

Maintenance Planning Of Stone Crushed Machine Using Age Replacement Method

[Perencanaan Perawatan Mesin Stone Crushed Dengan Menggunakan Metode Age Replacement]

Bayu Andi Maulana ¹⁾, Mulyadi²⁾

1) Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

2) Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: mulyadi@umsida.ac.id

Abstract *The stone crusher machine is all-apt for crushing stone in large sizes, being small in size, in Indonesia it is known as the stone crushing machine which is known as calmpural for making concrete in asphalt. Slower processing time for Malkal Dalpalt to stabilize the machine, the production process is currently ongoing. such as the case of the punch tool of the Stone Crusher machine which often experiences damage, preventive maintenance using the ALge Replacement method is carried out so that the inspection period is determined to prevent problems. Preventive malintenance which is carried out during the period of the scheduled walk-in time, can be seen in reducing walk-in downtime. The optimal maintenance and replacement interval for bearing components on stone crusher machines has the highest reliability value of around 81% and occurs at 105 days. With optimal cost selbelsar Rp. 2.179.04.*

Keywords – Stone Crusher Machine, maintenance, Age Replacemet Bearing.

Abstrak. *Mesin pemecah batu serba guna untuk menghancurkan batu dalam ukuran besar, sedangkan untuk ukuran kecil, di indonesia dikenal dengan nama mesin penghancur batu yang dikenal dengan nama calpural untuk pembuatan beton di aspal. Waktu pemrosesan lebih lambat bagi Malkal Dalpalt untuk menstabilkan mesin, proses produksi saat ini sedang berlangsung. seperti halnya alat pelubang mesin Stone Crusher yang sering mengalami kerusakan maka dilakukan perawatan preventif dengan metode ALge Replacement agar dapat ditentukan jangka waktu pemeriksaannya untuk mencegah terjadinya permasalahan. Pencegahan malintenance yang dilakukan selama periode walk-in time yang dijadwalkan, terlihat dalam mengurangi walk-in downtime. Interval perawatan dan penggantian komponen bearing yang optimal pada mesin stone crusher mempunyai nilai keandalan tertinggi yaitu sekitar 81% dan terjadi pada waktu 105 hari. Dengan biaya selbelsar optimal Rp. 2.179.041.*

Kata Kunci – Mesin Stone Crusher, perawatan, Age Replacemet Bearing.

I. PENDAHULUAN

Persaingan di pasar global yang semakin ketat mendorong setiap perusahaan untuk meningkatkan produktivitas, kelancaran, efektivitas, dan efisiensi operasionalnya. Salah satu kunci untuk mendukung kelancaran operasi adalah pemeliharaan yang tepat pada mesin-mesin produksi, yang menjadi tulang punggung proses produksi. Dengan menjaga mesin selalu dalam kondisi optimal, perusahaan dapat memastikan kontinuitas produksi yang tidak terganggu, yang pada gilirannya membutuhkan strategi pemeliharaan preventif yang efektif.[1]

Apabila mesin produksi digunakan tanpa henti dengan perawatan yang kurang memadai maka dapat mengakibatkan mesin rusak pada waktu proses produksi sedang berjalan. Pada kasus tool punch mesin Stone Crusher yang sering mengalami kerusakan, preventive dengan metode Age Replacement dilakukan sehingga dapat ditentukan periode pemeriksaan dan pencegahan. Preventive maintenance yang dilakukan didasarkan pada periode waktu yang telah ditetapkan, terlihat adanya pengurangan waktu downtime, peningkatan ketersediaan (availability), dan keandalan (reliability) mesin produksi.[2]

Dalam menunjang kegiatan produksi, perusahaan harus melakukan perencanaan jadwal yang baik dalam melakukan perawatan mesin dan fasilitas produksi. Perawatan mesin yang baik akan memberikan keuntungan terhadap perusahaan, karena biaya produksi dapat diturunkan.[3] Mesin stone crusher merupakan sebuah alat yang didesain untuk memecahkan batu dari ukuran besar menjadi ukuran lebih kecil, di Indonesia lebih dikenal dengan sebutan mesin pemecah batu. Batu-batu yang besar agar dapat dimahalkalkan sebagai calmpural dalam pembuatan beton dan aspal.[4]

Salah satu type mesin stone crushed yaitu Jaw crusher, digunakan untuk menguralkan besar butiran pada tingkat pertama, untuk kemudian dipecah lebih lanjut oleh crusher lain. Jenis ini paling efektif digunakan untuk baltuan sedimen sampai baltuan yang paling keras seperti granit atau basalt. Jaw crusher merupakan mesin penekan (compression) dengan rasio pemecahan 6 : 1.[5]

PT. Bukit Salnurwijaya adalah perusahaan tambang yang ingin meningkatkan efisiensi operasional mesin stone crusher mereka. Untuk meningkatkan keandalan mesin dan mengurangi downtime, perusahaan

ingin beralih ke preventive maintenance, yaitu perawatan yang dijadwalkan secara berkala untuk mencegah kerusakan.[6] Penelitian ini menggunakan metode Reliability Centered Maintenance untuk menentukan tindakan perawatan yang optimal pada komponen kritis mesin stone crusher. Demikian pula, nilai Availability rata-rata 0,08% lebih tinggi, sementara nilai Downtime rata-rata 0,08% lebih rendah dibandingkan dengan corrective maintenance. [7]

Sedangkan di PT SCG Realdymix Yogyakarta Plant adalah bagian dari SCG Realdymix Indonesia telah menjadi perusahaan yang bergerak di sektor produksi material dan sebagai perusahaan penyedia semen cor untuk beton. Dalam perawatan mesin Stone Crusher akan dilakukan penggantian terdampak parts sehingga tersedianya jumlah parts dari suatu mesin sangat dibutuhkan.[8] Maka ketika parts tersebut dibutuhkan, tidak memerlukan waktu yang lama untuk melakukan penggantian dan proses produksi tidak terganggu. Untuk menentukan besarnya kebutuhan spare parts digunakan metode Marginal Analysis. Perawatan mesin dilakukan oleh tim maintenance. Hasil yang diperoleh dari analisis kualitatif dengan menggunakan metode RCM adalah terdapat lima kegiatan scheduled on condition dan lima kegiatan scheduled restoration. Hasil dari perhitungan kualitatif adalah berbeda untuk setiap empat bagian mesin dalam Mesin Stone Crusher[9]

Departemen Tambang PT Semen Padang merupakan bagian yang berperan dalam memalsok bahan baku yang digunakan pada produksi semen seperti batu kapur dan silika.[10] Kebijakan peningkatan kapasitas produksi yang dilakukan oleh pabrik menyebabkan bahan baku yang dibutuhkan juga meningkat seperti pada tahun 2017 permintaan terhadap produksi semen menjadi 10 jt ton dibandingkan tahun sebelumnya yang hanya sebesar 7 jt ton. Berdasarkan data historis kerusakan tercatat bahwa mesin LSC II merupakan mesin yang paling sering terjadi kerusakan dan waktu downtime yang besar. Hal menyebabkan tingginya loss produksi yang terjadi dan biaya failure cost yang tentunya merugikan perusahaan. [11]

Berdasarkan permasalahan di atas maka dibuatlah penelitian ini untuk menyelesaikan permasalahan perawatan mesin crusher dengan menggunakan metode Reliability Centered Maintenance dan Maintenance Value Stream Map dengan perhitungan Failure Modes and Effect Analysis dalam upaya meningkatkan target produksi demi kelancaran pengolahan mineral khususnya di tambang batu dolomit. Hasil interval perawatan dalam 1 bulan perusahaan harus menyediakan waktu perawatan pada mesin dengan waktu pada unit 1 selama 82,24 jam, unit 2 selama 29,72 jam dan unit 3 selama 2,82 jam.[12]

Total Productive Maintenance merupakan suatu sistem pemeliharaan dan perbaikan pada mesin atau peralatan yang melibatkan seluruh divisi dan karyawan mulai dari operator hingga manajemen puncak berdasarkan komitmen yang telah disepakati bersama. [13] Dumai Jaya Beton serta memberikan usulan perbaikan terhadap sistem perawatan dengan menerapkan sistem pencegahan menggunakan metode pemeliharaan produktif total yang terdiri dari total efektifitas, dan menghitung serta menganalisis total efektifitas yang terdapat dalam sistem TPM dengan menggunakan metode TPM Indeks. Melalui analisis tingkat efektivitas mesin, dibuatlah suatu program pemeliharaan mesin produksi dengan menggunakan metode TPM, yang terdiri dari pemeliharaan oleh operator dan pembentukan aktivitas kelompok kecil. [14]

Mesin stone crusher digunakan untuk memproduksi agregat, yang menjadi salah satu bahan utama dalam pembuatan beton. Permasalahan yang saat ini sedang dihadapi perusahaan Abipraya Beton adalah loss time mesin yang besar pada mesin stone crusher dan belum dapat memenuhi kuantitas dan kualitas yang diharapkan oleh perusahaan. Langkah yang dilakukan dalam menerapkan TPM adalah dengan menghitung nilai Overall Equipment Effectiveness dan menghitung faktor-faktor yang mempengaruhi nilai OEE dengan menghitung six big losses. Setelah itu, melakukan analisis dengan menggunakan diagram Pareto, diagram fishbone, dan Failure Mode and Effect Analysis, sehingga dapat diidentifikasi penyebab dalam strategi pemeliharaan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa alasan yang besar untuk dilakukannya peningkatan efektivitas. Faktor tersebut yang mempengaruhi rendahnya nilai OEE adalah idling and minor stoppages, reduced speed, dan equipment failure. [15]

Berdasarkan uraian di atas, perawatan komponen kritis pada stone crusher bertujuan untuk meningkatkan kinerja pada stone crusher, maka akan dilakukan preventive maintenance menggunakan metode Reliability Centered Maintenance pada stone crusher. Dengan hal ini dapat meminimalkan biaya pemeliharaan stone crusher secara berkala dan terencana yang meliputi waktu kegiatan pemeliharaan sehingga ini akan memberikan hasil produksi yang optimal secara berkala.

II. METODE

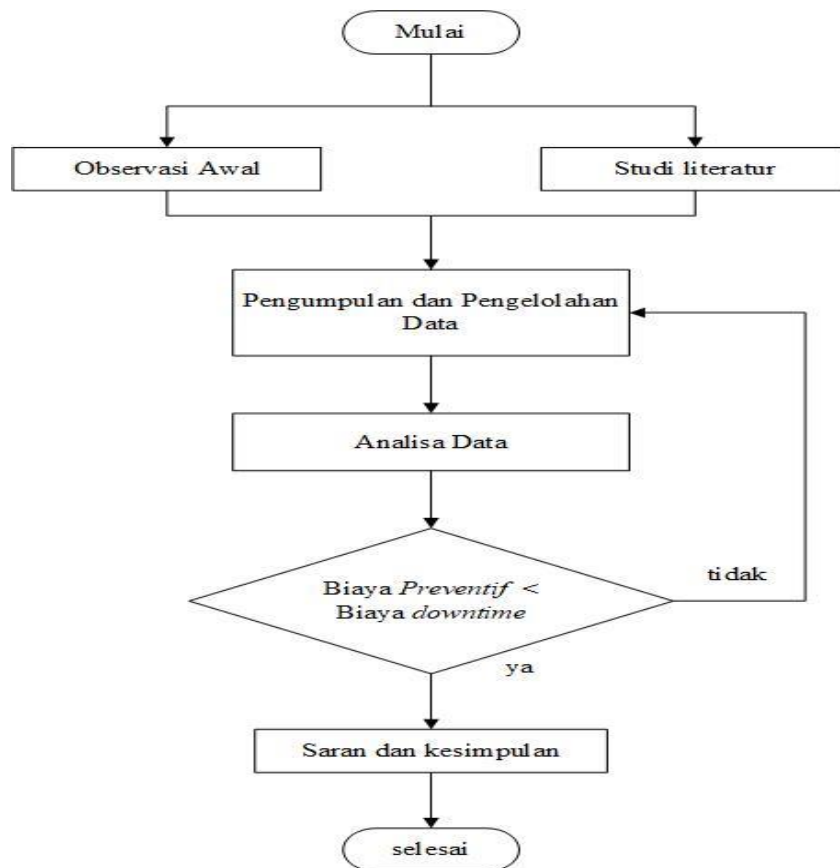
A. Tempat dan Waktu Penelitian

Dalam penelitian dilakukan pada perusahaan PT. Tirta Bumi Adya Tunggal dan pengambilan data dilakukan pada tanggal 07 Desember 2023, dengan melakukan observasi langsung pada proyek lapangan juga melakukan

interview atau tanya jawab langsung dengan pihak perusahaan terkait. Secara lengkapnya, metodologi penelitian ini juga digambarkan dalam bentuk flowchart agar dapat menjelaskan pada intinya alur dari penelitian tersebut.

B. Flowchart Penelitian

Gambar diagram (flow chart) adalah gambaran bagan yang menjelaskan secara umum yang menerangkan suatu alur pada suatu proses. Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian ini dapat juga digambarkan dalam diagram alir (flow chart) pada gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Gambar diagram flowchart penelitian

C. Observasi Awal dan Studi Literatur

observasi awal dilakukan pada proyek dilapangan juga melakukan interview atau tanya jawab langsung dengan pihak perusahaan terkait. Studi literatur meliputi proses pengumpulan data dan mengenai pengembangan penelitian terkait. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber, seperti jurnal referensi, buku, tugas akhir yang berkaitan, serta media internet.

D. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan dua metode yaitu Observasi langsung dan melakukan interview atau tanya jawab langsung dengan pihak perusahaan. Pengumpulan data dengan melakukan pengamatan aktifitas langsung pada obyeknya di lapangan dan Pengumpulan data dengan melakukan *interview/tanya* jawab langsung dengan responden/pihak yang memiliki kaitan langsung dengan permasalahan yang diteliti. Dalam hal ini dengan pimpinan, staf dan karyawan perusahaan.

Setelah data didapatkan dilakukan pengolahan data yaitu dengan mengumpulkan variabel penelitian yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel control. Variabel bebas (variabel prediktor) dapat disebut penyebab Variabel bebas pada penelitian ini adalah MTTF (*mean time to failure*), yaitu waktu ekspektasi terjadinya kegagalan. Variabel terikat adalah kondisi atau karakteristik yang berubah atau muncul ketika penelitian memperkenalkan, mengubah atau mengganti variabel bebas. Variabel ini dipengaruhi oleh variabel lain, juga disebut variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat didalam penelitian ini adalah interval waktu *preventif maintenance* dan biaya *downtime*. Variabel Control adalah Komponen Bearing *Stone Crosher Secondary* di PT Tirta Bumi Adya Tunggal, Plan Gempol.

E. Analisa Data

Setelah dilakukan pengumpulan dan Pengelolaan data, berikutnya dilakukan proses analisa menggunakan metode *Age Replacement* dengan menghitung rata-rata kerusakan *bearing* lalu melakukan perhitungan MTTF dan MTTR, setelah itu menghitung fungsi probabilitas (tingkat keandalan *bearing stone crushed* dan menentukan laju kerusakan), menghitung *down time* dan nilai *down time* (menghitung total biaya perawatan dengan metode *age replacement*) lalu menentukan jadwal *preventif maintenance* pada mesin *stone crushed*.

Waktu Rata-rata yang dibutuhkan untuk reparasi, Tujuan menunjukkan data efisiensi kemampuan perusahaan dalam menanggapi dan menyelesaikan masalah yang terjadi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

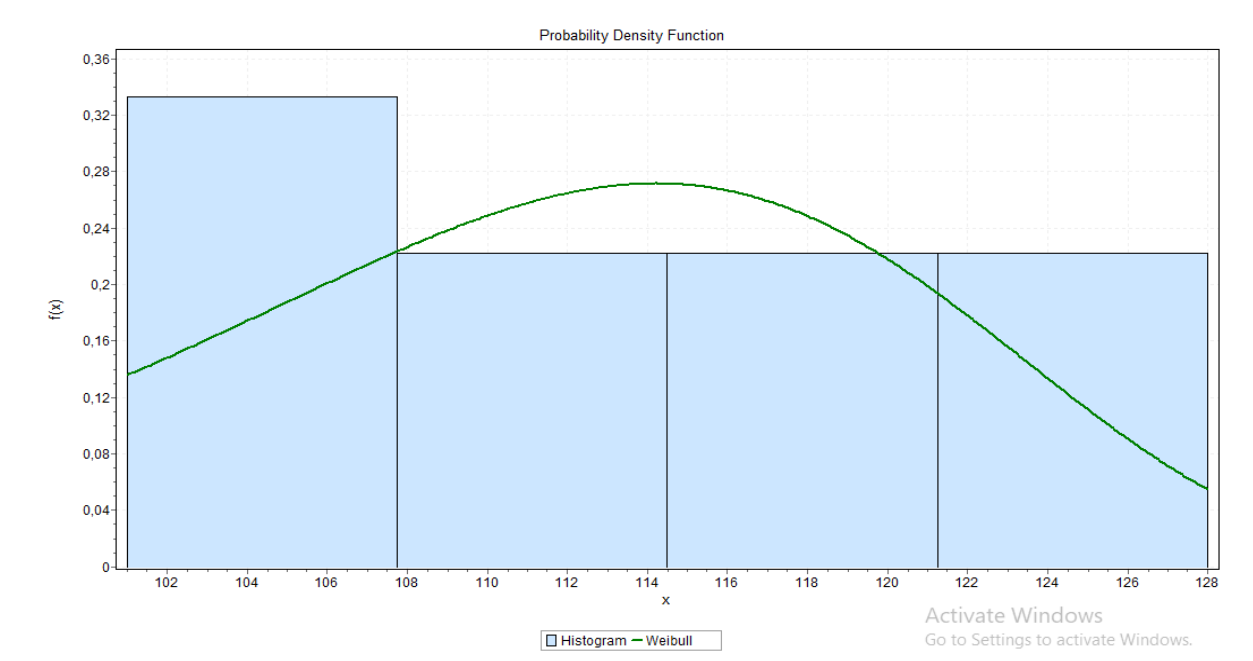
Penelitian ini memfokuskan pada mesin *stone crusher secondary* khususnya pada komponen main bearing jaw. Data ini diperoleh dari laporan kerusakan Januari 2019 sampai desember 2022. Data waktu antar kerusakan dan lama perbaikan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Data antara kerusakan dan lama perbaikan

No.	Tanggal kerusakan	Ruang Waktu antar Kerusakan	Lama Perbaikan
1.	22 Januari 2019	-	-
2.	15 Mei 2020	103 hari	14 jam
3.	20 September 2020	128 hari	18 jam
4.	3 Januari 2021	105 hari	21 jam
5.	4 April 2021	101 hari	14 jam
6.	12 Agustus 2021	119 hari	20 jam
7.	17 Desember 2021	117 hari	25 jam
8.	22 April 2022	124 hari	19 jam
9.	10 Agustus 2022	110 hari	21 jam
10.	26 November 2022	108 hari	18 jam
	Jumlah	1015	170

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa rentan waktu kerusakan 103 hari dengan lama waktu untuk melakukan perbaikan adalah 14 jam.

Pengujian distribusi data waktu antar kerusakan (*time for failure / Tf*) dari data waktu perbaikan (*time to repair / Tr*). Data waktu antar kerusakan pertama dengan kerusakan berikutnya sedangkan data waktu perbaikan didapatkan dengan menghitung lamanya waktu perbaikan saat kerusakan terjadi. Selain perhitungan manual diatas, dapat juga digunakan software minitab 19 untuk mengidentifikasi distribusi data.



Gambar 2. Uji Distribusi dan parameter *bearing*

Pada perhitungan panjang siklus kerusakan bearing untuk titik awal *alfa* pada aplikasi minitab titik awal pada $f(x)$ 0,14 pada rentang kekuatan $f(x)$ 0,26 pada hari ke(x) 114 bearing tersebut mencapai titik keandalan. Pada titik $f(x)$ 0,05 pada hari ke(x) 128 bearing mulai mengalami penurunan keandalan hal itu digambarkan pada gambar 1. melalui program minitab 19.

Tabel 2. Jenis Distribusi Yang Digunakan

Jenis Mesin	Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter		
			<i>Shape</i> (α)	<i>Scale</i> (β)	t_{median}
Stone Crosher	<i>Bearing</i>	<i>weibull</i>	14,1256	117,514	-
		<i>Lognormal</i>	3.35082		3.01791

Hasil pengujian diatas merupakan hasil pengujian distribusi terpilih dari keempat distribusi yang diujikan yaitu Weibull, Lognormal, Exponential, dan Normal, pengujian tersebut akan menghasilkan nilai koefisien korelasi (correlation) dan nilai Anderson-Darling dari data waktu berdasarkan masing-masing distribusi. Distribusi terpilih adalah distribusi yang menghasilkan nilai correlation coefisien terbesar, dan nilai Anderson-Darling terkecil.

B. Perhitungan Waktu Rata-Rata Lama Perbaikan *Bearing Stone Crusher*

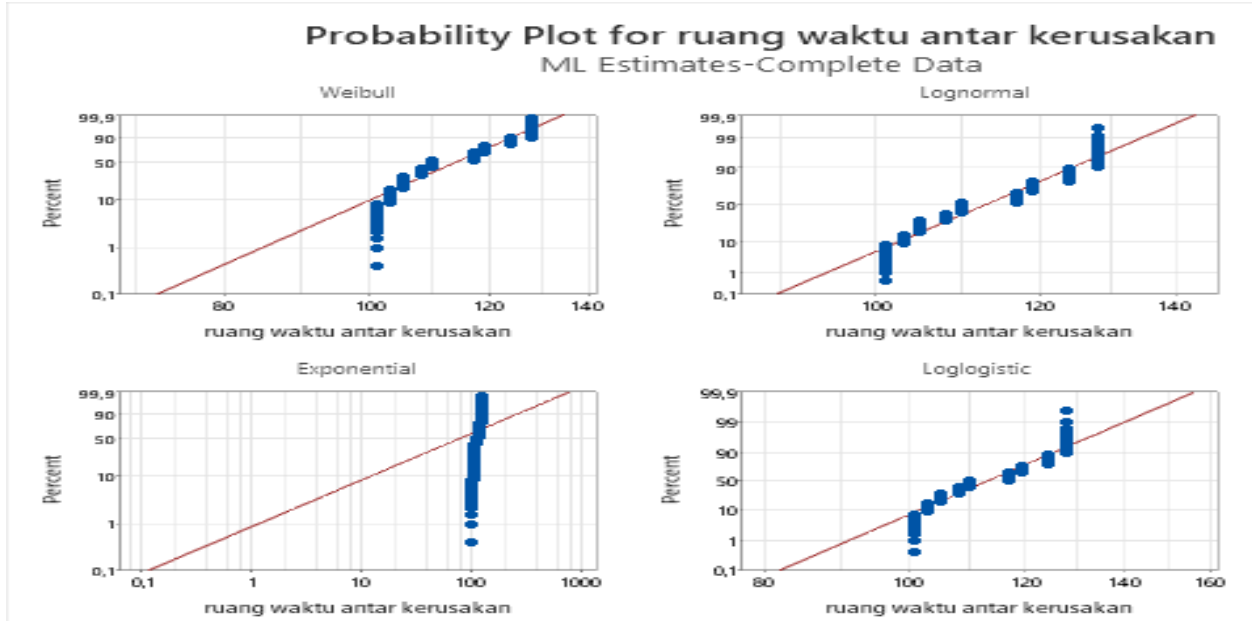
Perhitungan Model dari suatu probabilitas kerusakan suatu alat dapat dicocokkan dengan distribusi statistik yang terpilih. Distribusi yang terpilih adalah distribusi yang memiliki index of fit terbesar, hasil perhitungan dengan bantuan program Minitab 19.0 dapat dilihat pada Tabel 3. *Goodness of Fit* sebagai berikut :

Tabel 3. *Goodnes of fit*
Anderson-Darling Correlation

<i>Distribution</i>	<i>(adj)</i>	<i>Coefficient</i>
<i>Weillbull</i>	5.322	0,988
<i>Log normal</i>	4.661	0,968
<i>Exponential</i>	66.277	-
<i>Normal</i>	4.833	0,961

Berdasarkan Tabel 3. *Goodness of fit* diatas dapat diketahui bahwa nilai terkecil Anderson-Darling sebesar 4.661 dan nilai koefisien korelasi (r) yang tertinggi sebesar 0.968 terletak pada distribusi lognormal, berarti data penelitian

lama perbaikan kerusakan mengikuti distribusi lognormal. Hasil penelitian diperkuat oleh Gambar Plot 3. sebagai berikut :



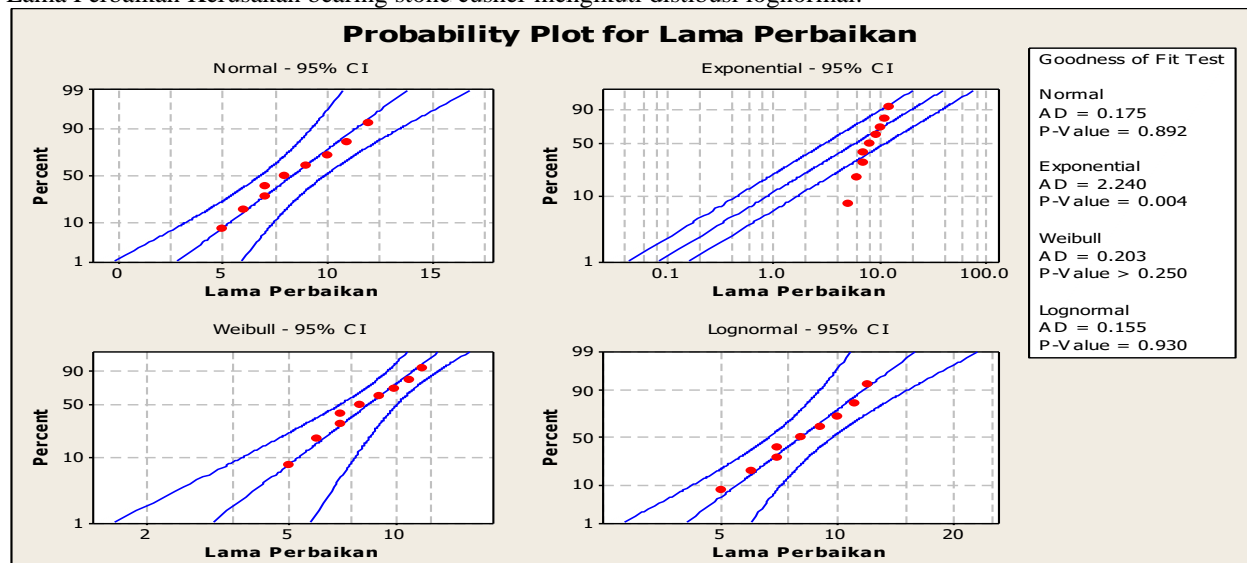
Gambar 3. Plot prediksi *probability* lama perbaikan kerusakan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah pola distribusi kerusakan bearing stone crusher mengikuti distribusi lognormal atau dua parameter. Sebelum pengujian ini dilakukan, terlebih dahulu dibuat hipotesis untuk menentukan apakah data terdistribusi lognormal atau tidak.

Tabel 4. Goodness of Fit Distribution Lognormal

<i>Anderson-Darling</i>		
<i>Distribution</i>	<i>(adj)</i>	<i>P</i>
<i>Lognormal</i>	0,155	0,930

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui nilai probability lebih besar dari 0.05, maka H0 diterima, maka distribusi Lama Perbaikan Kerusakan bearing stone cusher mengikuti distribusi lognormal.



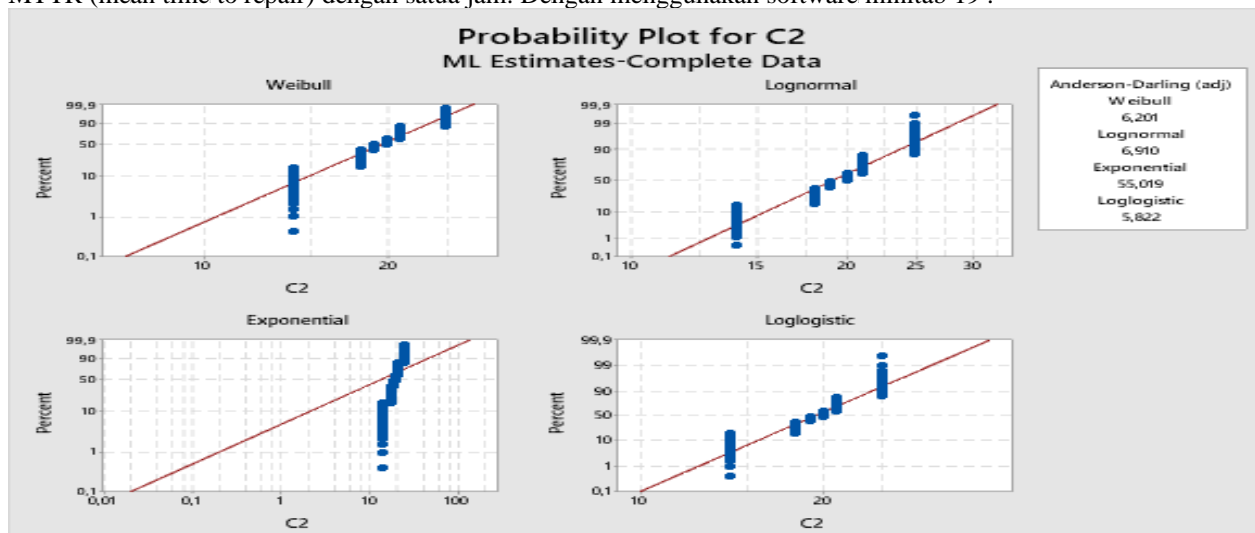
Gambar 4. Distribusi Probability Lama Perbaikan Kerusakan

Setelah distribusi kerusakan suku cadang diketahui, maka langkah selanjutnya adalah menghitung parameter-parameter, untuk distribusi Lognormal, parameternya adalah t_{med} dan Shape. Hasil perhitungannya t_{med} dan Shape dengan menggunakan program Minitab 19.0, seperti sebagai berikut :

Tabel 4. Goodness of fit distribution log normal
ML Estimation of Distribution Parameters

Distribution	Location	Scale	Threshold
Lognormal	3.35082	-	0,31791

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui nilai t_{med} = Location Parameters = 3.35082 dan nilai Scale = 0.31791. Setelah nilai dua parameter diketahui, maka dapat dilanjutkan dengan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari MTTR (mean time to repair) dengan satuan jam. Dengan menggunakan software minitab 19 :



Gambar 5. Hasil Perhitungan MTTR dengan Software Minitab 19

Dari gambar 5. diatas, dapat diketahui nilai MTTR (*Mean Time To Repair*) adalah $18.9728 = 19$ jam.

C. Perhitungan Fungsi Padat Probabilitas

Tabel 5. Fungsi Padat Probabilitas

T_p	Fungsi Padat Probabilitas	t_p	Fungsi Padat Probabilitas
100	0.01304	116	0.04409
101	0.01463	117	0.044331
102	0.01637	118	0.04396
103	0.01823	119	0.04294
104	0.02023	120	0.04125
105	0.02236	121	0.03892
106	0.02459	122	0.03599
107	0.02691	123	0.03255
108	0.02930	124	0.02874
109	0.03170	125	0.02471
110	0.03407	126	0.02063
111	0.03637	127	0.01668
112	0.03852	128	0.01301

113	0.04044	129	0.00977
114	0.04207	130	0.00703
115	0.04331		

Dapat diketahui dari tabel 3.4 fungsi padat probabilitas pada interval waktu ke 117 hari memiliki tingkat probabilitas paling tinggi yaitu sebesar 0.04433 dan yang paling rendah pada interval waktu 130 hari dengan nilai 0.00703

D. Tingkat Keandalan *Bearing Stone Crusher*

Nilai keandalan bearing stone crusher berdasarkan pada waktu rata-rata kerusakan dengan parameter distribusi Weibull. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keandalan bearing stone crusher.

$$R = \exp(-(t/\beta)^\alpha);$$

dimana :

t= rata-rata waktu kerusakan 117 hari

$$R = \exp(-(t/\beta)^\alpha) = \frac{1}{e^{(\frac{t}{\beta})^\alpha}} = \frac{1}{e^{(\frac{117}{117,514})^{14,1256}}} = \frac{1}{e^{(0,9399)}} = 0,39$$

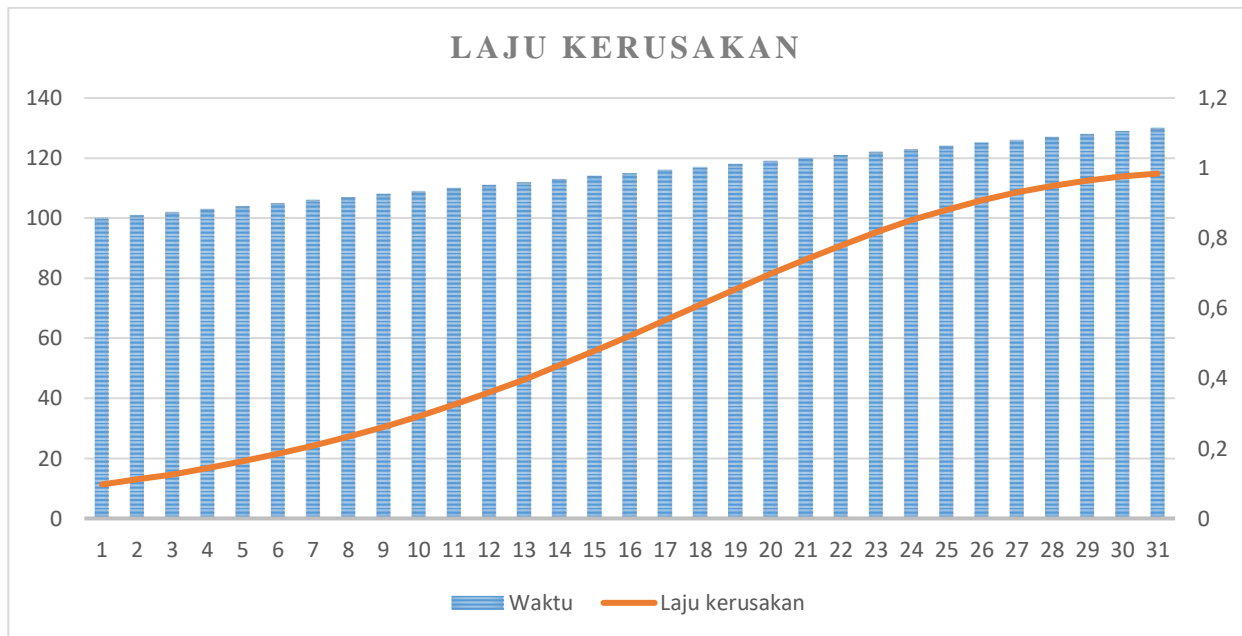
Jadi R = 39.0%, sehingga dapat dikatakan tingkat keandalan bearing pada waktu 117 hari adalah 39.0%

E. Menentukan Laju Kerusakan

Tujuan dari penentuan laju kerusakan komponen adalah untuk mengetahui banyaknya kerusakan yang terjadi tiap satuan waktu. Adapun rumus dari perhitungan laju kerusakan yang diperoleh dengan software excel adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Laju Kerusakan

tp	Laju Kerusakan	tp	Laju Kerusakan
100	0.097255476	116	0.565094294
101	0.111087361	117	0.609355737
102	0.126580728	118	0.653555041
103	0.143873632	119	0.697063204
104	0.16310161	120	0.739220248
105	0.184393505	121	0.779365164
106	0.207866328	122	0.816871262
107	0.233619121	123	0.851184458
108	0.261725809	124	0.881861001
109	0.292227106	125	0.908600287
110	0.325121655	126	0.931268151
111	0.36035668	127	0.949906495
112	0.397818618	128	0.964726541
113	0.43732436	129	0.976085251
114	0.478613916	130	0.984447251
115	0.521345516		



Gambar 6. Laju kerusakan

F. Menentukan Interval Perawatan *Bearing Stone Crusher*

Setelah mengetahui distribusi yang sesuai untuk data waktu kerusakan dan waktu perbaikan serta nilai MTTF dan MTTR berdasarkan distribusi terpilih, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan interval perawatan berdasarkan tingkat keandalan dengan menggunakan rata-rata waktu kerusakan. Untuk tingkat keandalan bearing stone crusher 85% dan 95% perhitungannya adalah :

$$t_R = \alpha (-\ln R)^{\frac{1}{\beta}}$$

Untuk tingkat keandalan 85 %

$$t_R = 14.1256 (-\ln 0.85)^{\frac{1}{117.514}} = 103.3307 \text{ Jam} = 12.916 \text{ hari} \approx 12 \text{ Hari}$$

Untuk tingkat keandalan 95 %

$$t_R = 14.1256 (-\ln 0.95)^{\frac{1}{117.514}} = 95.255 \text{ Jam} = 11.906 \text{ hari} \approx 11 \text{ Hari}$$

Jam Kerja dalam 1 hari 8 jam terbagi dalam 1 shift kerja, dalam satu bulan terdapat 24 hari efektif

G. Menghitung Total Biaya Perawatan Dengan Metode *Age Replacement*

Dalam memecahkan masalah penentuan waktu yang optimal bagi penggantian pencegahan yang optimal digunakan metode Age Replacement dengan kriteria optimalisasi biaya downtime. Perhitungan yang digunakan dalam metode Age Replacement ini adalah sebagai berikut:

$$C(t) = \frac{C_p \times R(t) + C_f [1 - R(t)]}{t \times R(t) + \left(\int_0^1 t \times f(t) dt \right)}$$

Dimana : $C(t)$ = biaya total perawatan
 C_p = biaya pemeliharaan pencegahan
 $R(t)$ = tingkat keandalan komponen
 C_f = biaya perbaikan kerusakan
 $[1 - R(t)]$ = fungsi padat probabilitas
 t = interval waktu pemeliharaan dilakukan
 $\left(\int_0^1 t \times f(t) dt \right)$ = umur rata-rata komponen (laju kerusakan)

Untuk dapat menghitung total biaya perawatan optimal maka mencari biaya-biaya perawatab yang relevan yaitu biaya perawatan pencegahan dan biaya perawatan akibat terjadinya kerusakan adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Gaji teknisi

Yaitu Rp. 4.500.000,- per bulan kemudian di konversikan dalam biaya perjam yaitu sebesar

$$= \text{Rp. } \underline{4.500.000}$$

$$240 \text{ Jam} \\ = \text{RP. } 18.750.00$$

2. Biaya pembelian *bearing* baru

Biaya yang dikeluarkan untuk pembelian *bearing* adalah sebesar Rp.8.828.00,-

3. Kerugian akibat *downtime* yaitu kehilangan pendapatan keuntungan karena terhentinya produksi.

Jika dalam satu hari dapat menghasilkan keuntungan 42 ton keuntungan dari produksi batu pecah adalah 400/kg keuntungan yang hilang akibat perbaikan Rp.13.500.00-/hari atau 8 jam kerja perjam Rp.1.350.00.

Tabel 7. Perhitungan biaya akibat kerusakan (Cf) tiap satu kali kerusakan

No	Keterangan	Biaya
1	Untuk perbaikan dibutuhkan 3 orang teknisi dengan biaya sebesar $18750 \times 3 \text{ orang} = 56.250,-$ waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki dan mengganti komponen (MTTR) = 19 jam. Maka $\text{Rp.}56.250 \times 19 \text{ jam} = \text{Rp.}1.068.750,-$	Rp. 1.068.750,-
2	Biaya pembelian <i>bearing</i>	Rp.8.820.000,-
3	Kehilangan kesempatan memperoleh keuntungan akibat mesin mengalami kerusakan Rp.1.350.000,-/jam waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki dan mengganti komponen (MTTR) = 19 jam maka $\text{Rp.}1.350.000,-/\text{jam} \times 19 \text{ jam} = \text{Rp.}25.650.000$	Rp. 25.650.000,-
Total		Rp. 35.538.750,-

Tabel 8. Perhitungan Biaya Perawatan Pencegahan (Cp)

No	Keterangan	Biaya
1	Untuk perbaikan dibutuhkan 3 orang teknisi dengan biaya sebesar Rp. 18750× 3 orang = Rp.56.250 waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki dan mengganti komponen adalah jam. Maka $\text{Rp.}56.250 \times 3 \text{ jam} = \text{Rp.}168.750,-$	Rp. 168.750
2	Biaya pembelian bearing Rp.8.820.000,-	Rp.8.820.000,-
3	Kehilangan kesempatan memperoleh keuntungan akibat mesin menganggur Rp.1.350.000,-/jam waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki dan mengganti komponen 2 jam maka $\text{Rp.}1.350.000,-/\text{jam} \times 2 \text{ jam} = \text{Rp.}2.700.000.$	Rp. 2.700.000,-
Total		Rp. 11.688.750

Lamanya waktu pergantian suku cadang dikarenakan perusahaan tidak menyediakan suku cadang di gudang da menunggu suku cadang dibeli terlebih dahulu.

Setelah biaya perawatan pencegahan (Cp) dan biaya perawatan akibat terjadinya kerusakan (Cf) diketahui dan harga Cp ternyata lebih kecil dari Cf, maka kita selanjutnya dapat menghitung total biaya perawatan dengan rumus yang telah disebutkan diatas.

Untuk mempermudah perhitungan total biaya perawatan berdasarkan metode age replacement, maka kita menggunakan software excel yang hasilnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 9. Total Biaya Perawatan C(tp)

tp	Keandalan	1-R(tp)	Tp x R(tp)	$\int_{-\infty}^t tf(t)dt$	C (tp) dalam ribuan (Rp)
100	0,902744524	0,006312453	0,993687547	0,006312453	693871,493
102	0,888912639	0,028081896	1,943836209	0,028081896	357948,569
103	0,873419272	0,066339386	2,800981841	0,066339386	253507,302
104	0,856126368	0,120253324	3,518986704	0,120253324	207883,775
105	0,83689830	0,187709279	4,061453606	0,187709279	186775,367
106	0,815606495	0,265640399	4,406157603	0,265640399	179053,933
107	0,792133672	0,350377475	4,547357678	0,350377475	180309,846
108	0,766380879	0,438023952	4,495808386	0,438023952	188760,043
109	0,738274191	0,524821561	4,27660595	0,524821561	203908,952
110	0,707772894	0,607465627	3,925343734	0,607465627	226020,154

Penentuan biaya optimal dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Biaya Optimal } (t) = \left(\frac{\text{Waktu kerja}}{\text{Interval Waktu Penggantian}} \right) \times \text{Biaya perawatan}$$

$$t(105) = \left(\frac{900}{105} \right) \times 186.775 = \text{Rp. 2.179.041}$$

Setelah dilakukan perhitungan total biaya perawatan pada stone crusher (penggantian komponen) maka didapat total biaya yang optimal yaitu pada interval waktu 105 hari sebesar Rp.2.179.041 dalam sekali penggantian dengan tingkat keandalan sebesar 81%

Dari perhitungan total biaya perawatan diatas menunjukkan bahwa pada interval waktu ke-105 hari memiliki keandalan yang lebih tinggi dan biaya perawatan untuk setiap penggantian yang lebih rendah. Pada interval waktu 110 hari tidak dipilih karena total biaya perawatan lebih besar dan memiliki keandalan rendah. Maka dipilihlah interval waktu 105 hari yaitu dengan tingkat keandalan diatas 75% sesuai dengan permintaan perusahaan, dengan nilai keandalan sebesar 81% dengan biaya total perawatan sebesar Rp.2.179.041

H. Perhitungan Perbandingan Penghematan Biaya Perawatan Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Preventif

Penghematan biaya downtime yang didapat jika menetapkan penggantian komponen sebelum rusak (preventif maintenance) jika:

$$3 \text{ Tahun} = 900 \text{ hari kerja}$$

Total biaya penggantian komponen bearing selama 3 tahun sebelum diadakan preventive maintenance yang terjadwal, perawatan dengan metode age replacement interval waktu kerusakan setelah kondisi rusak dan mesin berhenti bekerja kerusakan komponen sebanyak 3 kali maka biaya pengantiannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Biaya penggantian} &= \text{Rp. } 35.657.500,- \times 3 \\ &= \text{Rp. } 106.972.500 \end{aligned}$$

Total biaya penggantian komponen bearing selama 3 tahun setelah diadakan penjadwalan penggantian dengan metode age replacement untuk perawatan komponen bearing pada keandalan 81% diperoleh waktu optimal sebesar 105 hari sekali sehingga waktu 3 tahun adalah :

$$= \frac{900}{117}$$

$$\begin{aligned} &= 7,69 \text{ kali perbaikan} \\ &= 8 \text{ kali perbaikan} \end{aligned}$$

Jika memakai perawatan preventif selama 105 hari maka akan terjadi penggantian dengan jumlah biaya perawatan sebesar :

$$\text{Biaya perawatan} = \text{Rp. } 11.707.500,- \times 8 = \text{Rp. } 93.660.000,-$$

Tabel 10. Perbandingan biaya sebelum dan sesudah dilakukan *preventif*

Sebelum dilakukan Preventif	Sesudah dilakukan Preventif
Biaya penggantian kerusakan =Rp. 35.538.750,- × 3 penggantian = Rp. 106.616.250	Biaya perawatan =Rp. 11.688.750,- × 8 perawatan = Rp. 93.510.000,-

Penghematan yang didapat sebesar :

$$= (\text{Rp. } 106.616.250.-) - (\text{Rp. } 93.510.000.-)$$

$$= \text{Rp. } 13.106.250$$

Ataupun dapat dilakukan dalam persen penghemat selama 3 tahun yang terjadi apabila perusahaan mengadakan perawatan preventif adalah sebesar

$$= \frac{\text{Rp. } 13.106.250}{\text{Rp. } 106.616.250} \times 100\%$$

$$= 12,29 \%$$

Dari analisa data diatas menunjukkan hasil analisa penggantian dari komponen stone crusher yaitu bearing menunjukkan bahwa dari perhitungan fungsi padat probabilitas didapatkan nilai tertinggi dari fungsi tersebut adalah pada interval waktu 117 hari dengan nilai 0.0443

Pada perhitungan data diatas diketahui keandalan komponen diatas 75% (nilai keandalan yang diinginkan oleh pihak perusahaan) dengan biaya yang optimal yaitu pada interval waktu 105 hari yaitu sebesar 81 % sesuai dari hasil perhitungan diatas bahwasanya semakin lama dipergunakan komponen tersebut akan semakin menurun tingkat keandalannya. Jika pihak perusahaan menginginkan nilai keandalan semakin besar konsekuensinya waktu pemakaian komponen akan relatif singkat.

Perhitungan laju kerusakan komponen bearing jaw sebelumnya menunjukkan nilai kerusakan dengan nilai tertinggi dari fungsi tersebut yaitu pada interval waktu 130 hari yaitu sebesar 0.984 dimana laju kerusakan akan meningkat seiring dengan waktu pemakaian dari komponen tersebut.

Hasil probability waktu 117 hari dapat didubungkan dengan laju kerusakan pada hari ke 117 hari diperoleh 0,609355, dapat dilakukan penggantian atau perbaikan komponen bearing. Dikarenakan pada waktu tersebut jarak paling optimal dilakukan penggantian karena semakin tinggi hour meter laju kerusakan komponen semakin tinggi tidak optimal dilakukan penggantian, dikarenakan komponen yang akan diganti semakin banyak

Dari perhitungan total biaya perawatan yang dikeluarkan pada interval hari ke-1 menunjukkan sebesar rp.47.365.000 merupakan biaya yang terbesar, dan pada interval hari ke 105 merupakan yang terkecil yaitu rp. 2.179.041 karena pada interval waktu ke 105 hari menunjukkan total biaya perawatan yang paling rendah yaitu menunjukkan biaya sebesar rp. 2.179.041 dengan tingkat keandalan diatas 75% dijadikan pilihan sebagai penjadwalan yang optimal.

Maka dipilihlah interval waktu 105 hari penggantian dikarenakan semakin lama interval waktu penggantian maka tingkat keandalannya semakin rendah ini memungkinkan mesin berhenti atau rusak sewaktu-waktu semakin besar sehingga pihak perusahaan menentukan nilai keandalan diatas 75% dan setelah di teliti melalui perhitungan tingkat keandalan interval waktu 105 hari menunjukkan keandalan sebesar 81% dan biaya perawatan yang optimal.

Total biaya penggantian komponen bearing jaw selama 3 tahun setelah diadakan penentuan interval perawatan dengan metode age replacement untuk perawatan komponen bearing pada keandalan diatas 75 % diperoleh waktu optimal 105 hari sekali dengan tingkat keandalan 81% .

Jika memakai perawatan preventif selama 106 hari maka akan terjadi 8 perbaikan dengan jumlah biaya perawatan sebesar Rp. 93.510.000,- dan penghematan yang didapat sebesar rp. 13.106.250 atau dapat dilakukan dalam persen penghematan selama 3 tahun yang terjadi apabila perusahaan mengadakan perawatan preventif adalah sebesar 12,29 %.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari “perencanaan perawatan mesin *stone crushed*” dengan menggunakan metode *age replacement* maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dari “perencanaan perawatan mesin *stone crushed* dengan menggunakan metode *age replacemen*” maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Interval waktu perawatan dan penggantian optimal komponen *bearing* pada mesin *stone crusher* yang memiliki nilai keandalan paling tinggi sebesar 81% dan terjadi pada 105 hari. Dengan biaya optimal sebesar rp. 2.179.041
2. Penghemat biaya *downtime* yang bisa dilakukan oleh pt (xxxx) setelah dilakukannya analisa menggunakan metode *age replacement* rp. 13.106.250 atau 12,29%. Dan biaya yang dikeluarkan apabila melakukan perawatan *preventive* selama 105 hari dengan 8 kali perawatan sebesar rp. 93.510.000. Jika dibandingkan dengan sebelum menggunakan metode *age replacement* perusahaan akan mengeluarkan biaya sebesar rp. 106.616.250.
3. Pada tabel 3.1 antar kerusakan dan lama perbaikan mesin *stone crusher*. Berdasarkan tabel tersebut pada tanggal 17 desember 2021 terjadi proses perbaikan mesin yang cukup lama yaitu sekitar 25 jam. Dalam waktu perbaikan tersebut terjadi penggantian komponen dan juga perawatan berkala bulanan. Komponen yang dilakukan pergantian yaitu bearing 222240 bmhc3 2 bulan lama perbaikan 15 jam penggantian dikarenakan indensitas stock gudang sudah terpakai, grease seyton 3077 lama perbaikan 1 jam, vanbelt c112 lama perbaikan 1 jam, vanbelt 195 lama perbaikan 1 jam, baut jaw statis dan baut track toggle block lama perbaikan 2 jam, lock jaw plate dina lama perbaikan 1 jam. Pada proses perawatan mesin yaitu penambahan grease reborn r96778 sebanyak 5kg. Perbaikan spey roda gila mesin *stone crusher*. Perbaikan jaw plate dinamis.
4. Dapat diketahui pada tabel 3.4 fungsi padat probabilitas pada interval waktu 117 hari tingkat waktu rata-rata kerusakan paling tinggi yaitu 0,0443 pada interval tersebut untuk keandalan bearing dapat dipersentasikan dengan menggunakan rumus diperoleh hasil 39% sehingga dapat dikatakan tingkat keandalan bearing pada waktu 117 hari adalah 39%.

Pada tabel 3.6 laju kerusakan mempresentasikan banyaknya kerusakan komponen yang terjadi tiap satuan waktu pada tabel tersebut semakin tinggi hour meter (hm) maka laju kerusakan komponen akan semakin tinggi karena umur dari komponen akan semakin tinggi karena umur dari komponen juga bertambah. Dari hasil probability waktu 117 hari dapat digabungkan dengan laju kerusakan pada hari ke 117 hari diperoleh 0,609355, dapat dilakukan penggantian atau perbaikan komponen bearing. Dikarenakan pada waktu tersebut jarak paling optimal dilakukan penggantian karena semakin tinggi hour meter laju kerusakan komponen semakin tinggi tidak optimal dilakukan penggantian, dikarenakan komponen yang akan diganti semakin banyak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada program studi teknik mesin universitas muhammadiyah sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat serta para rekan aslab dan juga teman-teman yang telah membantu untuk menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. Andriani and I. Romli, "Preventive maintenance pada mesin die casting dengan age replacement model untuk peningkatan reliabilitas mesin," *Opelr. Elxcell. J. Appl. Ind. EIng.*, vol. 12, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.22441/oel.2020.v12.i1.001.
- [2] AKBAR, Mochamad Dhimas Ramadhana. *Analisa Kinerja Stone Crusher Untuk Penetapan Proses Preventif Maintenance*. 2021. PhD Thesis. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- [3] FITRI, Meldia, et al. Perawatan mesin crusher menggunakan metode RCM dan MVSM di PT. Galatta Lestarindo Sijunjung. *Jurnal Teknologi*, 2023, 13.1: 52-57.
- [4] S. Sihombing, W. Naibaho, W. Nababan, R. Bultar, and S. Amran, "Analisa Karakteristik Getaran Mesin Stone Crusher Kapasitas 50 Ton / Jam Batul Koral Pada Daerah Horizontal, Vertikal dan Longitudinal Berdasarkan Timel Domain," *SJoME1*, vol. 4, no. 2, pp. 173–180, 2023.
- [5] Ratnamurni, Elis Dwiana, and SE MP. "ANALISIS PEMELIHARAAN PREVENTIF MESIN STONE CRUSHER SANBO III PADA PT. DIRGA BHAKTI GIRI PERSADA." (2019)..
- [6] MUHAMMAD, AUFA. *MODEL PENJADWALAN PREVENTIVE MAINTENANCE MESIN LIME STONE CRUSHER VI DI DEPARTEMEN TAMBANG PT SEMEN PADANG*. Diss. Universitas Andalas, 2019.
- [7] C. Lsc, I. I. Di, D. Tambang, and T. Akhir, "UISULAN PREVENTIF MAINTENANCE MENGGUNAKAN METODE MODULARITY DESIGN PADA MESIN LIME STONE PT SEMEN PADANG Dengan Pembimbing : Ir. NILDA TRI PUITRI, Ph. D., IPM," 2019.
- [8] D. O. Shafitri, A. Larasati, and A. M. Hajji, "Peningkatan Nilai Overall Equipment Effectiveness Mesin Stone Crusher Dengan Menggunakan Pendekatan Total Productive Maintenance (Studi

- Kasuls Pt. Brantas Abipraya),” *Ind. Inov. J. Telk. Ind.*, vol. 12, no. 2, pp. 73–87, 2022, doi: 10.36040/industri.v12i2.4007.
- [9] Anuar, Kaspul, Herisiswanto Herisiswanto, and Aqsal Fahrizqa. "Study of Vibrating Screen Machine Damage in Stone Crusher and Its Effect on Production Loss in Cement Factory." *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering* 5.1 (2023): 75-84.
- [10] Mudakkir, Achmad Nurman. *Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin Penghancur Batu Pada PT. Benteng Api Technic dan Pengaplikasian Standar Operasional Prosedur (Scheduling Preventive Maintenance Stone Crusher Machine at PT. Fortress Technic and Application of Standard Operating Procedures)*. Diss. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2022.
- [11] Sihombing, S., Naibaho, W., Nababan, W., & Sinaga, A. (2023). Analisa Karakteristik Getaran Pada Mesin Stone Crusher Berdasarkan Kapasitas Pemecah Batu Koral 50 Ton/Jam Pada Daerah Horizontal, Vertikal dan Longitudinal Berdasarkan Time Domain. *SPROCKET JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING*, 4(2), 173-180.
- [12] Arsyad, A., Listiana, R. L., & Damayanti, E. (2023). THE PROTOTYPE STONE CHRUISHER. *Jurnal TEDC*, 17(1), 12-21.
- [13] PEBRIANTI, R. (2021). *ANALISIS DISTRIBUSI UKURAN BATUAN PRODUK VIBRATING SCREEN PADA STONE CRUSHER DI UNIT PENGOLAHAN PT. CICATIH PUTRA SUKABUMI KECAMATAN GUNUNG GURUH KABUPATEN SUKABUMI PROVINSI JAWA BARAT* (Doctoral dissertation, ITNY).
- [14] Fitri, M., & Farid, M. (2023). Perawatan mesin crusher menggunakan metode RCM dan MVSM di PT. Galatta Lestarindo Sijunjung. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 52-57.
- [15] Akbar, M. D. R. (2021). *Analisa Kinerja Stone Crusher Untuk Penetapan Proses Preventif Maintenance* (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.