	merah	2	0,314814815	6,85646198	-0,97268614
3	1050	merah	3	0,5	6,95654544	-0,36651292
4	1090	merah	4	0,685185185	6,99393298	0,144767396
5	1150	merah	5	0,87037037	7,04751722	0,714455486

Tabel 2. Data Perhitungan Weibull Motor Kipas

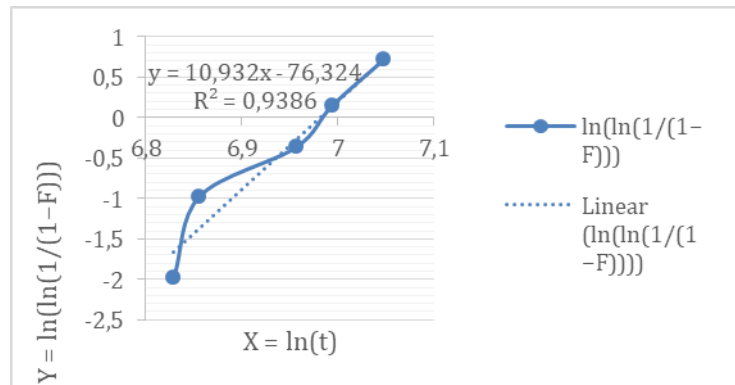
No	Waktu Gagal (t) [jam]	Status	Urutan (i)	Probabilitas Gagal (F)	ln(t)	ln(ln(1/(1-F)))
1	1350	lemah	1	0,12963	7,20786	-1,97445869
2	1420	lemah	2	0,31481	7,25841	-0,97268614
3	1480	lemah	3	0,5	7,2998	-0,36651292
4	1530	lemah	4	0,68519	7,33302	0,144767396
5	1620	lemah	5	0,87037	7,39018	0,714455486

Tabel 3. Data Perhitungan Weibull Sensor Suhu

No	Waktu Gagal (t) [jam]	Status	Urutan (i)	Probabilitas Gagal (F)	ln(t)	(ln(1/(1-F)))
1	1550	Gagal	1	0,12963	7,34601	-1,9745
2	1680	Gagal	2	0,31481	7,42655	-0,9727
3	1830	Gagal	3	0,5	7,51207	-0,3665
4	1950	Gagal	4	0,68519	7,57558	0,14477
5	2010	Gagal	5	0,87037	7,60589	0,71446

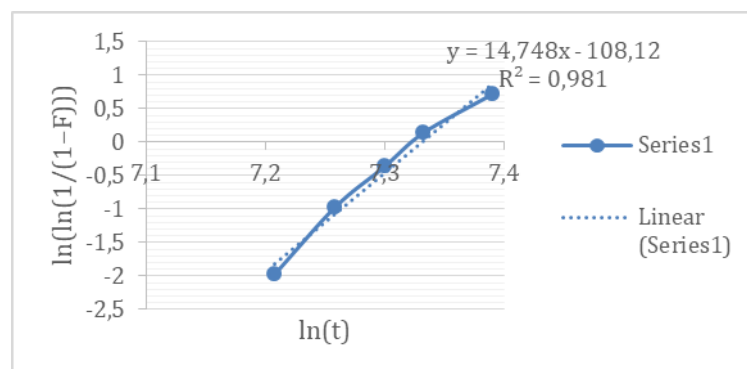
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis keandalan dilakukan terhadap tiga komponen utama mesin pengering, yaitu kompor gas, motor kipas, dan sensor suhu. Pengolahan data menggunakan distribusi Weibull dua parameter menghasilkan nilai parameter bentuk (β), parameter skala (η), *Mean Time To Failure* (MTTF), serta rekomendasi interval *preventive maintenance*.



Gambar 2. Grafik Kompor Infrared

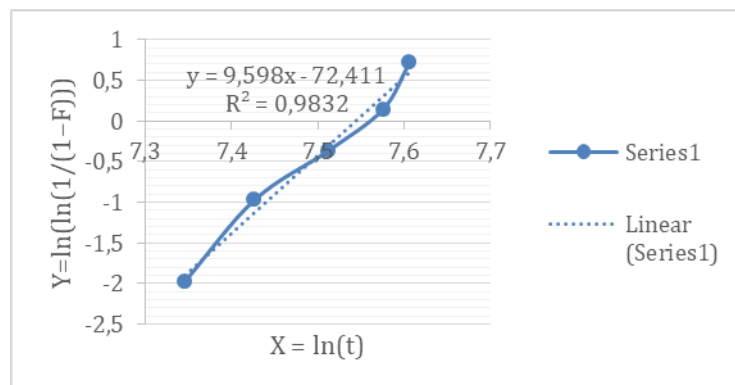
Pada grafik kompor infrared pada gambar 2 menunjukkan hasil $Y = \beta X + C$ nilai $\beta = 10,93$ dan $C = -76,324$ Parameter Skala (η). $\eta = e^{-C/\beta}$, $\eta = e^{-(-76,324)/10,93}$, $\eta = e^{6,982}$ $\eta = 1.076,74$ jam. Berarti sekitar 63,2% komponen diperkirakan mengalami kegagalan pada usia operasi tersebut. Nilai rata-rata waktu sebelum terjadi kerusakan (MTTF) 1.028,12 jam. Jadwal perawatan biasanya ditetapkan sekitar 70% dari nilai MTTF, agar komponen diperiksa atau diganti sebelum mayoritas kerusakan terjadi. Interval *preventive maintenance* berada di 720 jam agar kegagalan mendadak dapat diminimalkan.



Gambar 3. Grafik Motor Kipas

Pada grafik motor kipas pada gambar 3 menunjukkan hasil $Y = \beta X + C$ nilai $\beta = 14,74$ dan $C = -108,12$ Parameter Skala (η). $\eta = e^{-C/\beta}$, $\eta = e^{-(-108,12)/14,74}$, $\eta = e^{7,331}$ $\eta = 1.527,07$ jam. Berarti sekitar 63,2% komponen diperkirakan mengalami kegagalan pada usia operasi tersebut. Nilai rata-rata waktu sebelum terjadi kerusakan (MTTF) 1.473,85 jam. Jadwal perawatan biasanya ditetapkan sekitar 70% dari nilai MTTF, agar komponen diperiksa atau diganti

sebelum mayoritas kerusakan terjadi. Interval *preventif maintenance* berada di 1.031 jam agar kegagalan mendadak dapat diminimalkan.



Gambar 4. Grafik Sensor Suhu

Pada grafik sensor suhu sebagaimana gambar 4 menunjukkan hasil $Y = \beta X + C$ nilai $\beta = 9,59$ dan $C = -72,411$ Parameter Skala (η). $\eta = e^{-C/\beta}$, $\eta = e^{-(-108,12)/14,74}$, $\eta = e^{7,331}$ $\eta = 1.890,07$ jam. Berarti sekitar 63,2% komponen diperkirakan mengalami kegagalan pada usia operasi tersebut. Nilai rata-rata waktu sebelum terjadi kerusakan (MTTF) 1.794,95 jam. Jadwal perawatan biasanya ditetapkan sekitar 70% dari nilai MTTF, agar komponen diperiksa atau diganti sebelum mayoritas kerusakan terjadi. Interval *preventive maintenance* berada di 1.256 jam agar kegagalan mendadak dapat diminimalkan.

Tabel 4. Data Perhitungan Weibull Sensor Suhu

Komponen oven	B	η (jam)	MTTF (jam)	Interval PM (jam)	Pola Kegagalan
Komponen pemanas	10,93	1.076,74	1.028,12	720	Wear-Out
Komponen Motor Kipas	14,74	1.527,07	1.473,85	1.031	Wear-Out
Komponen Sensor Suhu	9,59	1.890,07	1.794,95	1.256	Wear-Out

Berdasarkan hasil analisis yang tercantum pada tabel 4, seluruh komponen memiliki nilai parameter (β) bentuk lebih besar dari satu. Karakteristik ini termasuk dalam kategori *wear-out failure*, yaitu kegagalan yang dipengaruhi oleh proses penuaan dan penurunan kondisi fisik komponen selama masa penggunaan.

Kompas gas menunjukkan nilai MTTF sebesar 1.028,12 jam, yang merupakan nilai terendah dibandingkan komponen lainnya. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sistem pemanas menjadi bagian yang paling kritis dalam operasi mesin pengering. Umur pakai yang relatif lebih pendek dipengaruhi oleh kondisi kerja yang terus-menerus menerima paparan temperatur tinggi serta siklus pemanasan berulang. Faktor tersebut mempercepat terjadinya degradasi material sehingga risiko kerusakan meningkat lebih cepat dibandingkan komponen lain.

Pada motor kipas diperoleh nilai MTTF sebesar 1.473,85 jam. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki tingkat ketahanan yang lebih baik dibandingkan kompor gas.

Namun demikian, motor kipas tetap mengalami penurunan performa akibat penggunaan jangka panjang. Keausan bearing, penumpukan debu pada sistem blower, dan peningkatan temperatur kerja motor merupakan beberapa faktor yang dapat memicu kegagalan komponen. Jika kondisi tersebut tidak ditangani melalui perawatan berkala, performa sirkulasi udara akan menurun dan berpotensi mengganggu proses pengeringan.

Sensor suhu memiliki nilai MTTF tertinggi, yaitu 1.794,95 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor suhu merupakan komponen dengan tingkat keandalan paling baik di antara komponen yang diteliti. Meskipun demikian, nilai β yang masih berada di atas satu menunjukkan bahwa komponen ini tetap mengalami kecenderungan kegagalan akibat penuaan. Penurunan akurasi pembacaan, perubahan karakteristik elemen sensor, dan paparan temperatur tinggi dalam waktu lama menjadi faktor yang dapat memengaruhi kinerja sensor.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa penerapan *preventive maintenance* berdasarkan analisis Weibull dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan perawatan mesin pengering. Interval *preventive maintenance* komponen pemanas berada di 720 jam, komponen motor kipas 1.031 jam, komponen sensor suhu 1.256 jam. Jadwal perawatan yang terencana memungkinkan resiko kerusakan mendadak diminimalkan, sehingga kontinuitas operasi mesin dapat dipertahankan. Selain itu, pendekatan ini berpotensi menurunkan biaya perbaikan akibat kerusakan besar serta meningkatkan umur pakai komponen.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan untuk mengevaluasi keandalan komponen utama mesin pengering (oven) serta menyusun rekomendasi interval *preventive maintenance* berdasarkan pendekatan distribusi Weibull. Analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa metode Weibull dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku kegagalan komponen dan menjadi dasar dalam penentuan waktu perawatan yang lebih terencana. Informasi keandalan yang diperoleh memungkinkan kegiatan perawatan dilakukan sebelum komponen memasuki fase kegagalan yang kritis, sehingga risiko gangguan operasi dapat diminimalkan. Penerapan pendekatan ini memberikan kontribusi dalam peningkatan efektivitas sistem perawatan, mendukung keberlangsungan proses produksi, serta menjadi alternatif metode pengambilan keputusan perawatan yang berbasis data pada pengelolaan peralatan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Dajbych, A. Kabutey, C. Mizera, and D. Herak, "Investigation of the Effects of Infrared and Hot Air Oven Drying Methods on Drying Behaviour and Colour Parameters of Red Delicious Apple Slices," pp. 18–29, 2023, doi: 10.3390/pr11103027.
- [2] M. Keskin, A. Aysel, and Y. Soysal, "Mathematical Modeling , Moisture Diffusion and Color Quality in Intermittent Microwave Drying of Organic and Conventional Sweet Red Peppers," no. in 2020, pp. 393–407, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/agriengineering2030027>.
- [3] M. R. Maulana and J. Purnama, "Upaya Maintenance Mesin Oven Guna Meminimalisir Product Defect dengan Metode Failure Mode Effect Analysis," vol. 5, pp. 3563–3579, 2025, doi: <https://doi.org/10.31004/innovative.v5i1.16771>.
- [4] Z. Roohanizadeh, E. Baloui, and E. Deiri, "Parameters and reliability estimation for the

- weibull distribution based on intuitionistic fuzzy lifetime data,” *Complex Intell. Syst.*, vol. 8, no. 6, pp. 4881–4896, 2022, doi: 10.1007/s40747-022-00720-x.
- [5] U. Unaijah and S. Darwis, “Prediksi Sisa Umur Bearing Menggunakan Distribusi Weibull,” pp. 73–81, 2022, doi: <https://doi.org/10.29313/jrs.vi.909>.
- [6] Y. Wu, H. Xie, J. Chiang, G. Peng, and Y. Qin, “Parameter Estimation and Applications of the Weibull Distribution for Strength Data of Glass Fiber,” vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/9175170.
- [7] I. H. Aziz, Z. Zahedi, S. Sutarman, and M. Romi, “Estimasi Parameter Distribusi Weibull Menggunakan Metode Maksimum Likelihood,” *Arjuna*, vol. 3, 2025, doi: <https://doi.org/10.61132/arjuna.v3i1.1531>.
- [8] W. Dong, X. Zhang, Y. Dong, and Y. Lin, *Equipment reliability assessment based on a two- parameter Weibull distribution*, no. Icmssse 2023. Atlantis Press International BV. doi: 10.2991/978-94-6463-262-0.
- [9] S. A. Ermanto *et al.*, “APPLICATION OF THE WEIBULL DISTRIBUTION MODEL TO ESTIMATE MAINTENANCE INTERVAL AND OPERATIONAL LIFESPAN OF VEHICLE INSPECTION EQUIPMENT,” *Teknol. Transp. dan Logistik*, vol. 6, no. 1, pp. 25–30, 2025.
- [10] Y. Wu, H. Xie, J. Chiang, G. Peng, and Y. Qin, “Parameter Estimation and Applications of the Weibull Distribution for Strength Data of Glass Fiber,” *Hindawi Math. Probl. Eng.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/9175170.