

PENJADWALAN PERAWATAN MESIN MILLING PIPE DENGAN PENDEKATAN SIMULASI MONTE CARLO PADA PT WPP

Moch. Faries Firmansyah^{1*}, Wiwin Widiasih²

*E-mail korespondensi: 1411900115@surel.untag-sby.ac.id

^{1,2}Teknik Industri, Fakultas Teknik

Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya, Indonesia

ABSTRAK

PT WPP merupakan industri manufaktur yang memproduksi pipa stainless. Karena keadaan daya saing bisnis saat ini, organisasi harus dapat mempertahankan ketergantungan peralatan manufaktur mereka untuk memastikan kelancaran proses produksi. PT WPP mengaplikasikan metode *preventive maintenance* pada perawatan mesin produksinya hanya saja dalam penentuan jadwal belum optimal, hanya berlandaskan patokan dari kegagalan-kegagalan yang terjadi sebelumnya. Dalam mesin produksi pipa *stainless*, PT WPP memiliki 3 mesin produksi yaitu mesin *slitter*, mesin *milling pipe*, dan mesin *polishing*. Mesin produksi yang memiliki *breakdown* tertinggi yaitu mesin *milling pipe* dengan frekuensi *breakdown* 444. Berdasarkan analisis *pareto* didapatkan 8 komponen kritis dengan *downtime* tertinggi yaitu abrasive, gearbox, sander, cutter, as cutter, welding, water pump, dan hower. Simulasi monte carlo dapat menguji jadwal perawatan yang optimal. Hasil dari Simulasi didapatkan interval waktu perawatan *preventive* untuk komponen abrasive 11 hari, komponen gearbox 15 hari, komponen sander 23 hari, komponen cutter 9 hari, komponen as cutter 170 hari, komponen welding 43 hari, komponen water pump 32 hari, dan komponen hower 25 hari. Dengan mengaplikasikan interval waktu optimum dapat meningkatkan keandalan menjadi 35,33% hingga 65,33%.

Kata kunci: keandalan, *milling pipe*, *preventive maintenance*, simulasi monte carlo.

ABSTRACT

PT WPP is a manufacturing industry that produces stainless steel pipes. Due to the current state of business competitiveness, organizations must be able to maintain dependence on their manufacturing equipment to ensure the smooth running of the production process. PT WPP applies the preventive maintenance method to the maintenance of its production machines but the schedule is not optimal, only based on the benchmark of failures that occur previously. In terms of stainless steel pipe production machines, PT WPP has 3 production machines namely slitter machines, pipe milling machines and polishing machines. The production machine that has the highest breakdown is the pipe milling machine with a breakdown frequency of 444. Based on the Pareto analysis, 8 critical components with the highest downtime are obtained, namely abrasives, gearbox, sander, cutter, axle cutter, welding, water pump, and hower. Monte carlo simulation can test the optimal maintenance schedule. The results of the simulation obtained preventive maintenance time intervals for abrasive components 11 days, gearbox components 15 days, sander components 23 days, cutter components 9 days, axle components cutter 170 days, welding components 43 days, water pump components 32 days, and hower components 25 day. Applying the optimum time interval can increase the reliability to 35.33% to 65.33%.

Keywords: *milling pipe, monte carlo simulation, preventive maintenance, reliability*

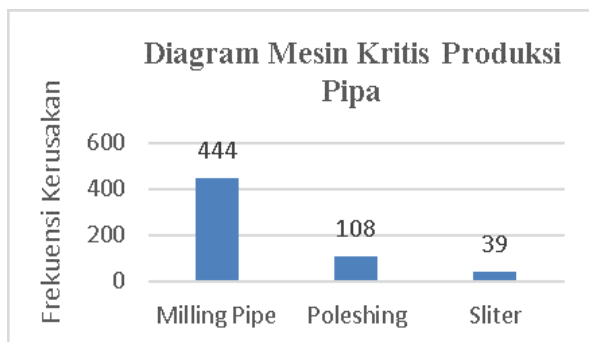
PENDAHULUAN

Kebutuhan pelaku bisnis untuk menjaga kualitas produknya didorong oleh pesatnya ekspansi industri dan meningkatnya intensitas persaingan komersial. Salah satunya adalah perawatan dan pemeliharaan peralatan

manufaktur agar dapat memenuhi permintaan pelanggan secara efektif dan efisien. Jika manajemen pemeliharaan digunakan, sumber daya untuk pemeliharaan berupa mesin, tenaga kerja, dan bahan baku akan beroperasi secara efektif. (Praharsi et, al., 2015). Sistem manajemen pemeliharaan yang buruk, staf yang kurang

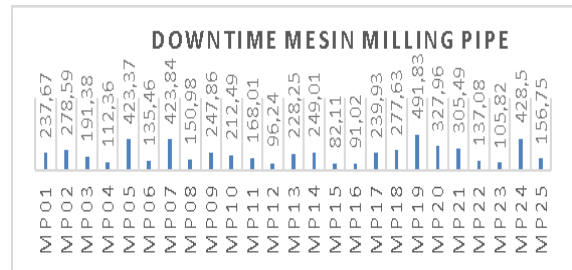
memenuhi syarat, dan aktivitas yang tidak biasa yang mencegah pekerjaan direncanakan secara memadai adalah penyebab umum dari pemborosan pemeliharaan. Menentukan frekuensi perawatan yang ideal adalah salah satu dari beberapa pendekatan untuk melestarikan bahkan meningkatkan nilai kehandalan mesin. Melalui metode pemeliharaan yang tepat, preventive maintenance dapat membantu mempertahankan keandalan alat berat. PT. WPP merupakan produsen pipa stainless yang menerapkan preventive maintenance dalam kegiatan perawatan mesin-mesin produksinya. Namun penerapan *preventive maintenance* yang dilakukan divisi maintenance PT WPP belum optimal. Dalam pengamatan di lapangan serta informasi yang didapat dari wawancara pada divisi maintenance, penentuan penjadwalan preventive maintenance tidak dilakukan dengan perhitungan yang optimal melainkan hanya berdasarkan kejadian kegagalan sebelumnya dan asumsi. Sehingga masih ditemukan adanya breakdown pada mesin produksi. optimal, masih terdapat mesin-mesin yang error pada mesin-mesin produksi.

Dalam proses produksi pipa terdapat 3 mesin yaitu mesin milling pipe, mesin polishing, dan mesin slitter. Tahap pertama produksi yaitu pada mesin slitter yang berfungsi untuk memotong diameter bahan baku. Kemudian masuk ke mesin milling pipe untuk proses pembentukan pipa. Pipa yang sudah jadi akan di haluskan di mesin polishing agar permukaan pipa tidak koto. Dari ketiga mesin produksi tersebut mesin milling pipe dengan frekuensi *breakdown* tertinggi yaitu 444 karena peran mesin millig pipe sangat vital dalam produksi. Berikut adalah frekuensi breakdown dari mesin produksi pipa:



Gambar 1. Frekuensi Breakdown

Mesin milling pipe yang menjadi mesin kritis dari mesin polishing dan mesin sliter. Pada lini produksi PT WPP memiliki 25 mesin milling pipe, dimana masih banyak ditemukan mesin milling pipe yang memiliki downtime tinggi. Berikut adalah data downtime seluruh mesin milling pipe:



Gambar 2. Downtime Seluruh Mesin Milling Pipe

Tingkat kegagalan mesin *milling pipe* yang tinggi dengan jumlah kerusakan dapat mempengaruhi proses produksi sementara produksi menggunakan sistem *line production*, apabila mesin pada salah satu line mengalami kegagalan maka satu line tersebut akan terhenti. Rusaknya mesin tersebut akan berdampak pada pekerja karena aktivitas produksi terhenti selama beberapa saat. Hal ini akan merugikan perusahaan di satu sisi target produksi tidak tercapai dan juga waktu idle bagi pekerja dan mesin akan semakin membesar.

Jadwal pemeliharaan sering kali bermasalah karena kondisi operasional. Penjadwalan biasanya dicapai dengan mengoptimalkan interval pemeliharaan preventif (T_p) dengan nilai tertentu. Seringkali T_p ini harus dinaikkan atau diturunkan tergantung kondisi pengoperasian mesin. Hal ini menyebabkan biaya perawatan yang lebih tinggi, sedangkan T_p adalah biaya minimum (Eva et al., 2013). Pengaruh perubahan T_p terhadap reliabilitas dapat dinilai dengan menggunakan beberapa metode.

Simulasi Monte Carlo sering digunakan untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pada suatu peralatan produksi agar terjadi peningkatan keandalan.(Kosasih et al., 2021). Hasil dari optimasi penjadwalan ini diharapkan diperoleh nilai interval waktu perawatan pencegahan (T_p) dari mesin milling pipe yang fleksibel dimana nantinya dapat dijadikan acuan dalam penentuan jadwal perawatan mesin milling pipe sehingga dapat menekan laju biaya yang minimum yang dikeluarkan perusahaan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan mengamati secara langsung di PT.WPP untuk mendapatkan data maupun informasi dari pekerja. Data yang didapatkan yaitu data kerusakan mesin, data downtime mesin, data waktu kerusakan, dan data lama waktu perbaikan. Adapun juga data sekunder yaitu data proses produksi dan profil perusahaan. Kemudian dilakukan tahap pengolahan data dengan tahapan sebagai berikut:

Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan dengan melihat besarnya *downtime* dari komponen tersebut dan mengacu pada prinsip pareto yaitu 80/20. Komponen kritis adalah kondisi suatu komponen yang berpotensi mengalami kerusakan yang berpengaruh pada keandalan suatu mesin (Taufik & Septyani, 2015).

Penentuan Distribusi dan Parameter

Penentuan distribusi dan parameter untuk data TTF dan TTR masing-masing komponen kritis untuk mengetahui data tersebut mengikuti distribusi apa yang cocok dari karakteristik distribusi yang sesuai dengan dibantu menggunakan *software* minitab19. Kemudian dilakukan uji goodness of fit untuk mengetahui parameter dari komponen kritis tersebut. Parameter tersebut digunakan untuk menghitung MTTF dan MTTR.

Perhitungan Maintainability

Dalam perhitungan maintainability meliputi MTTF, MTTR, keandalan, dan availability rumus yang digunakan adalah tergantung dari distribusi yang cocok dari komponen kritis tersebut. Berikut adalah rumus dari masing-masing distribusi :

1. Distribusi Normal

$$f(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dt \quad (1)$$

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (3)$$

$$MTTF = \mu \quad (4)$$

2. Distribusi Lognormal

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp\left[-\frac{1}{2s^2}\left(\ln\frac{t}{t_{med}}\right)^2\right] \quad (5)$$

$$F(t) = \omega\left(\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t_{med}}\right) \quad (6)$$

$$R(t) = 1 - \omega\left(\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t_{med}}\right) \quad (7)$$

$$MTTF = t_{med} \exp\left(\frac{s^2}{2}\right). \quad (8)$$

3. Distribusi Weibull

$$f(t) = (e^{-(t/\theta)^\beta}) \beta \quad (9)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad (10)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad (11)$$

$$MTTF = \theta \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (12)$$

4. Distribusi Eksponensial

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (13)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \quad (14)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (15)$$

Kemudian dihitung ketersediaan (*Availability*) untuk mengetahui peluang sebuah komponen bekerja pada kondisi normal pada waktu tertentu. Berikut rumus *availability*:

$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (16)$$

Simulasi Monte Carlo

Tahap pertama yaitu dengan membangkitkan bilangan acak dengan bantuan *Microsoft excel* dengan fungsi =RAND() sejumlah N. Bilangan acak tersebut berdistribusi uniform 0,1 (Pamungkas et. al., 2020). Tahap selanjutnya yaitu melakukan konversi ke distribusi non uniform dengan cara transformasi invers bilangan acak tersebut dengan menggunakan Cumulative Density Function (CDF) dengan fungsi F(t). Hasil dari tranformasi bilangan acak disebut dengan data hasil simulasi.

Kemudian melakukan uji kesamaan dua rata-rata dengan menggunakan bantuan *Microsoft excel* untuk mengetahui valid atau tidaknya antara data actual dengan data hasil simulasi. Hasil dari uji ini digunakan sebagai input dari simulasi. Adapaun langkah-langkah dalam melakukan simulasi yang harus dilakukan sebagai berikut :

1. Tahap pertama yaitu menggunakan parameter keandalan yang sudah ditentukan.
2. Mencari nilai pertama dari TP.
3. Menentukan nilai acak untuk digunakan sebagai simulasi T_i sebanyak N.
4. Jika $T_i > T_p$, artinya sistem tersebut tidak mengalami kerusakan atau $T_i = T_{p_i}$, akan tetapi dilakukan perawatan pencegahan selama $T_{p_{mi}}$ (Time Preventive Maintenance pada sub sistem i)
5. Jika $T_i < T_p$, artinya sistem mengalami kerusakan atau $T_i = T_{f_i}$, maka dari itu harus dilakukan perbaikan selama $T_{c_{mi}}$ (Time Corective Maintenance pada sub sistem i)
6. Lakukan trial secara berulang sesuai dengan jumlah total run pada simulasi
7. Lakukan trial tersebut dengan nilai T_p yang berbeda.

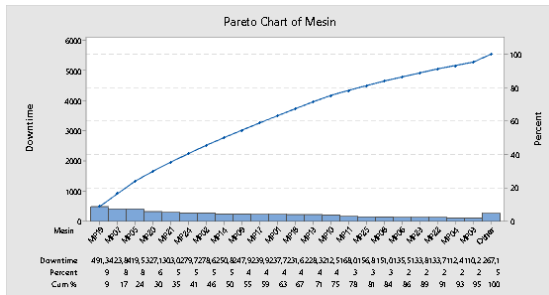
Penentuan Skenario Perawatan

Tahap penentuan scenario perawatan ini didapat dari hasil simulasi dimana diperoleh nilai interval waktu perawatan yang optimal. Tahap ini juga sebagai usulan alternatif untuk meminimasi downtime, meningkatkan keandalan, dan memaksimalkan nilai *availability* (Andrilia et. al., 2014). Fungsi perawatan adalah agar dapat memperpanjang umur ekonomis dari mesin dan peralatan produksi yang ada serta mengusahakan agar mesin dan peralatan produksi tersebut selalu dalam keadaan optimal dan siap pakai untuk pelaksanaan proses produksi (Akbar & Widiasih, 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

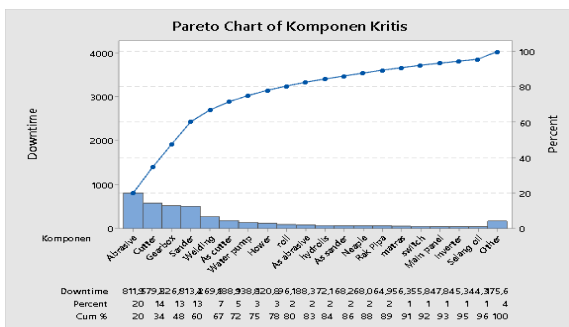
Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan pada seluruh mesin milling pipe yang ada di lini produksi. Sebelum mengetahui komponen kritis, terlebih dahulu menganalisis mesin kritis yang memiliki downtime tinggi. Mesin milling pipe sebagai mesin tertinggi dengan frekuensi kegagalan sebesar 444 selama 15 bulan. Dengan mengetahui mesin kritis maka dapat mengetahui komponen kritis dari mesin tersebut.



Gambar 3. Pareto Mesin Kritis

Dari hasil pareto diatas menunjukkan mesin kritis ada 15 diantaranya : MP19, MP07, MP05, MP20, MP21, MP24, MP02, MP14, MP09, MP17, MP01, MP18, MP19, MP10, dan MP11. Hal ini dilakukan dengan prinsip pareto yaitu 80/20 dimana 80% bersifat kritis. Selanjutnya dari 15 mesin tersebut dicari komponen kritisnya dengan menggunakan pareto. Hasil dari komponen kritis sebagai berikut :



Gambar 4. Pareto Komponen Kritis

Melalui analisis dari digram pareto didapatkan 8 komponen kritis yaitu komponen abrasive, gearbox, sander, cutter, as cutter, welding, water pump, dan hower. Komponen kritis tersebut selanjutnya dilakukan analisis lebih lanjut guna mencari interval waktu perawatan pencegahan yang optimal.

Penentuan Distribusi dan Parameter

Data yang digunakan dalam menentukan distribusi adalah data TTR dan TTF tiap komponen kritis. Dalam penentuan distribusi menggunakan software minitab dan selanjutnya dilakukan uji

goodness of fit untuk mengetahui parameter dari tiap komponen kritis. Berikut adalah hasil penentuan distribusi dan parameter tiap komponen

Tabel 1. Penentuan Distribusi dan Parameter TTF

Komp.	Distribusi	Parameter			
		Med	Shape	Scale	StDev
Abrasive	Weibull	8,34	1,107	11,62	10,1
Gearbox	Weibull	13	0,949	19,16	20,7
Sander	Weibull	16,3	0,91	24,42	28,1
Cutter	Lognormal	4,47		1,125	13,4
As Cutter	Weibull	111	0,825	172,3	233
Welding	Lognormal	13,6		1,557	147
Water Pump	Lognormal	18,4		1,135	57
Hower	Lognormal	10,8		1,304	53,4

Tabel 2. Penentuan Distribusi dan Parameter TTR

Komp.	Distribusi	Parameter			
		Med	Shape	Scale	StDev
Abrasive	Lognormal	7,02		1,48	58,9
Gearbox	Weibull	17,3	1,03	24,8	23,7
Sander	Lognormal	8,41		1,54	87
Cutter	Lognormal	4,33		1,3	21,3
As Cutter	Normal	47,2			20
Welding	Lognormal	8,88		1,38	54,6
Water Pump	Lognormal	5,13		1,21	19,2
Hower	Lognormal	9,26		1,5	82,7

Perhitungan Maintainability

Setelah diketahui parameternya, selanjutnya dapat menghitung MTTF, MTTR, Keandalan, dan availability. Berikut perhitungan maintainability untuk komponen:

1. Penentuan MTTF bertujuan untuk mengetahui kemampuan serta kinerja komponen dengan cara mengetahui nilai rata-rata dari interval waktu antar kerusakan komponen tersebut. yang didapat dari waktu antar kerusakan . Dalam penentuan MTTF memerlukan parameter distribusi yang sesuai pada masing-masing komponen.

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\
 &= 11,617 \cdot \Gamma (1,90) \\
 &= 11,617(0,96177) \\
 &= 11,1728 = 11 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

2. Penentuan MTTR digunakan untuk proses perbaikan yang dimulai saat komponen tersebut mengalami kerusakan sampai beroperasi kembali. Nilai MTTR dapat digunakan sebagai tolak ukur kemampuan suatu perusahaan dalam menangani dan menyelesaikan masalah kegagalan yang terjadi. Dalam penentuan MTTR memerlukan parameter distribusi yang sesuai pada masing-masing komponen.

$$MTTR = t_{med} \cdot e \left(\frac{s^2}{2} \right)$$

$$= 7,02 \cdot e(1,09)$$

$$= 20,879 = 21 \text{ Jam} = 0,875 \text{ hari}$$

Tabel 3. Hasil perhitungan MTTF & MTTR pada komponen kritis

No	Komponen	MTTF	MTTR
1	Abrasives	11 hari	20,87 jam
2	Cutter	10 hari	10,09 Jam
3	Gearbox	19 hari	24,38 Jam
4	Sander	25 hari	27,70 Jam
5	As Cutter	191 hari	47,22 Jam
6	Welding	45 hari	22,92 Jam
7	Water Pump	35 hari	10,59 Jam
8	Hower	25 hari	28,44 Jam

3. Penentuan keandalan (*Reliability*) digunakan untuk mengetahui apakah komponen tersebut dapat memenuhi operasi pada waktu tertentu. Komponen dapat dikatakan handal jika dapat memenuhi operasi pada waktu tertentu. Perhitungan nilai keandalan menggunakan rumus pada distribusi masing-masing komponen kritis

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

$$= e \left[- \left(\frac{11}{11,617} \right) \right]^{1,107}$$

$$= 0,390 = 39\%$$

Tabel 4. Hasil perhitungan *Reliability* Komponen Kritis.

No	Komponen	Reliability
1	Abrasives	39%
2	Cutter	23%
3	Gearbox	37%
4	Sander	36%
5	As Cutter	33%
6	Welding	22%
7	Water Pump	28%
8	Hower	23%

4. Penentuan nilai *availability* (ketersediaan) digunakan untuk mengukur peluang ketersediaan komponen dapat bekerja dengan fungsi yang dibutuhkan dalam waktu tertentu. Nilai *availability* berpengaruh pada downtime, apabila nilai *availability* semakin tinggi maka waktu kerusakan (*downtime*) akan semakin kecil.

5.
$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{11}{11 + 0,875} = 92,63\%$$

Tabel 5. Perhitungan Availability Pada Komponen Kritis

No	Komponen	Availability
1	Abrasives	92,63%
2	Cutter	95,96%
3	Gearbox	94,95%
4	Sander	95,60%
5	As Cutter	98,98%
6	Welding	97,93%
7	Water Pump	98,75%
8	Hower	95,49%

Simulasi Monte Carlo

Pembangkitan bilangan acak yakni sejumlah 150. Bilangan acak berfungsi sebagai pengganti fungsi laju kerusakan $F(t)$ dan fungsi laju perbaikan $M(t)$. Bilangan acak dapat dibangkitkan menggunakan bantuan Microsoft excel dengan rumus = RAND(). Hasil bilangan acak yang telah dibangkitkan adalah data berdistribusi uniform (0,1).

Data yang berdistribusi uniform tersebut selanjutnya akan dikonversi menjadi distribusi non-uniform agar dapat digunakan sebagai input dari simulasi yaitu dengan metode transformasi invers. Transformasi invers menggunakan fungsi CDF (Cumulative Density Function) dengan fungsi $F(t)$ pada tiap komponen sesuai dengan distribusi. Berikut contoh perhitungan transformasi CDF komponen abrasives:

$$F(t) \text{ untuk distribusi Weibull} = 1 - e \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right) \right]^\beta$$

Contoh : invers bilangan acak 0,1116, diketahui parameter distribusinya untuk $\theta = 11,617$ dan $\beta = 1,107$.

$$F(t) = 1 - e \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right) \right]^\beta$$

Invers nilai CDF ke nilai Z .

$$0,1116 = 1 - e \left[- \left(\frac{t}{11,617} \right) \right]^{1,107}$$

$$1 - 0,116 = e^{-\left(\frac{t}{11,617}\right)^{1,107}}$$

$$-\ln(1 - 0,116) = \left(\frac{t}{11,617}\right)^{1,107}$$

$$[-\ln(1 - 0,116)]^{\frac{1}{1,107}} = \frac{t}{11,617}$$

$$t = 11,617[-\ln(0,116)]^{1,107}$$

$$t = 1,2418$$

Setelah melakukan transformasi data, selanjutnya menilai validitas data TTR dan TTF hasil bilangan acak dengan data TTR dan TTF actual. Uji validitas dilakukan untuk menilai apakah diantara dua data tersebut memiliki kesamaan. Apabila dua data tersebut memiliki kesamaan atau valid dapat digunakan sebagai input dari simulasi *monte carlo*. Berikut contoh hasil uji validitas data TTF tiap komponen kritis.

a. Formulasi Hipotesis :

H_0 : Nilai rata-rata TTF komponen abrasive dalam sistem yang aktual (riil) = Nilai rata-rata TTF komponen abrasive dari hasil simulasi atauacak.

H_1 : Nilai rata-rata TTF komponen abrasive dalam sistem yang aktual (riil) \neq Nilai rata-rata TTF komponen abrasive dari hasil simulasi atauacak

b. Kriteria Pengujian

H_0 diterima jika $-t_{Tabel} \leq t_{Hitung} < t_{Tabel}$

H_0 ditolak jika $t_{Hitung} < -t_{Tabel}$ atau $t_{Hitung} > t_{Tabel}$

tabel 5. Hasil uji validitas ttf komponen kritis`

No	Komponen	t-stat	t-tabel	Kesimpulan
1	Abrasive	0,109	1,973	Valid
2	Gearbox	0,21	1,974	Valid
3	Sander	0,806	1,974	Valid
4	Cutter	-1,4	1,972	Valid
5	As Cutter	-0,59	1,976	Valid
6	Welding	0,697	1,975	Valid
7	Water Pump	-0,3	1,975	Valid
8	Hower	0,328	1,976	Valid

Kesimpulan uji validitas data TTF komponen abrasive pada *Microsoft excel* didapatkan hasil $-t_{Tabel} \leq t_{Hitung} < t_{Tabel}$ ($-1,9726 \leq 0,1092 < 1,9726$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima yaitu nilai rata-rata TTF dalam sistem aktual = nilai rata-rata TTF hasil dari simulasi.

Data TTF komponen gearbox didapatkan hasil $-t_{Tabel} \leq t_{Hitung} < t_{Tabel}$ ($-1,974 \leq 0,21 < 1,974$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima yaitu

nilai rata-rata TTF dalam sistem aktual = nilai rata-rata TTF hasil dari simulasi.

Data TTF komponen sander didapatkan hasil $-t_{Tabel} \leq t_{Hitung} < t_{Tabel}$ ($-1,974 \leq 0,806 < 1,974$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima yaitu nilai rata-rata TTF dalam sistem aktual = nilai rata-rata TTF hasil dari simulasi.

Data TTF komponen cutter didapatkan hasil $-t_{Tabel} \leq t_{Hitung} < t_{Tabel}$ ($-1,972 \leq -1,4 < 1,972$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima yaitu nilai rata-rata TTF dalam sistem aktual = nilai rata-rata TTF hasil dari simulasi.

Data TTF komponen as cutter didapatkan hasil $-t_{Tabel} \leq t_{Hitung} < t_{Tabel}$ ($-1,976 \leq -0,59 < 1,976$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima yaitu nilai rata-rata TTF dalam sistem aktual = nilai rata-rata TTF hasil dari simulasi.

Data TTF komponen welding didapatkan hasil $-t_{Tabel} \leq t_{Hitung} < t_{Tabel}$ ($-1,975 \leq 0,697 < 1,975$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima yaitu nilai rata-rata TTF dalam sistem aktual = nilai rata-rata TTF hasil dari simulasi.

Data TTF komponen water pump didapatkan hasil $-t_{Tabel} \leq t_{Hitung} < t_{Tabel}$ ($-1,975 \leq -0,3 < 1,975$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima yaitu nilai rata-rata TTF dalam sistem aktual = nilai rata-rata TTF hasil dari simulasi.

Data TTF komponen Hower didapatkan hasil $-t_{Tabel} \leq t_{Hitung} < t_{Tabel}$ ($-1,976 \leq 0,328 < 1,976$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima yaitu nilai rata-rata TTF dalam sistem aktual = nilai rata-rata TTF hasil dari simulasi.

Apabila semua data valid, tahap selanjutnya yaitu melakukan run pada simulasi untuk memperoleh interval waktu perawatan(tp) yang optimum. Hasil dari run simulasi menunjukkan indicator sukses artinya tidak terjadi kerusakan tetapi dilakukan perawatan pencegahan dan indicator gagal artinya terjadi kerusakan maka dilakukan perbaikan.

Tabel 6. Hasil Run Simulasi

Hasil Simulasi		tp (hari)	
Komponen	N= 150	10	11
Abrasive	Sukses	64	62
	Gagal	86	88
	Reliability	42,67%	41,33%
	Availability	95,47%	95,74%
Komponen	N= 150	15	16

Hasil Simulasi		tp (hari)	
Gearbox	Sukses	66	61
	Gagal	84	89
	Reliability	44,00%	41,67%
	Availability	98,60%	97,96%
Komponen	N= 150	23	24
Sander	Sukses	64	64
	Gagal	86	86
	Reliability	42,67%	42,67%
	Availability	98,47%	97,51%
Komponen	N= 150	9	10
Cutter	Sukses	98	66
	Gagal	52	84
	Reliability	65,33%	44,00%
	Availability	98,55%	98,65%
Komponen	N= 150	170	180
As Cutter	Sukses	69	67
	Gagal	81	83
	Reliability	46,00%	44,67%
	Availability	99,56%	99,31%
Komponen	N= 150	43	44
Welding	Sukses	62	53
	Gagal	88	97
	Reliability	41,33%	35,33%
	Availability	99,80%	99,00%
Komponen	N= 150	32	33
Water Pump	Sukses	53	36
	Gagal	97	114
	Reliability	35,33%	24,00%
	Availability	99,37%	99,36%
Komponen	N= 150	24	25
Hower	Sukses	107	92
	Gagal	43	58
	Reliability	71,33%	61,33%
	Availability	98,28%	99,03%

Penentuan Skenario Perawatan

Penentuan interval waktu perawatan (tp) optimum berdasarkan hasil simulasi. Tp optimum didapatkan dari nilai availability tertinggi pada setiap run tp, karena semakin tinggi nilai availability maka waktu kerusakan (*downtime*) pada komponen tersebut semakin kecil. Sedangkan nilai reliability dapat mempengaruhi keandalan suatu komponen tersebut.

Komponen abrasive tp optimum yaitu pada 11 hari. Hasil tp dari simulasi tersebut masih dalam

range MTTF komponen abrasive yaitu 11 hari, sehingga dapat ditentukan sebagai usulan penjadwalan preventive maintenance.

Komponen gearbox tp optimum yaitu pada 15 hari. Hasil tp dari simulasi tersebut masih dalam range MTTF komponen gearbox yaitu 19 hari, sehingga dapat ditentukan sebagai usulan penjadwalan preventive maintenance.

Komponen sander tp optimum yaitu pada 23 hari. Hasil tp dari simulasi tersebut masih dalam range MTTF komponen sander yaitu 25 hari, sehingga dapat ditentukan sebagai usulan penjadwalan preventive maintenance.

Komponen cutter tp optimum yaitu pada 9 hari. Hasil tp dari simulasi tersebut masih dalam range MTTF komponen cutter yaitu 10 hari, sehingga dapat ditentukan sebagai usulan penjadwalan preventive maintenance.

Komponen as cutter tp optimum yaitu pada 170 hari. Hasil tp dari simulasi tersebut masih dalam range MTTF komponen as cutter yaitu 191 hari, sehingga dapat ditentukan sebagai usulan penjadwalan preventive maintenance.

Komponen welding tp optimum yaitu pada 43 hari. Hasil tp dari simulasi tersebut masih dalam range MTTF komponen welding yaitu 45 hari, sehingga dapat ditentukan sebagai usulan penjadwalan preventive maintenance.

Komponen water pump tp optimum yaitu pada 32 hari. Hasil tp dari simulasi tersebut masih dalam range MTTF komponen water pump yaitu 35 hari, sehingga dapat ditentukan sebagai usulan penjadwalan preventive maintenance.

Komponen hower tp optimum yaitu pada 25 hari. Hasil tp dari simulasi tersebut masih dalam range MTTF komponen hower yaitu 25 hari, sehingga dapat ditentukan sebagai usulan penjadwalan preventive maintenance

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh serta berdasarkan penerapan tujuan yang ingin dicapai oleh penulis, maka dapat disimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian komponen kritis mesin milling pipe adalah komponen abrasive, gearbox, sander, cutter, as cutter, welding, water pump, dan hower. Penentuan komponen kritis tersebut melalui perhitungan menggunakan diagram pareto dimana prinsip pareto adalah bahwa untuk banyak kejadian, sekitar 80%

daripada efeknya disebabkan 20% dari penyebabnya.

2. Berdasarkan hasil penelitian interval waktu perawatan (tp) dengan menggunakan simulasi monte carlo pada tiap komponen. Kritis bahwa penjadwalan preventive maintenance pada komponen abrasive yaitu 11 hari, komponen gearbox yaitu 15 hari, komponen sander yaitu 23 hari, komponen cutter 9 hari, komponen as cutter yaitu 170 hari, komponen welding yaitu 43 hari, komponen water pump yaitu 32 hari, dan komponen hower 25 hari.

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini yang dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut :

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. R., & Widiasih, W. (2022). Analisis Perawatan Mesin Bubut dengan Metode Preventive Maintenance Guna Menghindari Kerusakan Secara Mendadak dan Untuk Menghitung Biaya Perawatan. *Jurnal SENOPATI: Sustainability, Ergonomics, Optimization, and Application of Industrial Engineering*, 4(1), 32-45. <https://doi.org/10.31284/j.senopati.2022.v4i1.3086>
- Kosasih, W., Sriwana, I. K., & Purnama, W. J. (2021). Simulasi Monte Carlo Dalam Optimasi Biaya Pemeliharaan. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 9(2), 139. <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v9i2.16024>
- Putri, E. L., Bahauddin, A., & Ferdinant, P. F. (2013). Usulan Jadwal Perawatan pada Mesin Electric Arc Furnace 5 dengan Simulasi Monte Carlo. *Jurnal Teknik Industri Untirta*, 1(4).
- Andrilia, D., Tama, I. P., & Rahman, A. (2014). Strategi Perawatan pada Mesin Las Mig di Industri Karoseri Kendaraan Niaga dengan Simulasi Monte Carlo (Studi Kasus: PT. Adi Putro Wirasejati Malang). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, 2(1), 128599.
- Pamungkas, I., Irawan, H. T., Arhami, A., & Dirhamsyah, M. (2020). Simulasi Monte Carlo untuk Menentukan Keandalan pada Bagian Boiler di Pembangkit Listrik Berbasis Batubara. *Jurnal Optimalisasi*, 4(2), 83-96.
- Praharsi, Y., Sriwana, I. K., & Sari, D. M. (2015). Perancangan Penjadwalan Preventive Maintenance pada PT. Artha Prima Sukses Makmur. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 14(1), 59-65.
- Taufik, T., & Septyani, S. (2015). Penentuan interval waktu perawatan komponen kritis pada mesin turbin di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *jurnal optimasi sistem industri*, 14(2), 238-258.