
ANALISA PENENTUAN TINDAKAN PERAWATAN MESIN GYRATORY CRUSHER YANG OPTIMAL DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DI PT. X

Moh.Muhyidin Agus Wibowo, Anggia Kalista, Hendra Suwardana, Krishna Tri Sanjaya,
Supriyandi
Teknik Industri, Universitas PGRI Ronggolawe Tuban
E-mail : sugamuhammad@gmail.com

ABSTRAK

Mesin *gyratory crusher* di PT. X telah beroperasi cukup lama, dalam operasionalnya sehingga sering mengalami kerusakan yang menyebabkan menurunnya jumlah produksi yang berakibat pada kerugian perusahaan. Disamping itu belum diketahui komponen-komponen yang termasuk kategori kritis, sehingga proses perawatan menjadi kurang efektif dengan indikasi kerusakan yang masih terus terjadi. Penelitian menggunakan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) ini bertujuan untuk mengetahui komponen kritis dan menentukan tindakan perawatan yang tepat dengan biaya perawatan yang optimal. Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan dapat diketahui komponen kritis mesin *gyratory crusher* pada komponen *top seal*, *bottom seal* dan *van belt*. Pada komponen *top seal* interval waktu perawatan pencegahan 50 hari (berupa penggantian komponen) dengan nilai $C(tp)$ 388853,21872, *bottom seal* interval waktu perawatan pencegahan 74 hari (berupa penggantian komponen) dengan nilai $C(tp)$ 26169,57 dan *van belt* interval waktu perawatan pencegahan 28 hari (berupa pemeriksaan dan penggantian komponen) dengan nilai $C(tp)$ 89288,23003. Dalam hal ini interval waktu perawatan untuk seluruh komponen kritis dapat dijadikan dasar kebijakan perawatan yang optimal.

Kata Kunci : *Gyratory Crusher*, *Maintenance*, RCM (*Reliability Centered Maintenance*)

ABSTRACT

Gyratory crusher machine at PT. X has been in operation for quite a long time, in its operations it often experiences damage which causes a decrease in the amount of production which results in the company's losses. In addition, it is not yet known which components are in the critical category, so the maintenance process becomes less effective with indications of ongoing damage. Research using the RCM (*Reliability Centered Maintenance*) method aims to determine critical components and determine appropriate maintenance actions with optimal maintenance costs. Based on the analysis and calculation results, it can be seen that the critical components of the gyratory crusher machine are the top seal, bottom seal and van belt components. For the top seal component the preventive maintenance time interval is 50 days (in the form of component replacement) with a value of $C(tp)$ 388853.21872, the bottom seal is a preventive maintenance time interval of 74 days (in the form of component replacement) with a value of $C(tp)$ 26169.57 and the van belt preventive maintenance time interval of 28 days (in the form of inspection and replacement of components) with a value of $C(tp)$ 89288.23003. In this case the maintenance time interval for all critical components can be used as the basis for an optimal maintenance policy.

Keywords : Gyrotory Crusher, Maintenance, RCM (Reliability Centered Maintenance)

PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya dunia industri yang semakin pesat membuat setiap industri harus meningkatkan produksinya, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Hal itu dapat terwujud jika dalam proses produksi tidak terdapat masalah-masalah terutama perusahaan yang bersangkutan dengan peremesinan dalam hal proses produksinya. Mesin akan mengalami penurunan tingkat keandalan (*reliability*) apabila digunakan secara terus-menerus. Maka untuk mengoptimalkan jalanya mesin produksi dibutuhkan kegiatan-kegiatan yang berkaitan dengan perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) yang baik dan efektif serta efisien terhadap mesin-mesin produksi sehingga mampu meminimasi pengeluaran biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan. Menurut Assauri (dalam Diana *et al*, 2016) perawatan diartikan sebagai suatu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar suatu keadaan operasi produksi sesuai dengan yang direncanakan.

PT. X merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang penunjang konstruksi berspesialisasi dalam penyediaan bahan gilingan C berupa batu andesit yang berdiri sejak tahun 1982. Perusahaan memiliki mesin *crusher plant* dengan kapasitas sebesar 200 ton per jam dengan tingkat efisiensi sebesar 70 - 80%. Mesin *crusher plant* terdapat beberapa mesin yang digunakan untuk produksi seperti, *jaw crusher*, *vibrating screen*, *gyratory crusher* dan *conveyor*. Permasalahan yang sering terjadi kondisi mesin yang sudah tua telah beroperasi cukup lama sehingga mesin sering mengalami kerusakan saat beroperasi yang dapat berdampak pada terhentinya kegiatan produksi. Akibatnya target produksi tidak tercapai, perbaikan produksi tinggi dan biaya produksi semakin tinggi. Berikut merupakan data-data kerusakan pada mesin *crusher plant* yang terjadi di PT. X selama 1 tahun (dari bulan Januari sampai dengan Desember tahun 2018) adalah sebagai berikut :

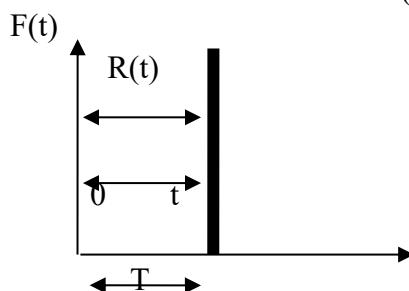
Tabel 1. Daftar Kerusakan Mesin *Crusher Plant* di PT. X Tahun 2018

Mesin	Jumlah Kerusakan
<i>Jaw Crusher</i>	11
<i>Vibrating Screen 1</i>	7
<i>Vibrating Screen 2</i>	8
<i>Vibrating Screen 3</i>	9
<i>Gyratory Crusher 1</i>	19
<i>Gyratory Crusher 2</i>	10
<i>Gyratory Crusher 3</i>	11
<i>Conveyor Primer</i>	6
<i>Conveyor Gyratory</i>	1
<i>Conveyor 3</i>	7
<i>Conveyor Return</i>	8
<i>Conveyor Screen 3</i>	3
<i>Conveyor Tunel</i>	2
<i>Conveyor Bawah Jaw</i>	2
<i>Conveyor Output Bawah</i>	6
<i>Conveyor Base Coarse</i>	4
Jumlah	114

Berdasarkan data diatas mesin *gyratory crusher* memiliki jumlah kerusakan tertinggi dibandingkan dengan mesin yang lain yaitu 19 kali. Sehingga objek yang diteliti pada kasus ini adalah kerusakan pada mesin *gyratory crusher* 1 yang memiliki kerusakan yang *significant*. Tujuan dilakukan perawatan adalah untuk menjaga keandalan (*reliability*) mesin agar mesin-mesin tersebut tetap dapat beroperasi dengan baik. Oleh sebab itu, diperlukan strategi yang baik untuk menjaga kelangsungan poses produksi. Menurut Moubray (dalam Yanuar *et al*, 2014) *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin beberapa asset fisik secara terus-menerus mengerjakan sesuai dengan apa yang pemakai inginkan dalam kondisi pengoperasiannya. Keuntungan metode RCM adalah meminimasi peluang kegagalan mesin secara mendadak, memfokuskan kegiatan perawatan pada komponen kritis, dan meningkatkan *reliability* komponen.

Dengan adanya penelitian yang menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ini. Diharapkan bisa membantu perusahaan dalam pencegahan kerusakan dan juga memberikan informasi terhadap penyebab kerusakan sehingga perusahaan dapat meningkatkan keandalan mesin saat ini, dan sebagai upaya untuk peningkatan produktivitas mesin *gyratory crusher* 1 di masa yang akan dengan menghitung biaya perawatan (*maintenance*) yang optimal. Perawatan merupakan konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas fasilitas/mesin agar dapat berfungsi dengan baik seperti kondisi awalnya (Nachnul dan M. Imron, 2013. Sehingga kegiatan perawatan merupakan seluruh rangkaian aktivitas yang dilakukan untuk mempertahankan unit-unit pada kondisi operasional dan aman, dan apabila terjadi kerusakan maka dapat dikendalikan pada kondisi operasional yang handal dan aman.

Proses perawatan secara umum bertujuan untuk memfokuskan dalam langkah-langkah pencegahan untuk mengurangi atau bahkan menghindari kerusakan dari peralatan dengan memastikan tingkat keandalan dan kesiapan serta meminimalkan biaya perawatan. Menurut Duffua *et al*,1999, ada beberapa macam strategi yang bisa digunakan, yaitu: Penggantian, Perawatan peluang, Perbaikan, Perawatan pencegahan, Modifikasi desain, Perawatan koreksi, Temuan kesalahan, Perawatan berbasis kondisi, Perawatan pengehentian. Suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar sembarang aset fisik dapat kontinyu dalam memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya saat ini (Hadi Pranoto, 2015). Penentuan komponen kritis dapat dilakukan menggunakan pendekatan *critical analysis* yang menggunakan empat kriteria yaitu: Frekuensi kerusakan tinggi, Dampak kerusakan pada sistem, Pembongkaran dan pemasangan sulit, Harga komponen yang mahal. Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas komponen, peralatan, mesin, atau sistem tetap beroperasi dengan baik sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam interval waktu dan kondisi tertentu (Govil, 1990).



Dimana :

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$F(t)$ = Probabilitas kerusakan

T = Merupakan Lamanya suatu peralatan beroperasi sampai dengan rusak yang merupakan variabel acak

R = P {alat dapat berfungsi} pada saat t
 = P {T} {mesin dapat berfungsi}
 = 1 - P {T>t}
 = 1 - F(t)

Keandalan dapat dihitung dengan rumus: :

$$R(t) = \int_1^{\infty} f(t)dt$$

$$= 1 - F(t) \text{ untuk } 0 \leq R(t) \leq 1$$

(Nachnul Ansori & M. Imron ; 2013)

Dimana :

R(t) = Fungsi keandalan

F(t) = Probabilitas kerusakan

Untuk t → 0, R(t) → 1 berarti sistem dalam keadaan baik

Untuk t → ∞, R(t) → 0 berarti sistem dalam keadaan rusak

Variabel utama dari fungsi keandalan adalah waktu terjadinya kerusakan (*time failure*).

Fungsi tersebut dirumuskan sebagai berikut : (Nachnul Ansori & M. Imron ; 2013)

$$R(t) = \int_1^{\infty} f(t)dt = P(x > t)$$

Dimana :

R(t) merupakan probabilitas peralatan dapat beroperasi hingga waktu t.

Probabilitas suatu peralatan mengalami kerusakan sebelum jangka waktu t disebut *CDF* (*Cumulative Distribution Failure*) dengan rumusan :

$$R(t) = P(x > t)$$

Sehingga dari kedua persamaan diatas dapat dirumuskan :

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$f(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t)dt \right]$$

Fungsi padat probabilitas karena kerusakan komponen tergantung pada variabel waktu dimana fungsi padat probabilitas antara selang waktu tertentu (t_x, t_y), maka : (Nachnul Ansori & M. Imron ; 2013)

$$\int_{t_x}^{t_y} f(t)dt = 1$$

Probabilitas terjadinya kerusakan antara (t_a dan t_z) adalah :

$$\int_{t_a}^{t_z} f(t)dt = 1$$

Nachnul Ansori & M. Imron 2013 menyatakan bahwa fungsi distribusi komulatif pada perawatan adalah probabilitas kerusakan yang merupakan kerusakan sebelum waktu tertentu, yang secara matematis sebagai berikut :

$$R(t) = \int_{-\infty}^1 f(t) dt$$

Dimana $F(t)$ menyatakan distribusi kumulatif, dan jika $t \rightarrow \infty$, Maka $F(t) \rightarrow 1$

Banyaknya komponen mengalami kerusakan setiap waktu, bila komponen sejenis dioperasikan secara bersama. Laju kerusakan $\lambda(t)$ dirumuskan sebagai berikut: (Nachnul Ansori & M. Imron ; 2013)

$$\lambda(t) = \frac{P\{x < t + \Delta t/x > t\}}{P(x > t)}$$

Dimana :

$$P\{x > t\} \cap (x < t + \Delta t) = P\{x < t + \Delta t = f(t)\Delta t$$

$$f(t) = -\frac{d}{dt}R(t)$$

Sedangkan :

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= -\frac{f(t)}{R(t)} \\ &= -\frac{1}{R(t)} \frac{d}{dt}R(t) \end{aligned}$$

$$\lambda(t) dt = \frac{-dR(t)}{R(t)}$$

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln[R(t)]$$

Sehingga $R(t) = \exp\left[-\int_0^1 \lambda(t) dt\right]$

Model-Model Distribusi Probabilitas Keandalan Versus Kerusakan Distribusi Eksponensial

Distribusi yang menggambarkan suatu kerusakan dari mesin yang disebabkan oleh kerusakan pada salah satu komponen pada mesin atau peralatan yang menyebabkan mesin terhenti. Dalam distribusi *eksponensial*, ada beberapa persamaan yang digunakan (Syahrul Romadhon ; 2017)

a. Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi *eksponensial* adalah :

$$f_{(t)} = \lambda e^{-\lambda t}$$

T = waktu $t \geq 0$

λ = kecepatan rata-rata terjadinya kerusakan $\lambda > 0$

b. Fungsi kumulatif kerusakan $F(t)$ distribusi *eksponensial* adalah :

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

c. Fungsi keandalan $R(t)$ distribusi *eksponensial* adalah :

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = e^{1/MTTF}$$

d. Fungsi laju kerusakan $h(t)$ distribusi *eksponensial* adalah :

$$h(t) = \lambda$$

Distribusi Weibull

Distribusi ini paling banyak dipergunakan dalam teknik perhitungan keandalan. Dalam distribusi *weibull* dikenal adanya dua parameter yakni parameter bentuk (β) dan parameter skala (α). Taufik, Selly Septiyani ; 2015

a. Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi *weibull* adalah :

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

Untuk $\beta = \text{shape}$ parameter, $\beta > 0$

$\theta =$ skala parameter untuk karakteristik *life time* $\theta > 0$

b. Fungsi kumulatif kerusakan $F(t)$ distribusi *weibull* adalah :

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

c. Fungsi keandalan $R(t)$ distribusi *weibull* adalah :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$
$$R(t) = 1 - F(t)$$
$$R(t) = e^{1/MTTF}$$

d. Fungsi laju kerusakan $h(t)$ distribusi *weibull* adalah :

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

Distribusi Lognormal

Distribusi ini berguna untuk menggambarkan distribusi kerusakan untuk kondisi yang bervariasi. Disini *time to failure* (t) dari suatu komponen diasumsikan memiliki distribusi lognormal bila $y = \ln(t)$, mengikuti distribusi normal dengan rata-rata (μ) dan variasi adalah (α). (Taufik, Selly Septiyani ; 2015)

a. Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi lognormal adalah :

$$f(t) = \frac{1}{st\sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{1}{2s^2} \ln\left(\frac{t}{tmed}\right)^2\right]}$$

b. Fungsi kumulatif kerusakan $F(t)$ distribusi lognormal adalah :

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t}{tmed}\right)\right)$$

c. Fungsi keandalan $R(t)$ distribusi lognormal adalah :

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t}{tmed}\right)\right)$$
$$R(t) = 1 - F(t)$$
$$R(t) = e^{1/MTTF}$$

d. Fungsi laju kerusakan $h(t)$ distribusi lognormal adalah :

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Distribusi Normal

Distribusi normal (Gaussian) mungkin merupakan distribusi probabilitas yang paling penting baik dalam teori maupun aplikasi statistik. Fungsi-fungsi dari distribusi normal: (Taufik, Selly Septiyani ; 2015)

a. Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi normal adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Dimana :

σ = Standar deviasi dari variabel acak

μ = Rata-rata dari variabel acak

b. Fungsi kumulatif kerusakan $F(t)$ distribusi normal adalah :

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

c. Fungsi keandalan $R(t)$ distribusi normal adalah :

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

$$R(t) = 1 - F(t)$$

d. Fungsi laju kerusakan $h(t)$ distribusi normal adalah :

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Rata-Rata Waktu Kerusakan (*Mean Time To Failure*)

Mean Time To Failure adalah nilai rata-rata terjadinya kerusakan (Ebeling, 1997). Perhitungan nilai MTTF untuk masing-masing distribusi yaitu : (Syahrul Romadhon ; 2017)

1. *Exponential*

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

Dimana :

λ = Rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi

2. *Weibull*

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

Dimana :

θ = *Scale* parameter mempengaruhi nilai tengah dari pola data

β = *Shape* parameter mempengaruhi laju kerusakan

Nilai $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ didapat dari tabel fungsi *Gamma*

3. *Lognormal*

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

Dimana :

t_{med} = Parameter lokasi (nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan)

s = Parameter bentuk (*shape parameter*)

4. *Normal*

$$MTTF = \mu$$

Dimana :

μ = Nilai tengah

Rata-Rata Waktu Perbaikan (*Mean Time To Repair*)

Mean time to repair (MTTR) adalah nilai rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap suatu kerusakan (*breakdown*) (Ebeling, 1997). Perhitungan nilai MTTR untuk masing-masing distribusi yaitu : (Syahrul Romadhon ; 2017)

1. *Exponential*

$$MTTR = \frac{1}{\lambda}$$

Dimana :

λ = *Repaire rate*

2. *Weibull*

$$MTTR = \alpha r \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Dimana :

θ = *Scale parameter*

β = *Shape parameter*

Nilai $r \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ didapat dari tabel fungsi *gamma*

3. Lognormal dan Normal

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

Dimana :

t_{med} = Nilai tengah (median) waktu perbaikan

s = Parameter bentuk (*shape parameter*)

Model Matematis Perawatan

Model *Age Replacement* adalah tabel perawatan yang menetapkan nilai interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan selang waktu terpakai yang digunakan untuk tindakan penggantian dengan kriteria *total minimum downtime*. Total *downtime* per unit waktu untuk tindakan penggantian preventif pada waktu t_p , dinotasikan sebagai $D(t_p)$ adalah : (Syahrul Romadhon ; 2017)

$$D(t_p) = \frac{H(t)T_f + T_p}{T_f + T_p}$$

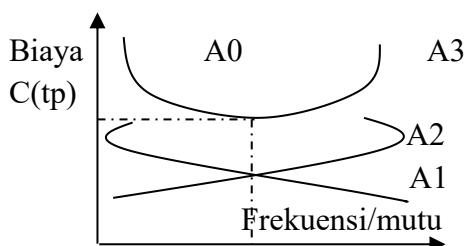
Banyaknya kegagalan yang terjadi dalam interval waktu $(0, t_p)$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$H(t) = (1 + h(t)) \times F(t)$$

$H(0)$ ditetapkan sama dengan nol, sehingga untuk $t_p = 0$, maka $H(t_p) = H(0) = 0$.

Efisiensi Perawatan

Adalah hubungan antara frekuensi perawatan dengan biaya perawatan yang timbul (Blanchard, 1981). Semakin baik perawatan maka biaya perawatan semakin besar. Sedangkan dari waktu yang hilang akibat kerusakan akan semakin kecil dengan bertambahnya mutu perawatan. Oleh karena itu perlu diadakanya perawatan yang optimal yang mampu ditinjau dari biaya perawatan maupun biaya kerusakan (Nachnul Ansori & M. Imron, 2013).



Gambar 2. Efisiensi Perawatan

Keterangan :

A1 = Biaya perawatan *preventive*

A2 = Biaya waktu yang hilang akibat kerusakan

A3 = Total biaya perawatan

C(tp) = Total biaya perawatan terkecil

A0 = Titik optimum yang menunjukkan nilai perawatan yang seharusnya

Apabila interval waktu yang optimal diperoleh, maka biaya perawatan yang paling minimum diketahui (Rahman, 2001).

$$C(tp) = \frac{C_p + C_f + H(tp)}{tp}$$

(Fajar Kurniawan ; 2013)

Dimana :

C(tp) = Biaya perawatan dalam interval waktu

C_p = Biaya penggantian satu item/satuan komponen

C_f = Biaya penggantian kerusakan

H(tp) = Banyaknya kerusakan dalam interval waktu (0, tp)

tp = Interval waktu

Terdapat berbagai macam biaya dalam perawatan, antara lain :

1. Biaya tenaga kerja

2. Biaya suku cadang

3. Biaya kerugian produksi

Opportunity Cost = Jumlah *output* per jam x HPP produk

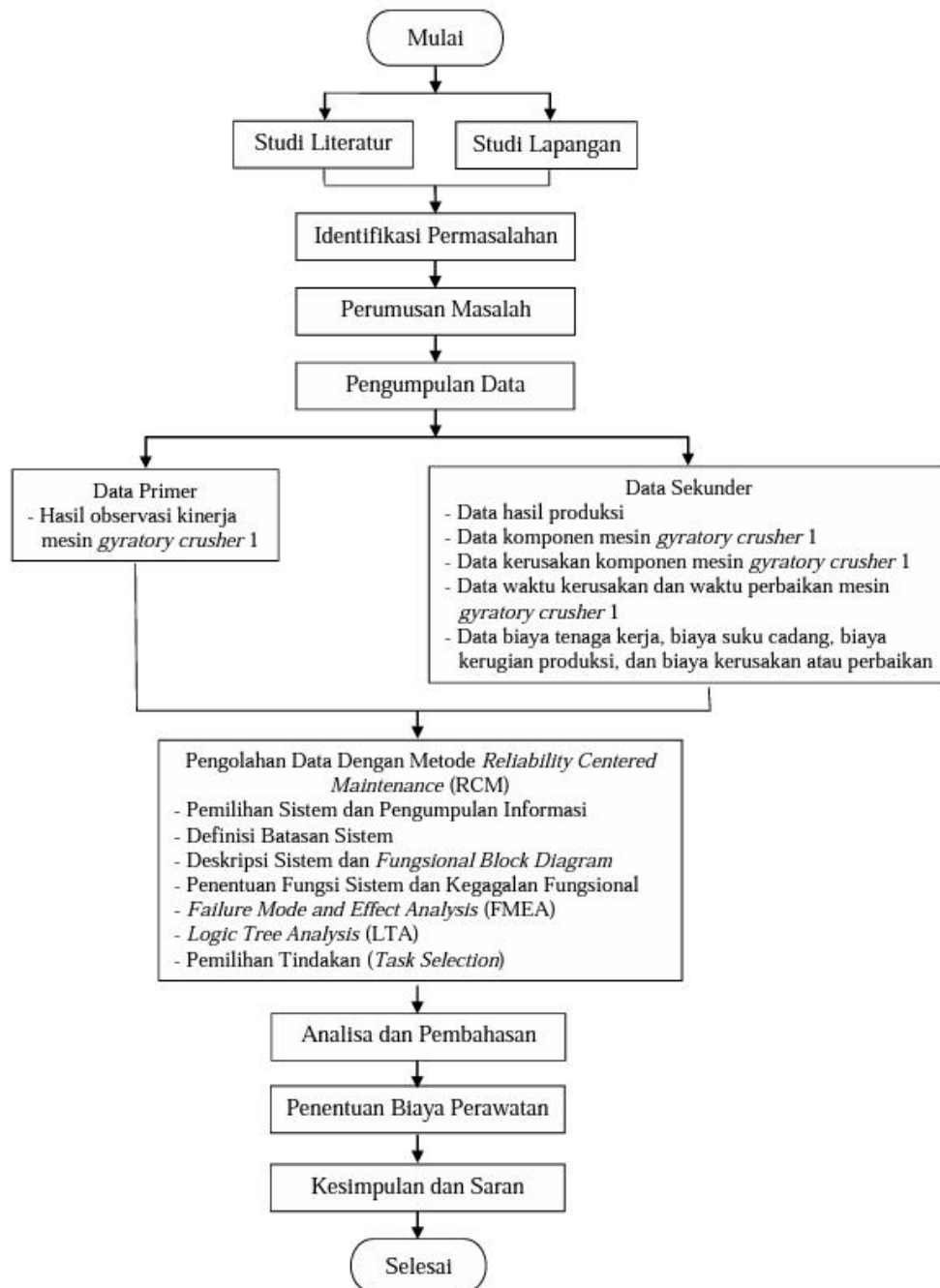
4. Biaya Perbaikan

C_f = biaya komponen + biaya tenaga kerja per jam + biaya kerugian produksi

C_p = biaya komponen + biaya tenaga kerja per jam

METODOLOGI PENELITIAN

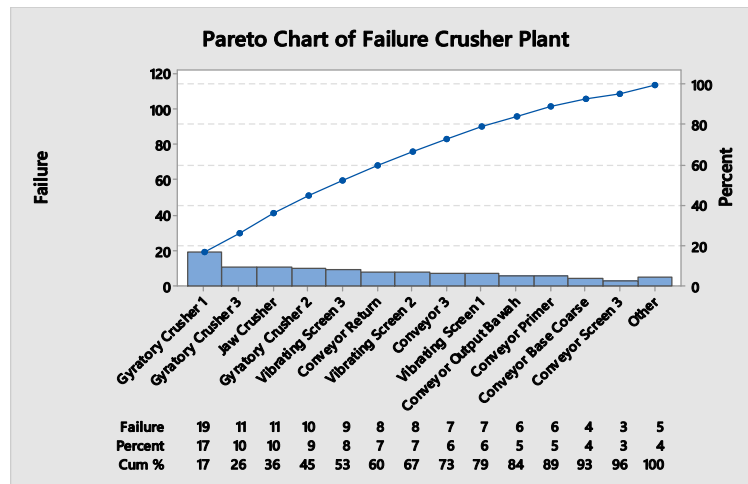
Merupakan kerangka pemecahan masalah yang menggambarkan tahap-tahap penyelesaian masalah secara singkat.



Gambar 3. *Flow Chart* Kerangka Penelitian
(Sumber : Diolah Oleh Penulis)

Analisa Dan Pembahasan

Berdasarkan diagram pareto data Kerusakan mesin *crusher plant* di PT. X Tahun 2018 memiliki jumlah kerusakan tertinggi.



Gambar 4. Diagram Pareto Mesin *Crusher Plant*

Data Biaya Tenaga Kerja

Biaya pekerja yang melakukan perbaikan atau perawatan. Jumlah teknisi sebanyak 3 orang dengan jumlah jam kerja 7 jam, upah Rp 70.000/orang. Maka dapat diperhitungkan:

$$3 \text{ orang} \times \text{Rp. } 70.000 = \text{Rp } 210.000/\text{hari}$$

$$\text{Rp } 70.000 \times 7 \text{ jam} = \text{Rp } 10.000/\text{jam}$$

Biaya Komponen

Merupakan biaya saat terjadi pembelian sparepart atau komponen kritis.

Top Seal = Rp. 1.200.000, *Bottom Seal* = Rp. 1.200.000, *Van Belt* = Rp. 3.800.000.

Biaya Kerugian Produksi

Biaya yang timbul karena adanya waktu yang terbuang ketika terjadi kerusakan, dapat dihitung jumlah produksi pejam x HPP ditunjukkan pada Tabel 2. Data Kerugian Produksi

No	Material	HPP/Ton	Jumlah Produksi /Jam
1	<i>Base Course</i>	Rp. 85.000	136,2 ton
2	<i>Splite 05-10 mm</i>	Rp. 75.000	136,2 ton
3	<i>Splite 10-20 mm</i>	Rp. 110.000	136,2 ton
4	<i>Splite 20-30 mm</i>	Rp. 95.000	136,2 ton
5	Abu Batu	Rp. 65.000	136,2 ton

Kerugian/ Jam	Kerugian/ Menit
Rp. 11.577.000	Rp. 192.950
Rp. 10.215.000	Rp. 170.250
Rp. 14.982.000	Rp. 249.700
Rp. 12.939.000	Rp. 215.650
Rp. 8.853.000	Rp. 147.550

(Sumber : PT. X)

Pengolahan Data

Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi

Didasarkan pada jenis-jenis mesin produksi antara lain *jaw crusher*, *conveyor*, *gyratory crusher*, dan *vibrating screen*. Terdapat mesin produksi yang rentan mengalami kerusakan, sesuai hasil observasi didapatkan mesin yang rentan mengalami kerusakan yaitu mesin *gyratory crusher* 1. Mesin *gyratory crusher* 1 memiliki 4 sistem utama yaitu *driving system*, *crushing system*, *hidraulic system*, *mechanic system*.

Definisi Batas Sistem

Dari pemilihan sistem peneliti memberikan batasan sistem yang diteliti hanya pada mesin *gyratory crusher* 1 yang memiliki jumlah kerusakan tertinggi.

Tabel 3. Data Kerusakan Mesin *Gyratory Crusher* 1

No	Kerusakan Komponen	Jumlah Kerusakan
1	<i>Top Seal</i>	6
2	<i>Bottom Seal</i>	4
3	<i>Spider Bushing</i>	2
4	<i>Filter</i>	1
5	<i>Mantle</i>	1
6	<i>Step Bearing</i>	1
7	<i>Concave</i>	1
8	<i>Van Belt</i>	3

(Sumber : PT. X, 2022)

Deskripsi Sistem dan Diagram Blok Fungsional

Mesin *gyratory crusher* 1 memiliki 4 sistem utama yaitu *driving system*, *crushing system*, *hidraulic system*, *mecanism system*. *Driving system* mempunyai subsistem komponen yang meliputi *step bearing*, *van belt*, *pulley*, *electric motor*. *Crushing system* mempunyai subsistem komponen *spider bushing*, *mantle*, *concave*, *shaft*, *mantle lock-nut*. *Hydraulic system* mempunyai subsistem komponen *top seal*, *filter*, *bottom seal*. *Mechanic system* mempunyai subsistem komponen *eccentric* dan *adapter sleeve*.

Fungsi dan Kegagalan Fungsional

Berikut adalah penyebab kegagalan yang telah terdefinisi dapat dilihat sebagai berikut.

No	Komponen	Kegagalan Fungsional						
		Gagal menahan berat & gerak (tidak stabil dan goyah)	Gagal menahan berat & gerak rotator (putus)	Kerusakan pada komponen	Perenggangan pada spider bushing	Korosi pada komponen	Gagal menahan tekanan (seal) longgar terjadi kebocoran pada sistem hidrolik	Gagal menyaring kotoran/debu dalam oli (terjadi penyumbatan pada filter)
1.1	Step Bearing	X	-	X	-	-	-	-
1.2	Van Belt	-	X	X	-	-	-	-
2.1	Spider Bushing	-	-	X	X	-	-	-
2.2	Mantle	-	-	X	-	X	-	-
2.3	Concave	-	-	X	-	X	-	-
3.1	Top Seal	-	-	X	-	-	X	-
3.2	Bottom Seal	-	-	X	-	-	X	-
3.3	Filter	-	-	-	-	-	-	X

(Sumber : Diolah Oleh Penulis, 2018)

Tabel 4. *Functional Block Diagram* Mesin Gyratory Crusher 1
 (Sumber : Diolah Oleh Penulis)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Menggambarkan suatu tingkat keseringan kejadian kerusakan, tingkat keparahan dan tingkat deteksi kerusakan yang dinyatakan dengan nilai RPN (*Risk Priority Number*).

Tabel 5. Pengisian *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Komponen	S	O	D	RPN	RANK
Step Bearing	7	2	5	70	5
Van Belt	7	4	5	140	3
Spider Bushing	5	3	3	45	4
Mantle	6	2	2	24	7
Concave	6	2	2	24	6
Top Seal	7	5	5	175	1
Bottom Seal	7	4	5	140	2
Filter	4	2	2	16	8

(Sumber : Diolah Oleh Penulis)

Berdasarkan hasil perhitungan terlihat tingkat RPN tertinggi pada komponen top seal, bottom seal, dan van belt. Maka perlu adanya perhatian khusus pada komponen dengan nilai RPN tinggi.

Logic Tree Analysis (LTA)

1. *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
2. *Safety*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan mesin berhenti?

Setelah menjawab pertanyaan-pertanyaan yang diajukan. Pada bagian ini komponen terbagi dalam 4 kategori, yakni:

- a. Termasuk kategori A, jika *failure mode* mempunyai konsekuensi *safety* terhadap personel maupun lingkungan.
- b. Termasuk kategori B, jika *failure* ini dapat mempengaruhi kuantitas dan kualitas produk yang dapat menyebabkan kerugian produksi.
- c. Termasuk kategori C, jika *failure mode* tidak berdampak terhadap *safety* dan operasional hanya perbaikan kecil
- d. Termasuk kategori D, jika *failure mode* tergolong sebagai *hidden failure*.

Berdasarkan hasil penentuan *Logic Tree Analysis* (LTA), maka dapat diperoleh kategori kegagalan masing-masing komponen mesin. Pengkategorian *failure mode* pada masing-masing komponen yaitu:

1. Kategori A, Berdasarkan hasil penelitian tidak terlihat sumber kerusakan pada komponen mesin yang bersifat *safety* yang menyebabkan masalah keselamatan, tidak ada komponen yang termasuk dalam kategori ini.
2. Kategori B, Berdasarkan hasil penelitian terlihat bahwa sumber kerusakan pada komponen mesin yang bersifat *outage* yang dapat mengakibatkan kegagalan total atau sebagian sistem. Terdapat komponen yang termasuk dalam kategori ini yaitu *van belt*, *top seal*, *bottom seal* karena ketika terjadi kegagalan perlu adanya perbaikan mesin berupa penggantian komponen sehingga menyebabkan mesin harus dimatikan. Maka secara otomatis menghambat proses produksi dan berakibat pada kerugian produksi.
3. Kategori C, Berdasarkan hasil penelitian, tidak ada komponen yang termasuk dalam kategori ini.
4. Kategori D, Berdasarkan hasil penelitian, tidak ada komponen yang termasuk dalam kategori ini.

4.3.7 Pemilihan Tindakan (*Task Selection*)

Penentuan komponen kritis tersebut dapat dikelompokkan mana komponen yang memiliki kerusakan sedang, kritis, dan sangat kritis.

Tabel 6. Penentuan Komponen Kritis Mesin *Gyratory Crusher 1*

Penilaian	Kode	Nilai	Komponen
Sedang	A	1-2	<i>Spider Bushing, Step Bearing, mantle, Concave, dan Filter</i>
Kritis	B	3-4	<i>Bottom Seal dan Van Belt</i>
Sangat kritis	C	5-6	<i>Top Seal</i>

(Sumber : Diolah Oleh Penulis)

Penentuan komponen kritis didasarkan pada kerusakan yang paling tinggi, dan setelah menentukan komponen kritis kemudian dikelompokkan lagi menjadi *Condition Directed* (CD), *Time Directed* (FD), dan *Finding Failure* (FF). Dari tiap mode kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang paling efektif.

Tabel 7. Hasil Pemilihan Tindakan

<i>Condition Directed (CD)</i>	<i>Time Directed (TD)</i>	<i>Finding Filure (FF)</i>
<i>Van Belt</i>	<i>Top Seal dan Bottom Seal</i>	<i>Spider Bushing, Mantle, Concave, Step Bearing, dan Filter</i>

(Sumber : Diolah Oleh Penulis)

Keterangan :

- CD = Dilakukan pencegahan berdasarkan kondisi komponen yang sedang berfungsi bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara memeriksa peralatan. Apabila ada gejala-gejala kerusakan maka akan dilakukan perbaikan atau penggantian komponen
- TD = Dilakukan pencegahan dengan berdasarkan *reliability* atau pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan peralatan yang didasarkan pada waktu atau umur komponen.
- FF = Dilakukan pencegahan berdasarkan temuan kerusakan bertujuan untuk menemukan kerusakan komponen yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.

Uji kesesuaian *goodness of fit* distribusi data waktu kerusakan atau *Time to Failure (TTF)*

Untuk mengetahui apakah data waktu kerusakan yang ada membentuk suatu distribusi tertentu atau meyakinkan apakah pola distribusi data sudah sesuai dengan pola distribusi tertentu untuk menentukan para meter komponen kritis. Berikut adalah hasil uji distribusi dengan *software Minitap 17* dengan memilih *p-value* yang terbesar.

Tabel 8. Hasil Rekapitulasi Uji Distribusi

No	Komponen	Weibull	Lognormal	Eksponential	Normal	Dipilih
1	<i>Van Belt</i>	0,250	0,227	0,241	0,227	<i>Weibull</i>
2	<i>Top Seal</i>	0,250	0,855	0,028	0,660	<i>Lognormal</i>
3	<i>Bottom Seal</i>	0,250	0,552	0,175	0,628	<i>Normal</i>

(Sumber : Diolah Oleh Penulis, 2018)

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan berikut merupakan hasil perhitungan manual uji kesesuaian komponen kritis *time to failure (TTF)*.

Tabel 9. Hasil Rekapitulasi Uji Kesesuaian Distribusi

Komponen	M/D hitung	F/D tabel	Hasil	Kesimpulan	Distribusi
<i>Van Belt</i>	M = 1	F tabel = 99,00	M < F tabel	Ho Diterima	<i>Weibull</i>
<i>Top Seal</i>	D = 0,472	D tabel = 0,699	D < D tabel	Ho Diterima	<i>Lognormal</i>
<i>Bottom Seal</i>	D = 0,583	D tabel = 0,829	D < D tabel	Ho Diterima	<i>Normal</i>

(Sumber : Diolah Oleh Penulis)

Setelah dilakukan uji kesesuaian distribusi maka berikutnya dilakukan penentuan parameter. Berikut adalah hasil perhitungan penentuan parameter komponen kritis.

Tabel 10. Hasil Rekapitulasi Penentuan Parameter

Komponen	β	α	θ	tmed	s	μ	σ
Van Belt	2,479	-13,433	225,302	-	-	-	-
Top Seal	-	-	-	342,885	0,262	-	-
Bottom Seal	0,002	-1,041	1,064	-	-	520,333	189,043

(Sumber : Diolah Oleh Penulis)

Perhitungan MTTF Komponen Kritis

Menentukan waktu rata-rata kerusakan pada komponen kritis *mean time to failure* (MTTF).

- a. Komponen *van belt* berdistribusi *Weibull*, berikut merupakan contoh perhitungan manual MTTF.

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

$$MTTF = 225,302 \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,479} \right)$$

$$MTTF = 225,302 \Gamma(1,41)$$

$$MTTF = 225,302 \times 0,88676$$

$$MTTF = 199,78 \text{ jam}$$

- b. Komponen *top seal* berdistribusi *Lognormal*, berikut merupakan contoh perhitungan manual MTTF.

$$MTTF = tmed \cdot e^{\frac{s^2}{2}}$$

$$MTTF = 342,885 \times 2,718^{\frac{0,262^2}{2}}$$

$$MTTF = 342,885 \times 1,0 = 354,86 \text{ Jam}$$

- c. Komponen *bottom seal* berdistribusi *Normal*, berikut merupakan contoh perhitungan manual MTTF.

$$MTTF = \mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{1561}{3}$$

$$MTTF = 520,33 \text{ Jam}$$

Uji kesesuaian *goodness of fit* distribusi data waktu kerusakan atau *Time to Repair* (TTR)

Untuk mengetahui apakah data waktu perbaikan yang ada membentuk suatu distribusi tertentu atau meyakinkan apakah pola distribusi data sudah sesuai dengan pola distribusi tertentu untuk menentukan para meter komponen kritis. Berikut adalah hasil uji distribusi dengan *software Minitap 17* dengan memilih *p-value* yang terbesar.

Tabel 11. Hasil Rekapitulasi Uji Distribusi

No	Komponen	Weibull	Lognormal	Eksponensial	Normal	Dipilih
1	Van Belt	0,099	0,057	0,052	0,057	Weibull
2	Top Seal	0,010	0,005	0,003	0,005	Weibull
3	Bottom Seal	0,018	0,007	0,013	0,007	Weibull

(Sumber : Diolah Oleh Penulis, 2018)

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan berikut merupakan hasil perhitungan manual uji kesesuaian komponen kritis *time to repair* (TTR).

Tabel 12. Hasil Rekapitulasi Uji Kesesuaian Distribusi

Komponen	F hitung	F tabel	Hasil	Kesimpulan	Distribusi
Van Belt	M=2	F tabel = 29,46	M < F tabel	Ho Diterima	Weibull
Top Seal	M=1,25	F tabel = 8,47	M < F tabel	Ho Diterima	Weibull
Bottom Seal	M=0,54	F tabel = 15,98	M < F tabel	Ho Diterima	Weibull

(Sumber : Diolah Oleh Penulis)

Setelah dilakukan uji kesesuaian distribusi maka berikutnya dilakukan penentuan parameter. Berikut adalah hasil perhitungan penentuan parameter komponen kritis.

Tabel 13. Hasil Rekapitulasi Penentuan Parameter

Komponen	β	α	θ
Van Belt	4,703	-2,815	1,818
Top Seal	8,843	-9,137	2,809
Bottom Seal	8,242	-8,403	2,772

(Sumber : Diolah Oleh Penulis)

Perhitungan MTTR Komponen Kritis

Menentukan waktu rata-rata perbaikan pada komponen kritis *mean time to failure* (MTTF).

- a. Komponen *van belt* berdistribusi *Weibull*, berikut merupakan contoh perhitungan manual MTTR.

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

$$MTTR = 1,818 \Gamma \left(1 + \frac{1}{4,703} \right)$$

$$MTTR = 1,818 \Gamma(1,22)$$

$$MTTR = 1,818 \times 0,91311$$

$$MTTR = 1,66 \text{ jam}$$

- b. Komponen *top seal* berdistribusi *Weibull*, berikut merupakan contoh perhitungan manual MTTR.

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

$$MTTR = 2,809 \Gamma \left(1 + \frac{1}{8,843} \right)$$

$$MTTR = 2,809 \Gamma(1,12)$$

$$MTTR = 2,809 \times 0,94359$$

$$MTTR = 2,65 \text{ jam}$$

- c. Komponen *bottom seal* berdistribusi *Weibull*, berikut merupakan contoh perhitungan manual MTTR.

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

$$MTTR = 2,772 \Gamma \left(1 + \frac{1}{8,242} \right)$$

$$MTTR = 2,772 \Gamma(1,12)$$

$$MTTR = 2,772 \times 0,94359$$

$$MTTR = 2,62 \text{ jam}$$

Perhitungan Total Minimum Downtime

Menghitung banyaknya suatu kerusakan dalam interval waktu (t) dan perhitungan *total minimum downtime*.

- a. Contoh komponen *van belt*.

$$T_f = 1,67 \text{ jam}$$

$$T_f = \frac{1,67 \text{ jam}}{7 \text{ jam/hari}} = 0,238 \text{ hari}$$

$$\text{Waktu pemeriksaan/pencegahan} = 10 \text{ meni} = 0,17 \text{ jam}$$

$$T_p = \frac{0,17 \text{ jam}}{7 \text{ jam/hari}} = 0,024 \text{ hari}$$

$$H(t) = (1 + h(t)) \times F(t)$$

$$H(t) = (1 + 0,016) \times 0,708$$

$$H(t) = 0,719$$

$$D(t_p) = \frac{H(t)T_f + T_p}{T_f + T_p}$$

$$D(t_p) = \frac{(0,719 \times 0,238) + 0,002}{0,238 + 0,002}$$

$$D(t_p) = 0,721 \text{ hari}$$

- b. Contoh komponen *top seal*

$$T_f = 2,67 \text{ jam}$$

$$T_f = \frac{2,67 \text{ jam}}{7 \text{ jam/hari}} = 0,381 \text{ hari}$$

$$\text{Waktu pemeriksaan/pencegahan} = 0$$

$$T_p = \frac{0}{7 \text{ jam/hari}} = 0$$

$$H(t) = (1 + h(t)) \times F(t)$$

$$H(t) = (1 + 0,005) \times 0,2483$$

$$H(t) = 0,249$$

$$D(t_p) = \frac{H(t)T_f + T_p}{T_f + T_p}$$

$$D(t_p) = \frac{(0,249 \times 0,381) + 0}{3 + 0}$$

$$D(t_p) = 0,249 \text{ hari}$$

c. Contoh komponen *bottom seal*

$$T_f = 2,62 \text{ jam}$$

$$T_f = \frac{2,62 \text{ jam}}{7 \text{ jam/hari}} = 0,374 \text{ hari}$$

$$\text{Waktu pemeriksaan/pencegahan} = 0$$

$$T_p = \frac{0}{7 \text{ jam/hari}} = 0$$

$$H(t) = (1 + h(t)) \times F(t)$$

$$H(t) = (1 + 0,004) \times 0,1539$$

$$H(t) = 0,154$$

$$D(t_p) = \frac{H(t)T_f + T_p}{T_f + T_p}$$

$$D(t_p) = \frac{(0,534 \times 0,374) + 0}{0,374 + 0}$$

$$D(t_p) = 0,154 \text{ hari}$$

Perhitungan Total Biaya Perawatan *Optimum*

Biaya yang harus dikeluarkan saat terjadi perawatan. Berikut merupakan biaya yang dikeluarkan perusahaan :

1. Biaya tenaga kerja (teknisi) 3 orang = Rp. 30.000/jam
2. Biaya komponen kritis :
 - a. *Van Belt* = Rp. 3.800.000
 - b. *Top Seal* = Rp. 1.200.000
 - c. *Bottom Seal* = Rp. 1.200.000
3. Biaya kerugian produksi diambil dari jumlah rata-rata kerugian produksi pada seluruh produk yang dihasilkan (*Opportunity Cost*) perjam yaitu sebesar : Rp. 58.566.000/5 produk = Rp. 11.713.200/jam
4. Biaya kerusakan

Merupakan biaya yang harus dikeluarkan saat terjadi kerusakan komponen. Perhitungan biaya kerusakan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.13 Hasil Rekapitulasi Biaya Kerusakan

Komponen	Biaya T.K/jam	Biaya Komponen	<i>Opportunity Cost</i> /Jam
<i>Van Belt</i>	Rp. 30.000	Rp. 3.800.000	Rp. 11.713.200
<i>Top Seal</i>	Rp. 30.000	Rp. 1.200.000	Rp. 11.713.200
<i>Bottom Seal</i>	Rp. 30.000	Rp. 1.200.000	Rp. 11.713.200

CF (<i>Cost Failure</i>)	CP (<i>Cost Preventive</i>)
Rp. 15.543.200	Rp. 3.830.000
Rp. 12.943.200	Rp. 1.230.000
Rp. 12.943.200	Rp. 1.230.000

(Sumber : Diolah Oleh Penulis, 2018)

KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan pemecahan masalah serta hasil pengumpulan dan pengolahan data serta analisa dan pembahasan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan yang berdasarkan pada permasalahan yang dapat mencapai tujuan pemecahan masalah sebagai berikut

1. Komponen kritis pada mesin *gyratory crusher* 1 terdiri dari 3 komponen yaitu : *van belt*, *bottom seal* dan *top seal* (sangat kritis).
2. Rekomendasi tindakan perawatan yang dilakukan berupa waktu perawatan pencegahan komponen berdasarkan interval waktu yang efektif yaitu dengan memilih nilai $C(tp)$ atau biaya perawatan dalam interval waktu yang terkecil. Sehingga diperoleh interval waktu perawatan pencegahan pada komponen *van belt* adalah 28 hari (berupa pemeriksaan dengan estimasi waktu sekitar 10 menit dan penggantian komponen) yang dilakukan pencegahan berdasarkan kondisi komponen yang sedang berfungsi atau *condition directed* (CD). Interval waktu perawatan pencegahan pada komponen *top seal* adalah 50 hari (berupa penggantian komponen) yang dilakukan pencegahan berdasarkan perhitungan *reliability atau time directed* (TD) karena kondisi komponen yang terletak didalam dan tidak terdeteksi sumber kerusakannya. Sedangkan untuk interval waktu perawatan pencegahan pada komponen *bottom seal* adalah 74 hari (berupa penggantian komponen) yang dilakukan pencegahan berdasarkan perhitungan *reliability atau time directed* (TD) karena kondisi komponen yang terletak didalam dan tidak terdeteksi sumber kerusakannya.
3. Berdasarkan interval waktu perawatan pencegahan dengan memilih nilai $C(tp)$ yang terkecil. Maka pada komponen *van belt* diperoleh nilai $C(tp)$ sebesar 89288,23003, pada komponen *bottom seal* diperoleh nilai $C(tp)$ sebesar 26169,57. Sedangkan pada komponen *top seal* diperoleh nilai $C(tp)$ sebesar 388853,21872.

Daftar Pustaka

- Ansori, Nachnul, dan Mustajib, M. Imron. 2013. *Sistem Perawatan Terpadu (Intregated Maintenance)*. Edisi Pertama-Yogyakarta: Graha Ilmu
- Ardhikayana, G. B. Ida., Wiyana S. N. I, dan Priambadi, IGN. 2015. *Analisa Perawatan Pada Komponen Kritis Mesin Pembersih Botol 5 Gallon PT. X Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)*, Jurnal METTEK Volume 1 No. 2 (2015) pp 20-27.
- Aufar, N. Azka., Kusmaningrum, dan Prasetiyo, Hendro. 2014. *Usulan Kebijakan Perawatan Area Produksi Trim Chassis Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Studi Kasus : Pt. Nissan Motor Indonesia)*, Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Jurusan Teknik Industri Itenas No. 04, Vol. 02 Oktober 2014.
- Kurniawan, Fajar. 2013. *Teknik Dan Aplikasi Manajemen Industri*. Edisi Pertama-Yogyakarta: Graha Ilmu
- Nuraidin, H. Yanuar., Arina, Faula, dan Ferdinant, F. Putro. *Usulan Perawatan Mesin Compressor Unit C Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Di PT.XYZ*, Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Pranoto, Hadi. 2015. *Reliability Centered Maintenance*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Rachman, Hamim., Garside, K. Annisa, dan Kholik, M. Heri. 2017. *Usulan Perawatan Sistem Boiler Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)*, Jurnal Teknik Industri Vol. 18, No. 01, Februari 2017, pp. 86-93.
- Rasindyo, M. Risenno., Kusumaningrum, dan Helianty, Yanti. 2015. *Analisis Kebijakan Perawatan Mesin Cincinnati Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Di Pt. Dirgantara Indonesia*, Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Jurusan Teknik Industri No. 1, Vol. 03.

- Romadhon, Syahrul. 2017. *Analisis Penentuan Tindakan Perawatan Mesin R4 Yang Optimal Dengan Metode Reliability Centered Maintenance Di PT. Sunan Drajat Lamongan*. Universitas PGRI Ronggolawe (UNIROW) Tuban.
- Sari, P. Diana, dan Ridho, F. Mukhammad. 2016. *Evaluasi Manajemen Perawatan Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II Pada Mesin Blowing 1 Di Plant 1 PT. Prisma Putra Textile*. Jurnal Teknik Insustri, Vol. XI, No. 2, Mei 2016.
- Syahrudin. *Analisis Sistem Perawatan Mesin Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Sebagai Dasar Kebijakan Perawatan yang Optimal di PLTD "X"*, Jurnal Teknologi Terpadu No. 1 Vol.
- Taufik, dan Septyani, Selly. 2015. *Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Turbin Di Pt Pln (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin*, Jurnal Optimasi Industri Vol. 14, No. 2 Oktober 2015 238-258.
- Wahyuniardi, Rizki., H. Arumsari, dan Triana, Rizki. 2016. *Penentuan Interval Perawatan Dengan Menggunakan Model Age Replacement Di PT. "X"*, Junal Seminar Nasional Mesin Dan Industri (SNMI) 2016 Riset Multidisiplin Untuk Menunjang Pengembangan Industri Nasional. Jakarta, 21-22 April 2016.