

Analisis Keandalan Mesin CBF64S Berdasarkan Metode Weibull dan Penentuan Akar Permasalahan Menggunakan Fault Tree Analysis

Aan Subhan^{1,*}, Hendrix Noviyanto Firmansyah², Heri Yudiono³, Rusiyanto⁴
^{1, 2, 3, 4}Department of Mechanical Engineering, Semarang State University, Indonesia

Article Info

Article history:

Received June 03, 2025

Accepted June 10, 2025

Published November 20, 2025

Keywords:

Distribusi Weibull,
Analisis Keandalan,
Fault Tree Analysis,
Mesin Forming,
Downtime

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini ialah mengetahui pengaruh penerapan distribusi Weibull dalam analisis keandalan produktivitas lima mesin forming CBF64S selama 12 bulan tahun 2023 saat produksi Bolt Wash 6X30. Dengan melakukan analisis keandalan dapat diketahui permasalahan penyebab *unplanned downtime* mesin yang paling sering terjadi dengan diagram pareto sehingga dapat di analisis solusi perbaikan melalui *Fault Tree Analysis* (FTA) yaitu metode untuk menentukan penyebab kerusakan guna menganalisis solusi perbaikannya, sehingga dapat memberikan perbaikan prosedur kerja lima mesin CBF64S. Hasil yang diperoleh dari analisis keandalan lima mesin CBF64S diantaranya ialah nilai fungsi peluang kegagalan $f(t)$ 0,000486, nilai fungsi keandalan $R(t)$ 0,81556629 atau 81,56%, nilai laju kegagalan $y(t)$ 0,00059561, nilai MTBF 1.110 menit atau 19 jam, nilai MTTF 1,2069 jam. Berdasarkan skala keandalan *Cronbach Alpha* lima mesin CBF64S termasuk dalam kategori reliabilitas baik. Sehingga dapat dilakukan perbaikan terkait prosedur kerja lima mesin CBF64S tersebut menyesuaikan hasil dari penelitian ini guna meningkatkan produktivitas atau *cycle time output* sesuai standar perusahaan yaitu 98 unit/ menit.



Corresponding Author:

Aan Subhan,
Department of Mechanical Engineering,
Semarang State University,
Sekaran Campus, Gunungpati District, Semarang 50229, Central Java, Indonesia.
Email: *aansubhana0@students.unnes.ac.id

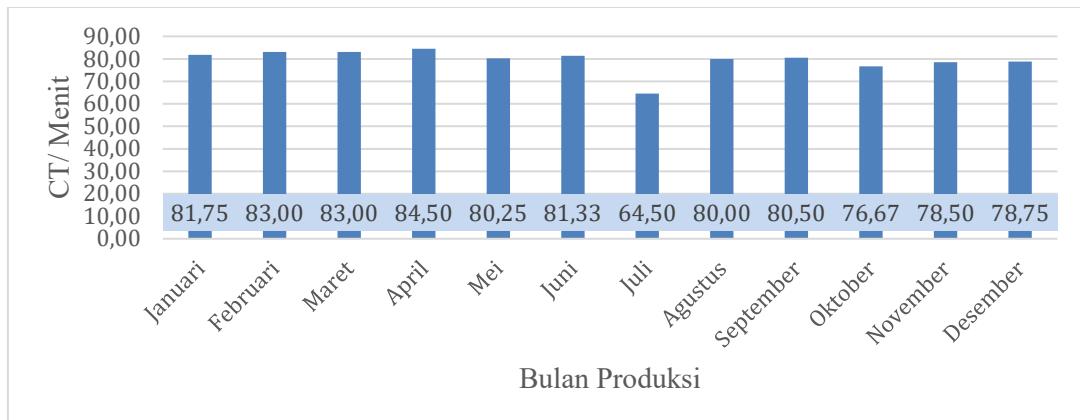
1. PENGANTAR

Perusahaan manufaktur adalah bisnis yang berfokus pada produksi barang yang berwujud dalam skala besar untuk memenuhi permintaan pasar serta meraih keuntungan maksimal [1]. Transformasi di sektor manufaktur juga ditandai dengan penerapan teknologi modern, seperti otomatisasi, kecerdasan buatan (AI), dan *Internet of Things* (IoT) [2]. Perusahaan manufaktur saat ini diharuskan untuk terus berinovasi dan berkembang guna memenuhi kebutuhan pasar yang semakin beragam dan kompetitif. Dengan permintaan pasar yang dinamis, perusahaan juga harus mampu beradaptasi secara cepat, baik dalam hal desain produk, proses manufaktur, maupun distribusi dalam permintaan lokal [3].

Persaingan ketat antar perusahaan manufaktur juga menjadi salah satu alasan kuat derasnya perkembangan sistem produksi [4]. Industri atau perusahaan juga dituntut untuk mengoptimalkan semua sumber daya yang dimiliki [5]. Dalam keberlangsungan suatu proses produksi, perusahaan manufaktur juga diposisikan sebagai salah satu kekuatan utama dengan mesin dan peralatan sebagai penunjang produksi [6].

Produksi produk *fastener* merupakan salah satu hasil dari perusahaan di bidang manufaktur [7]. Proses pembuatan fastener di perusahaan ini menggunakan teknologi canggih dan diawasi dengan standar kualitas yang ketat guna memastikan produk yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Selayaknya proses produksi pada umumnya, produksi di perusahaan tempat penulis melakukan penelitian dilakukan secara berurutan. Dimana mereka menggunakan berbagai peralatan dan mesin dalam alur produksinya. Salah satu pendukung kelancaran aktivitas operasional adalah kondisi mesin harus selalu siap digunakan [8]. Proses

produksi kerap terjadi gangguan mesin atau peralatan sehingga mengganggu proses yang mengakibatkan pengurangan waktu efektif kerja [9]. Mesin produksi yang telah dipakai dalam jangka waktu tertentu mengalami kerusakan sehingga menyebabkan terjadinya penyimpangan terhadap ketelitian semula [10]. Salah satunya ialah mesin-mesin Bolt Former dengan tipe CBF64S. Mesin Bolt Former merupakan mesin untuk memproduksi bentuk fisik dari baut, mur, dan komponen sejenisnya. Namun dalam proses produksi produk Bolt Wash 6X30 mesin tersebut kerap mengalami permasalahan yang berakibat *output* rata-rata 5 mesin Bolt Former CBF64S belum memenuhi standar yaitu 98 unit/ menit.



Gambar 1. Diagram Rata-Rata *cycle time*/ menit 5 Mesin CBF64S pada Tahun 2023

Gambar 1. menyajikan ilustrasi berupa 12 batang diagram, di mana masing-masing batang menggambarkan rata-rata *output cycle time* dari lima mesin CBF64S selama periode Januari hingga Desember 2023. Data ini diambil berdasarkan proses produksi produk Bolt Wash 6X30, salah satu produk utama perusahaan. Dari grafik tersebut, diperoleh rata-rata *output cycle time* sebesar 79,40 unit/ menit. Nilai rata-rata ini mencerminkan performa aktual dari lima mesin CBF64S selama periode tersebut. Namun, angka ini masih belum memenuhi standar output produksi Bolt Wash 6X30 yang telah ditetapkan oleh perusahaan, yaitu sebesar 98,0 unit/ menit. Hal ini menunjukkan adanya selisih sebesar 18,6 *output* unit/ menit, yang perlu ditindaklanjuti untuk meningkatkan efektivitas.

Penelitian terkait analisis keandalan mesin telah banyak dilakukan dengan metode Weibull. Namun sebagian besar studi tersebut bersifat umum membahas karakteristik keandalan mesin forming CBF64S. [11] penelitian ini memperlihatkan efektivitas metode Weibull dalam menganalisis keandalan traktor John Deere melalui data histori selama 9 tahun dan studi pada mesin LHD oleh [12] menekankan pentingnya evaluasi subsistem menggunakan Weibull. Namun sejauh ini dari studi-studi tersebut belum secara spesifik mengaplikasikan kombinasi analisis Weibull dan FTA pada mesin forming CBF64S yang memiliki karakteristik yang berbeda dalam mekanisme kerjanya. Selain itu pendekatan analisis akar masalah kerusakan studi sebelumnya hanya menggunakan metode kualitatif tanpa dukungan sistematis seperti *Fault Tree Analysis* (FTA). Padahal kedua metode ini penting untuk mendapat gambaran menyeluruh terkait keandalan mesin dan identifikasi akar penyebab yang dapat dilanjut dalam perbaikan.

Dengan demikian perlu dilakukan analisis lebih mendalam untuk mengisi kesenjangan dalam penelitian sebelumnya dengan mengidentifikasi penyebab utama dari kurangnya performa produktivitas, baik dari aspek teknis, operasional, maupun manajerial dengan mengkombinasikan metode Weibull dengan FTA. Hal tersebut menuntut perusahaan untuk memastikan seluruh alat atau mesin berfungsi optimal tanpa gangguan [13]. Diagram 1 menjadi data awal yang signifikan untuk memberikan gambaran tentang kondisi mesin di lapangan. Informasi ini akan menjadi dasar dalam mengevaluasi performa lima mesin CBF64S, serta menentukan langkah strategis untuk meningkatkan rata-rata *output cycle time* agar sesuai dengan standar perusahaan. Melalui analisis ini, diharapkan dapat tercapai peningkatan efisiensi operasional, perbaikan kualitas produk, dan penguatan daya saing perusahaan di sektor industri otomotif.

Berdasarkan masalah yang ditemukan tersebut, melakukan penelitian untuk menganalisis kondisi lima mesin CBF64S dan mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan ketidaksesuaian antara rata-rata *cycle time* dan standar yang telah ditentukan oleh perusahaan. Industri otomotif merupakan industri yang memiliki

kontribusi besar bagi pertumbuhan ekonomi nasional [14]. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kondisi keandalan kelima mesin CBF64S secara komprehensif. Hal ini mencakup analisis tingkat keandalan mesin, laju kegagalan, serta penentuan rata-rata waktu antara dua kegagalan berturut-turut pada mesin (MTBF). Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada rata-rata waktu yang dibutuhkan sebelum kegagalan pertama (MTTF), untuk menentukan prioritas permasalahan yang harus segera ditangani, serta mencari solusi yang tepat untuk mengatasi masalah-masalah tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data Mesin Forming CBF64S

Mesin bolt former adalah mesin industri yang digunakan secara luas dalam perusahaan manufaktur, terutama yang bergerak di sektor otomotif (Gambar 2). Mesin ini berfungsi untuk memproduksi berbagai jenis produk *fastener* seperti baut, sekrup, dan mur, yang sangat dibutuhkan dalam sektor konstruksi, otomotif, dan berbagai industri lain yang memerlukan komponen pengikat yang kuat dan andal. Mesin bolt former menggunakan bahan baku berupa *wire rod* atau *as bar* [15]. Objek yang diteliti ialah data *cycle time output* produksi dan data *downtime* lima mesin CBF64S saat produksi Bolt Wash 6X30 selama periode bulan Januari sampai Desember 2023. Pengumpulan data dilakukan oleh peneliti dengan cara melakukan observasi dan diperoleh dari lembar harian produksi operator.



Gambar 2. Mesin Forming CBF64S

2.2 Analisis Software Easy Fit

Software easy fit adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis distribusi statistik dan memodelkan data. Aplikasi *easy fit* dapat membantu peneliti dengan mengurangi waktu analisis sebesar 70-95% dari metode manual [16]. Aplikasi ini membantu pengguna menentukan distribusi probabilitas yang paling sesuai dengan kumpulan data kegagalan atau *downtime*, sehingga mempermudah proses analisis data dan pengambilan keputusan di berbagai bidang seperti keuangan, manajemen risiko, teknik, dan keandalan.

2.3 Distribusi Weibull

Analisis Weibull adalah sebuah teknik statistik yang digunakan untuk mengevaluasi data kegagalan dan memodelkan keandalan suatu produk atau sistem. Distribusi Weibull memiliki peranan penting pada persoalan keandalan dan analisis rawatan [17]. Metode ini menggunakan distribusi probabilitas Weibull, yang umumnya digunakan untuk menganalisis waktu antara kegagalan suatu produk atau sistem. Distribusi Weibull dapat mempermudah penelitian dengan meringankan biaya dan waktu yang relatif lebih sedikit dengan mengandalkan informasi dari penelitian sebelumnya [18].

2.4 Menentukan Nilai Fungsi Distribusi Kumulatif

Menggunakan fungsi distribusi kumulatif Weibull untuk memodelkan akumulasi kerusakan data vibrasi *fatigue* dan berhasil meningkatkan estimasi keandalan nya [19]. Dalam menganalisis keandalan suatu sistem atau mesin di suatu produksi menggunakan *reliability function* atau fungsi keandalan pada distribusi Weibull yaitu fungsi distribusi kumulatif (Persamaan 1):

Dimana:

1. $f(t)$, adalah fungsi distribusi kumulatif pada waktu t , yang menunjukkan probabilitas bahwa kegagalan terjadi sebelum waktu t .
 2. α , adalah *scale parameter* yang mengatur kecepatan kegagalan.
 3. β , adalah *shape parameter* yang mengontrol bentuk distribusi dan pola kegagalan.
 4. t , adalah waktu yang telah berlalu (biasanya dalam satuan jam atau tahun).

2.5 Menentukan Nilai Fungsi Keandalan

Perhitungan fungsi keandalan ini dilakukan sebagai alat bantu untuk menentukan probabilitas keandalan mesin. Beberapa studi telah mendefinisikan fungsi keandalan pada distribusi Weibull, menggambarkan hubungan antara parameter skala dan probabilitas [20]. Informasi ini sangat berguna dalam merancang jadwal pemeliharaan, mengelola risiko kegagalan, serta meningkatkan produktivitas. Rumus yang digunakan untuk menghitung fungsi keandalan tersebut dapat dilihat pada Persamaan 2 berikut.

Dimana:

1. $R(T)$ adalah fungsi keandalan pada waktu t , yang menunjukkan probabilitas bahwa sistem atau komponen masih berfungsi atau tidak mengalami kegagalan pada waktu t .
 2. β adalah *shape parameter* yang mengontrol bentuk distribusi dan pola kegagalan.
 3. t adalah waktu yang berlalu
 4. γ adalah *threshold parameter* untuk menentukan waktu minimum yang harus berlalu sebelum kegagalan dapat terjadi.
 5. *a scale parameter* yang mengatur kecepatan atau skala kegagalan

2.6 Menentukan Nilai laju Kegagalan

Laju kegagalan, atau dikenal sebagai *failure rate*, menggambarkan kemungkinan bahwa sebuah mesin akan mengalami kegagalan dalam periode waktu tertentu, dengan asumsi bahwa mesin tersebut masih berfungsi dengan baik di awal periode tersebut. Laju kegagalan merupakan salah satu parameter utama dalam menilai keandalan peralatan industri [12]. Analisis terhadap laju kegagalan menjadi sangat penting karena dapat membantu merancang strategi pemeliharaan *preventif*, meminimalkan kegagalan atau *downtime*, serta meningkatkan efektivitas operasional secara keseluruhan yang dapat dilihat pada Persamaan 3 berikut.

Dimana:

1. $f(t)$, adalah fungsi distribusi kumulatif pada waktu t , yang menunjukkan probabilitas bahwa kegagalan terjadi sebelum waktu t .
 2. $R(T)$ adalah fungsi keandalan pada waktu t , yang menunjukkan probabilitas bahwa sistem atau komponen masih berfungsi atau tidak mengalami kegagalan pada waktu t .

2.7 Menentukan Nilai MTBF dan MTTF

Mean Time Between Failure (MTBF), yaitu rata-rata durasi waktu antara satu kegagalan dengan kegagalan berikutnya saat mesin dioperasikan. MTBF dihitung dengan Persamaan 4:

MTTF adalah salah satu indikator penting dalam analisis keandalan mesin, karena memberikan informasi tentang seberapa lama mesin dapat beroperasi secara normal sebelum terjadi kerusakan. Dalam studi inverter MTTF dihitung untuk menekankan pentingnya memahami distribusi keandalan, namun sebagaimana dikritik oleh analis MTTF metrik ini dapat menyesatkan jika tidak mempertimbangkan jenis distribusi khususnya Weibull [21]. Semakin tinggi nilai MTTF, semakin dapat diandalkan mesin tersebut dalam mendukung operasi produksi tanpa gangguan seperti pada persamaan 5.

Dimana:

1. α , adalah *scale parameter* yang mengatur kecepatan kegagalan
2. r adalah *gamma* yang memiliki nilai 1
3. β adalah *shape parameter* yang mengontrol bentuk distribusi dan pola kegagalan.

2.8 Menentukan Prioritas Permasalahan dengan Diagram Pareto

Pada studi kasus perbaikan mesin menggunakan diagram pareto untuk memprioritaskan perbaikan dan pemeliharaan sehingga meningkatkan *reliability* mesin [22]. Untuk menganalisis masalah yang terjadi selama periode data kegagalan atau *downtime* diambil, digunakan diagram Pareto, yang membantu untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang menyebabkan kegagalan mesin. Dengan menggunakan prinsip 80/20, diagram Pareto menunjukkan bahwa sebagian besar masalah yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor utama, yang memiliki dampak besar terhadap kegagalan atau *downtime* mesin. Dengan menganalisis data secara lebih mendalam menggunakan diagram Pareto, dapat ditemukan solusi yang lebih fokus dan terarah untuk mengurangi frekuensi kegagalan mesin dan memperbaiki proses produksi secara keseluruhan.

2.9 Fault Tree Analysis dari Permasalahan

FTA dikombinasikan dengan *binary decision diagrams* dapat meningkatkan presisi reliabilitas dalam sistem kompleks [23]. Metode ini membantu untuk memetakan dan mengidentifikasi berbagai faktor penyebab yang berkontribusi terhadap masalah. Dengan menggunakan FTA, kita dapat lebih jelas memahami jalur kerusakan yang terjadi dan merumuskan solusi yang lebih efektif untuk mengurangi *downtime* yang disebabkan oleh permasalahan pengaturan.

2.10 Penyusunan Prosedur Kerja

Prosedur kerja adalah lembar dokumen yang berisi panduan rinci dan spesifik mengenai cara penggunaan sebuah mesin atau proses kerja produksi. Implementasi perawatan melalui prosedur inspeksi dan pemantauan secara berkala mampu meningkatkan reliabilitas mesin secara signifikan [24]. Dapat dikatakan lembar dokumen ini memiliki tujuan untuk memastikan operator memahami langkah-langkah untuk mencapai hasil produksi yang konsisten dan berkualitas. Berdasarkan hasil penelitian analisis keandalan mesin serta *Fault Tree Analysis*, peneliti memiliki beberapa saran atau solusi perbaikan yang paling memungkinkan dilakukan. Ialah perbaikan dari model terbaru prosedur kerja lima mesin CBF64S khususnya saat produksi Bolt Wash 6X30.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Analisis Pola Distribusi Data *Unplanned Downtime*

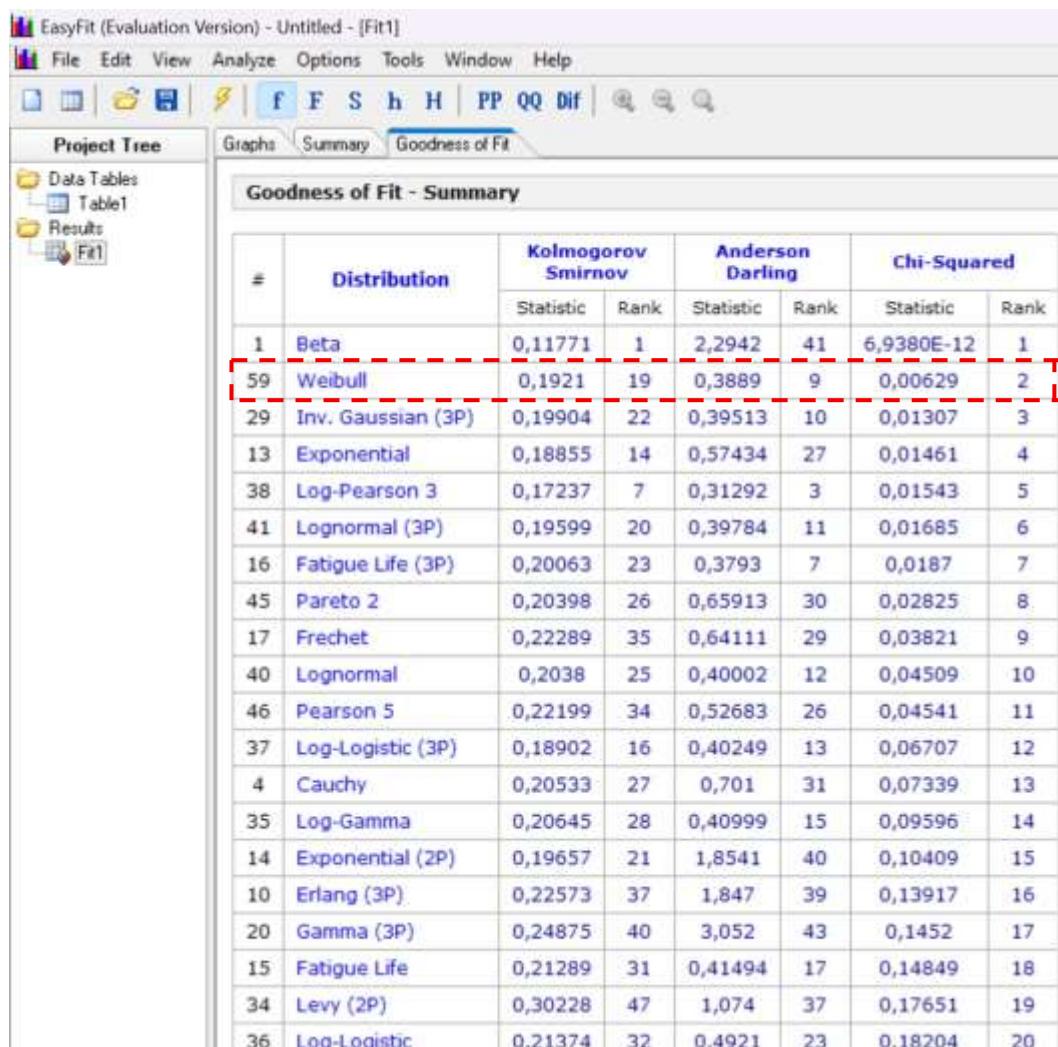
Data *Unplanned Downtime* pada Tabel 1 didapat melalui data-data *downtime* lima mesin CBF64S saat produksi Bolt Wash 6X30 selama periode tahun 2023.

Tabel 1. Data *Unplanned Downtime* Mesin CBF64S

Bulan	<i>Unloading Time (minutes)</i>	<i>Shortage (minutes)</i>	<i>Unforseen (minutes)</i>	<i>Start Up Time (minutes)</i>	<i>Breakdown Time (minutes)</i>	<i>Total Unplanned (minutes)</i>
Januari	75				378	453
Februari		310	78	380	1.438	2.206
Maret	502			246	1.019	1.767
April					205	205
Mei				435	135	570
Juni	60		140	430	30	660
Juli	60	120	60	200	600	1.040
Agustus		60	20	405	240	725
September	100	625	518	614	848	2.705
Oktober	79		40	320	3.180	3.619
November	100	180	565	745	510	2.100

Desember	30	420	100	640	937	2.127
----------	----	-----	-----	-----	-----	-------

Data *unplanned downtime* tersebut diolah dengan *software easy fit* lebih lanjut untuk menentukan pola distribusi mana yang paling cocok secara otomatis untuk menggambarkan perilaku kegagalan dari lima mesin CBF64S. Berdasarkan tiga uji statistik dari analisis *software easy fit*, peneliti memilih uji statistik Chi-Squared karena dapat digunakan untuk menangani data dari dua kelompok atau lebih sehingga mudah dipahami oleh peneliti dalam perhitungannya. Hasil dari olah data *software easy fit* pada uji statistik menunjukkan bahwa pola distribusi Weibull cocok untuk digunakan dalam melakukan uji statistik penelitian ini, dibuktikan pola distribusi Weibull menempati peringkat dua seperti pada Gambar 3. dengan nilai statistik 0,00629.



Gambar 3. Tangkapan Layar *Goodness of Fit Summary Unplanned Downtime* di *Software Easy Fit*

Parameter-parameter dari distribusi yang telah ditentukan pada Gambar 2. juga diperoleh dan disajikan secara otomatis saat pengolahan data *unplanned downtime* dengan *software easy fit*. Distribusi Weibull memiliki dua parameter penting yang diperoleh dari analisis data pada gambar 2, dengan tanda garis merah putus-putus. Parameter pertama adalah parameter bentuk (α) dengan nilai sebesar 1,2069, sedangkan parameter kedua adalah parameter skala (β) yang memiliki nilai sebesar 1.542,8.

3.2 Nilai Fungsi Distribusi Kumulatif (Peluang Kegagalan)

Dengan nilai parameter dan waktu kegagalan rata-rata tersebut, distribusi Weibull memberikan dasar untuk menghitung nilai fungsi peluang kegagalan dari mesin-mesin produksi (Persamaan 1).

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}$$

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \left(\frac{1,2069}{1542,8}\right)\left(\frac{413,11}{1542,8}\right)^{1,2069-1} \exp\left[-\left(\frac{413,11}{1542,8}\right)\right]^{1,2069} \\
 &= 0,000782 \times 0,26776^{0,2069} \times \exp - 0,203873 \\
 &= 0,000782 \times 0,761382 \times 0,815566 \\
 &= 0,000486
 \end{aligned}$$

Dimana:

- α : Parameter Bentuk
- β : Parameter Skala
- t : Rata-rata waktu kegagalan

3.3 Nilai Fungsi Keandalan

Perhitungan ini dilakukan melalui rumus fungsi keandalan, yang memanfaatkan parameter-parameter distribusi yang diperoleh dari analisis data *downtime*. Analisis keandalan memiliki peran penting dalam mengevaluasi sejauh mana mesin mampu beroperasi secara optimal untuk mendukung proses produksi (Persamaan 2).

$$\begin{aligned}
 R(T) &= e^{-\left[\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)\right]^{\alpha}} \\
 R(t) &= e^{-\left[\left(\frac{413,11-0}{1542,8}\right)\right]^{1,2069}} \\
 &= e^{-0,20387258} \\
 &= 0,81556629 \text{ atau } 81,56\%
 \end{aligned}$$

Dimana:

- α : Parameter Bentuk
- β : Parameter Skala
- γ : 0

Berdasarkan Skala Keandalan *Cronbach Alpha*, lima mesin Forming CBF64S dikategorikan memiliki reliabilitas baik atau *good reliability*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai keandalan yang berada dalam rentang 0,8 hingga 0,9, yang setara dengan 80% hingga 90%.

3.4 Nilai Laju kegagalan

Perhitungan laju kegagalan dilakukan berdasarkan persamaan tertentu yang menggunakan parameter-parameter distribusi seperti parameter bentuk (α) dan parameter skala (β), yang diperoleh dari hasil analisis data sebelumnya. Dengan menggunakan persamaan ini, dapat diprediksi kapan kemungkinan kegagalan akan terjadi dan pola kegagalan yang mungkin muncul sehingga langkah antisipasi dapat direncanakan (Persamaan 3).

$$\gamma(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{0,000486}{0,81556629} = 0,00059561$$

Dimana:

- $f(t)$: Nilai Fungsi Peluang Kegagalan
- $R(t)$: Nilai Fungsi Keandalan

3.5 Nilai MTBF dan MTTF

Mean Time Between Failure (MTBF), yaitu rata-rata durasi waktu antara satu kegagalan dengan kegagalan berikutnya saat mesin dioperasikan. MTBF dihitung dengan Persamaan 4:

$$\text{MTBF: } \frac{\text{Total Waktu Kerja}}{\text{Jumlah Kegagalan}} = \frac{156524}{141} = 1110,099 \text{ menit}$$

Untuk lima mesin Forming CBF64S, nilai MTBF adalah 1.110 menit, yang setara dengan 18,5 jam waktu operasi. Dengan kata lain, setiap mesin rata-rata dapat beroperasi hampir 19 jam tanpa gangguan

MTTF adalah salah satu indikator penting dalam analisis keandalan mesin, karena memberikan informasi tentang seberapa lama mesin dapat beroperasi secara normal sebelum terjadi kerusakan (Persamaan 5)

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

$$MTTF = 1,2069 r \left(1 + \frac{1}{1542,8} \right)$$

$$MTTF = 1,2069 r (1 + 0,000648)$$

$$MTTF = 1,2069 r (1,00)$$

$$MTTF = 1,2069 \times 1,00000$$

$$MTTF = 1,2069 \text{ jam}$$

Dimana:

a : Parameter Bentuk

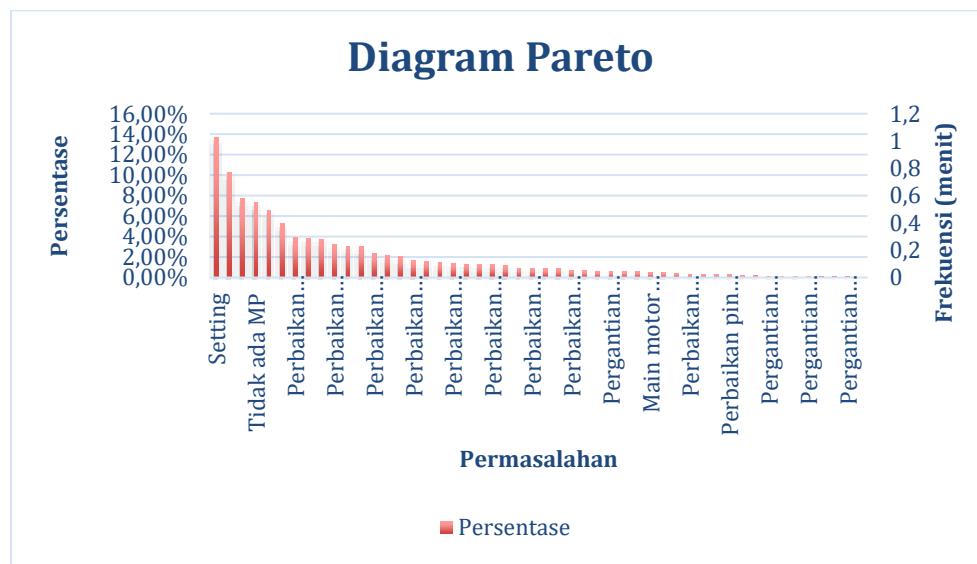
β : Parameter Skala

r : Gamma

Berdasarkan hasil perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF), diperoleh angka rata-rata waktu yang dibutuhkan sebelum mesin Forming CBF64S mengalami kerusakan, yaitu sekitar 1,2069 jam.

3.6 Analisis Diagram Pareto

Untuk menganalisis masalah yang terjadi selama periode tahun 2023, digunakan diagram Pareto, yang membantu untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang menyebabkan kegagalan mesin (*downtime*).

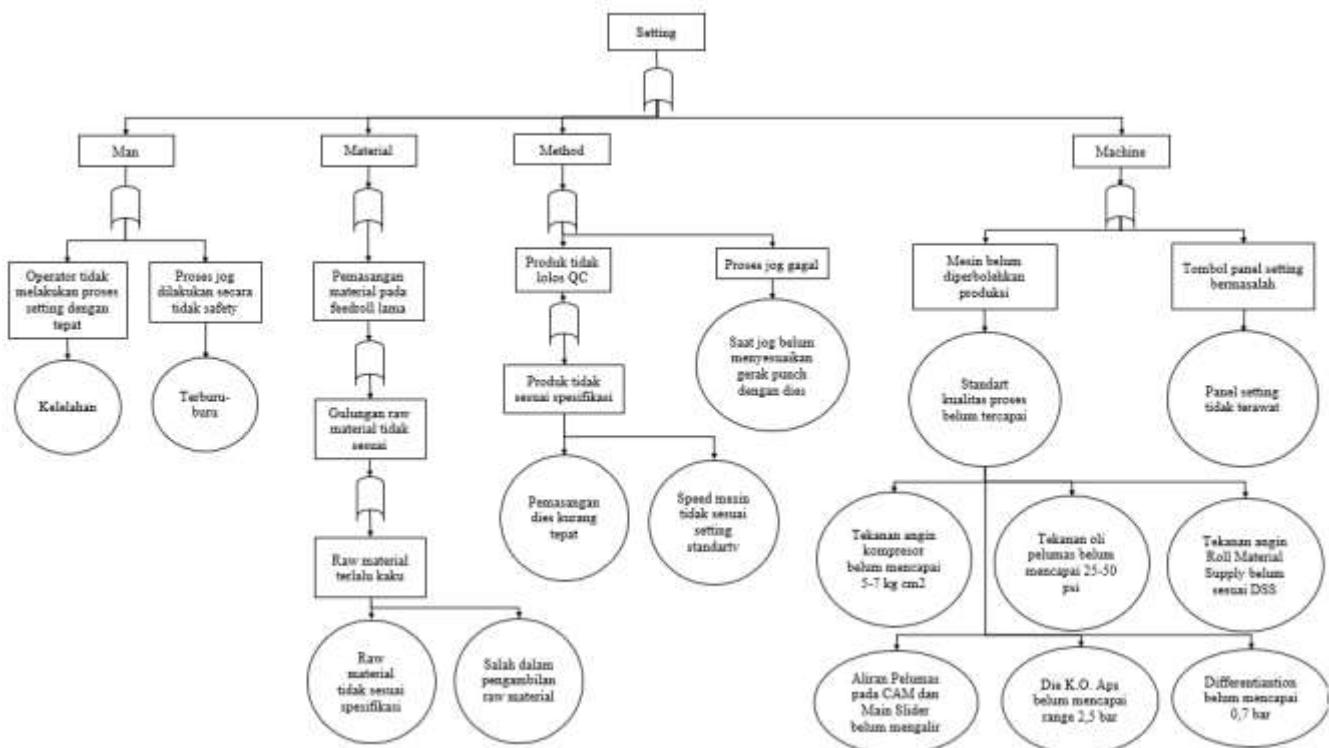


Gambar 4. Persentase Permasalahan yang Terjadi

Diagram 4. menunjukkan bahwa dari 50 jenis masalah yang terjadi, masalah terkait setting mesin menjadi penyebab utama terjadinya *downtime*. Waktu yang terbuang akibat masalah setting mesin tercatat sebanyak 3.029 menit, yang setara dengan 50,4 jam. Dengan kontribusi sebesar 13,7% dari total keseluruhan waktu *downtime*, masalah setting mesin menjadi salah satu faktor dominan yang menyebabkan gangguan operasional.

3.7 Analisis (*Fault Tree Analysis*)

Setelah mengidentifikasi masalah utama yang menyebabkan tingginya tingkat kegagalan atau *downtime*, yaitu masalah terkait pengaturan yang memerlukan waktu hingga 22.074 menit atau sekitar 367,9 jam, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis lebih lanjut untuk menemukan akar penyebab dari masalah pengaturan tersebut.



Gambar 5. Fault Tree Analysis

Akar permasalahan yang ditemukan pada Gambar 5. berfokus pada faktor mesin karena faktor penyebab kegagalan *setting* mesin lebih mudah memungkinkan diamati dalam faktor mesin yang memiliki standarisasi sehingga bisa dijadikan acuan. Berikut akar permasalahan faktor mesin yang ditemukan beserta perbaikannya:

1. Tekanan angin kompresor belum mencapai 5-7 kg cm².
2. Tekanan oli pelumas belum mencapai 25-50 psi.
3. Tekanan angin *roll material supply* belum sesuai DSS.
4. Aliran pelumas *cam* dan *main slider* belum mengalir.
5. *Die K.O. Aps* belum mencapai range 2,5 bar.

Berikut pencegahan terkait akar permasalahan diatas:

1. Menggunakan *Check Sheet* harian untuk dilakukan pengecekan setiap 1 kali shift dengan *RFL press gauge*.
2. Menggunakan *Check Sheet* harian untuk dilakukan pengecekan setiap 1 kali shift dengan *press gauge*.
3. Menggunakan *Check Sheet* harian untuk dilakukan pengecekan setiap pergantian material dengan *press gauge*.
4. Menggunakan *Check Sheet* harian untuk dilakukan pengecekan aliran pelumas.
5. Menggunakan *Check Sheet* harian untuk dilakukan pengecekan setiap 1 kali shift melalui indikator mesin.

3.8 Implikasi Terhadap Prosedur Kerja

Hasil analisis tingkat keandalan mesin CBF64 menunjukkan kategori *reliability* andal dengan di angka 81,56 %. Namun dalam analisis diagram pareto terdapat temuan 141 kegagalan yang terjadi pada mesin CBF64S selama tahun 2023 atau terjadi kegagalan setiap 19 jam sekali yang dimana hal tersebut seharusnya dapat diperkecil lagi. Terlihat pada posisi puncak *Fault Tree Analysis* permasalahan terkait *setting* mesin menjadi penyebab kegagalan tertinggi dengan persentase kegagalan 13,7%. Analisis ini mengindikasi bahwa prosedur kerja saat ini belum optimal. Oleh karena itu dibutuhkan perbaikan prosedur kerja berdasarkan akar permasalahan yang telah diperoleh dari analisis FTA berupa inspeksi mendalam terkait tekanan angin

kompresor mesin, tekanan oli pelumas, tekanan angin *roll material supply*, aliran *main slider*, tekanan *die K.O Aps*, dan tekanan differentiation. Inspeksi-inspeksi tersebut berguna agar mesin mencapai standar yang telah ditetapkan sebelum beroperasi. Implikasi dari perubahan ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan mesin menjadi lebih baik lagi secara keseluruhan dan menurunkan tingkat kegagalan secara signifikan.

3.9 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan berupa data kegagalan mesin berasal dari lima unit mesin CBF64S dalam periode 12 bulan, sehingga hasil estimasi keandalan mungkin belum mempresentasikan populasi mesin secara umum. Analisis *Fault Tree Analysis* yang digunakan hanya mencakup faktor teknis dan tidak melibatkan faktor non teknis seperti faktor operator dan faktor lingkungan. Oleh karena itu penelitian lanjutan dengan data yang lebih luas dan pendekatan metode yang lebih komprehensif sangat disarankan untuk meningkatkan generalisasi dan validitas hasil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini maka didapat beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Berdasarkan analisis perhitungan fungsi peluang kegagalan $f(t)$ lima mesin CBF64S didapat angka 0,000486. Perhitungan nilai fungsi keandalan $R(t)$ lima mesin CBF64S didapat angka 0,81556629 atau 81,56%. Perhitungan nilai laju kegagalan $y(t)$ didapat angka 0,00059561.
2. Hasil dari nilai fungsi keandalan $R(t)$ lima mesin CBF64S saat produksi Bolt Wash 6X30 selama periode Januari-Desember 2023 menunjukkan kategori *reliability* andal dalam skala 0,8-0,9 dalam skala *Cronbach Alpha*.
3. Berdasarkan total waktu kerja 5 mesin CBF64S selama tahun 2023 156.524 menit dan jumlah kegagalan yang terjadi pada 5 mesin CBF64S selama tahun 2023 141 kegagalan, maka nilai MTBF ialah 1.110 menit atau 19 jam waktu operasi mesin atau waktu rata-rata operasi mesin sebelum mengalami kegagalan ialah 19 jam.
4. Berdasarkan data *unplanned downtime* yang telah diolah menggunakan *software easy fit*, didapat data distribusi Weibull dengan parameter skala $\beta = 1542,8$, parameter bentuk $\alpha = 1,2069$, sehingga nilai MTTF ialah 1,2069 jam atau rata-rata waktu yang dibutuhkan sebelum mesin mengalami kerusakan ialah 1,2069 jam.
5. Berdasarkan analisis diagram pareto menunjukkan penyebab utama terjadinya *downtime* yang paling sering dan paling lama ialah *setting* mesin. Waktu yang terbuang akibat masalah *setting* mesin tercatat sebanyak 3.029 menit, yang setara dengan 50,4 jam. Dengan kontribusi sebesar 13,7% dari total keseluruhan waktu *downtime*.
6. Berdasarkan metode *Fault Tree Analysis* maka penyebab tingginya waktu permasalahan terkait *setting* mesin disebabkan oleh beberapa faktor *machine* antara lain tekanan angin kompresor belum mencapai 5-7 kg cm², tekanan oli pelumas belum mencapai 25-50 psi, tekanan angin Roll Material Supply belum sesuai DSS, aliran Pelumas pada CAM dan Main Slider belum mengalir, Die K.O. Aps belum mencapai range 2,5 bar, differentiation belum mencapai 0,7 bar, dan panel *setting* mesin tidak terawat.

Dalam penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan dan menyarankan beberapa arah untuk studi keandalan berikutnya diperlukan perbandingan dari beberapa metode distribusi keandalan lain untuk dibandingkan dengan distribusi Weibull dalam menentukan pola kegagalan. Penelitian ini hanya menggunakan data kegagalan 12 bulan sebaiknya menambah periode data kegagalan yang lebih banyak untuk meningkatkan validitas dan generalisasi hasil. Pengembangan FTA dapat mencakup faktor non teknis seperti kesalahan manusia, kondisi lingkungan, dan kualitas bahan baku agar analisis akar permasalahan menjadi lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. L. P. Widhiastuti, "Audit Delay Pada Perusahaan Manufaktur Di Bursa Efek Indonesia," *Solusi*, vol. 20, no. 3, p. 267, 2022, doi: 10.26623/slsi.v20i3.5293.
- [2] Y. Novita and R. Zahra, "Penerapan Artificial Intelligence (AI) untuk Meningkatkan Efisiensi Operasional di Perusahaan Manufaktur : Studi Kasus PT XYZ," *Jurnal Manajemen dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, pp. 11–21, 2024.
- [3] Afriani Manullang, Dinda Cinta Nainggolan, Karin Aurani, Nichollin Stiffanny, Sherina Alim, and Hafiza Adlina, "Strategi Ekspansi Global Pada Perusahaan Starbucks Dalam Bisnis Internasional," *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, vol. 2, no. 3, pp. 25–40, 2023, doi: 10.58192/profit.v2i3.969.
- [4] Y. Sinambela, "Analisis Perawatan Mesin Cetak Offset Heidelberg dengan Metode Total Productive Maintenance," *Jurnal Optimalisasi*, vol. 6, no. 2477–5479, pp. 156–164, 2020.

- [5] D. M. Putro and Q. Sholihah, “Analisis Keandalan (Reliability) Pada Mesin Digester (Studi Kasus : Pt. Smart Tbk Batu Ampar Mill Kotabaru),” *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 4, no. 1, pp. 67–76, 2019, doi: 10.20527/sjmekinematika.v4i1.53.
- [6] M. R. Rifaldi, “Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Mesin Tandem 03 Di PT. Supernova Flexible Packaging,” *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, vol. 2, no. 2, pp. 67–77, 2020, doi: 10.37631/jri.v2i2.180.
- [7] T. Hendri, “Rancangan Sistem Informasi Manajemen Berbasis Web Pada Pt Oz Fastener,” *Jurnal Comasie*, vol. 5, no. 1, pp. 125–134, 2021.
- [8] A. Syahabuddin, “Analisis Perawatan Mesin Bubut Cy-L1640G Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Di Pt. Polymindo Permata,” *JITMI (Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri)*, vol. 2, no. 1, p. 27, 2019, doi: 10.32493/jitmi.v2i1.y2019.p27-36.
- [9] A. Muhsin and I. Syarafi, “Analisis Kehandalan Dan Laju Kerusakan Pada Mesin Continues Frying,” *Opsi*, vol. 11, no. 1, p. 28, 2018, doi: 10.31315/opsi.v11i1.2198.
- [10] Rendy Revo Runtu, Jan Soukotta, and Rudy Poeng, “Analisis Kemampuan Dan Keandalan Mesin Bubut Weiler Primus Melalui Pengujian Karakteristik Statik Menurut Standar Iso 1708,” *Jurnal Online Poros Teknik Mesin Volume 4 Nomor 1* , vol. 4, no. 1, pp. 63–75, 2000.
- [11] D. Fabianek, V. Legat, and Z. Ales, “Weibull’S Analysis Of The Dependability Of Critical Components Of Selected Agricultural Machinery,” *Manufacturing Technology*, vol. 21, no. 5, pp. 606–615, 2021, doi: 10.21062/mft.2021.076.
- [12] R. J. Bala, R. M. Govinda, and C. S. N. Murthy, “Reliability analysis and failure rate evaluation of load haul dump machines using Weibull distribution analysis,” *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 5, no. 2, pp. 116–122, 2018, doi: 10.18280/mmep.050209.
- [13] D. Febriyanti and E. Fatma, “Analisis Efektivitas Mesin Produksi Menggunakan Pendekatan Failure and Mode Effect Analysis dan Logic Tree Analysis,” *JIEMS (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, vol. 11, no. 1, pp. 39–47, 2018, doi: 10.30813/jiems.v11i1.1015.
- [14] E. S. Simarmata and J. Saisab, “Hubungan suku bunga, inflasi, dan return emiten industri otomotif di Indonesia,” *Manajemen Bisnis dan Keuangan Korporat*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.58784/mbkk.34.
- [15] H. Ardy, W. Widiasih, T. Industri, F. Teknik, S. B. Losses, and D. Fishbone, “Analysis of Bolt Former Machine Effectiveness Using Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Six Big Lossess Analisis Efektivitas Mesin Bolt Former Menggunakan Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses,” vol. 8, no. 1, pp. 25–34, 2024.
- [16] W. Gunawan and F. Soleh, “Analisis Penerapan Total Productive Maintenance Menggunakan Distribusi Weibull Pada Mesin Rolling Mill,” *Jurnal Intent: Jurnal Industri dan Teknologi Terpadu*, vol. 3, no. 1, pp. 42–51, 2020, doi: 10.47080/intent.v3i1.800.
- [17] L. Otaya, “Distribusi Probabilitas Weibull Dan Aplikasinya (Pada Persoalan Keandalan (Reliability) Dan Analisis Rawatan (Mantainability),” *Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, vol. 4, no. 2, pp. 44–66, 2016.
- [18] I. T. Hazhiah, S. Sugito, and R. Rahmawati, “Estimasi Parameter Distribusi Weibull Dua Parameter Menggunakan Metode Bayes,” *Media Statistika*, vol. 5, no. 1, pp. 103–112, 2012, doi: 10.14710/medstat.5.1.27-35.
- [19] J. M. Barraza-Contreras, M. R. Piña-Monarrez, and R. C. Torres-Villaseñor, “Reliability by Using Weibull Distribution Based on Vibration Fatigue Damage,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 18, 2023, doi: 10.3390/app131810291.
- [20] A. M. Titu, A. A. Boroiu, A. Boroiu, M. Dragomir, A. B. Pop, and S. Titu, “Reliability Modelling through the Three-Parametric Weibull Model Based on Microsoft Excel Facilities,” *Processes*, vol. 10, no. 8, 2022, doi: 10.3390/pr10081585.
- [21] J. Barabady and U. Kumar, “Reliability characteristics based maintenance scheduling: A case study of a crushing plant,” *International Journal of Performability Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 319–328, 2007.
- [22] H. Abdul Samat, S. Kamaruddin, and I. Abdul Azid, “Integration of overall equipment effectiveness (OEE) and reliability method for measuring machine effectiveness,” *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 92–113, 2012, doi: 10.7166/23-1-222.
- [23] F. P. G. Márquez, I. S. Ramírez, B. Mohammadi-Ivatloo, and A. P. Marugán, “Reliability dynamic analysis by fault trees and binary decision diagrams,” *Information (Switzerland)*, vol. 11, no. 6, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/INFO11060324.
- [24] E. Y. Salawu *et al.*, “Impact of Maintenance on Machine Reliability: A Review,” *E3S Web of Conferences*, vol. 430, pp. 1–12, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202343001226.