

PERAWATAN MESIN STERILIZER MENGGUNAKAN METODE AGE REPLACEMENT

Al Muhammad¹; Meldia Fitri²; Mohammad Farid³; Rafki Imani^{4*}; Nofriadiman⁵

¹²³⁴Fakultas Teknik, Universitas Putra Indonesia “YPTK”, Padang, Sekolah Tinggi Teknologi Industri
Padang Padang

Corresponding Email: rafimani17@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian dilatar elakangi oleh kerusakan yang terjadi pada mesin sterilizer yaitu pecahnya tabung doorpacking, pipa condensate bocor, pintu rebusan bocor, tidak Bergeraknya exhaust valve, terjadinya korosi pada bleed, dan klep pengaman tidak terbuka. Tujuan penelitian yaitu Menentukan interval waktu perawatan yang optimal untuk melakukan penggantian komponen mesin Sterilizer dengan metode Age Replacement. Dan mengetahui biaya penggantian komponen mesin Sterilizer yang diusulkan dengan metode Age Replacement. Jenis penelitian dalam penelitian ini yaitu kuantitatif. Data yang digunakan berupa data sekunder, yang terdiri dari data interval waktu kerusakan komponen dan biaya-biaya yang dikeluarkan untuk penggantian komponen. Hasil penelitian menunjukkan interval waktu perawatan yang optimal untuk melakukan penggantian komponen doorpacking yaitu pada hari ke 31 dengan biaya penggantian sebesar Rp 815.572,6 untuk sekali penggantian. Sedangkan interval waktu perawatan yang optimal untuk melakukan penggantian komponen bearing yaitu pada hari ke 35 dengan biaya penggantian sebesar Rp 380.346 untuk sekali penggantian. Biaya penggantian komponen doorpacking yang diusulkan sebesar Rp 15.000.000 untuk 3 kali penggantian dan menghemat Rp 4.770.558 dari biaya penggantian real yang dikeluarkan perusahaan. Sedangkan biaya penggantian komponen bearing yang diusulkan sebesar Rp 18.000.000 untuk 6 kali penggantian, dan menghemat sebesar Rp 5.041.116 dari biaya penggantian real yang dikeluarkan perusahaan.

Kata kunci: Perawatan, Mesin Sterilizer, Age Replacement

PENDAHULUAN

Mesin sterilizer sering mengalami kendala dengan tidak bekerjanya mesin dengan baik serta pemeliharaan mesin yang kurang baik dan penurunan kecepatan produksi mesin. Mesin sterilizer yang ada di PT. Bakrie Pasaman Plantations sudah berumur 31 tahun dari pembelian tahun 1991. Dengan bertambahnya umur mesin maka, kondisi mesin untuk beroperasi semakin menurun. Proses pembuatan minyak kelapa sawit yang krusial berlangsung dalam sterilizer. Dalam sterilizer buah kelapa sawit direbus dengan uap pada suhu dan tekanan serta waktu tertentu. Jika persyaratan di atas tidak terpenuhi, maka efisiensi produksi dari CPO yang dihasilkan mungkin tidak mampu memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam SNI 01-2901-2006.

PT. Bakrie Pasaman Plantations adalah perusahaan yang bergerak dibidang perkebunan kelapa sawit pertama di Pasaman Barat, yang didirikan pada tanggal 11 juni 1991 dan telah mendapat pengesahan dari Menteri Kehakiman Republik Indonesia No. C2.5246.ht.01 tahun 1992 pada tanggal 27 juni 1992. Nama pertama PT. Bakrie Pasaman Plantations ini adalah PT. Bakrie Nusantara Corporations yang dibentuk pada tanggal 21 juni 1989. PT. Bakrie Pasaman Plantations beroperasi atau melakukan kegiatan produksi setiap hari Senin – Sabtu dibagi dalam 3 shift kerja. Kapasitas olahnya yaitu: 30 ton/jam. Bahan baku yang digunakan yaitu Tandan Buah Segar (TBS) dengan berbagai macam varietas buah, seperti: Dura, Pisifera dan Tenera yang akan diolah menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) dan Kernel. Proses pengolahan kelapa sawit dari TBS menjadi CPO dan

Kernel melalui 6 stasiun utama yaitu stasiun penerimaan buah (*fruit reception station*), stasiun perebusan (*sterilizer station*), stasiun pemipilan (*thresher station*), stasiun pengepresan (*press station*), stasiun pemurnian (*clarification station*) dan stasiun pengolahan inti sawit (*kernel station*) dan 6 stasiun pendukung yaitu: satuan *power house*, stasiun boiler, stasiun *water treatment*, stasiun *effluent treatment*, bengkel dan laboratorium.

Permasalahan pada mesin filling yaitu sering mengalami kerusakan sehingga menyebabkan *production loss* dengan pendekatan *Age Replacement*. Hasil penelitian menunjukkan penggantian optimal komponen selama 23 hari untuk komponen sensor dapat menekan biaya perawatan sebelumnya (Muzakki, 2021). Pada perusahaan produksi aluminium profil dengan metode *Age Replacement*. Terdapat permasalahan pada mesin extrusion yang memiliki 2 komponen kritis yaitu komponen pisau potong dan komponen die. Waktu yang optimal untuk melakukan penggantian komponen pisau potong adalah 40 hari sedangkan untuk komponen Die adalah 60 hari (Fitriani & Moch, 2021). Pada industri manufaktur dengan metode *Age Replacement*. Permasalahan terdapat pada komponen silinder dan diperlukan penggantian. Hasil Penelitian menunjukkan interval penggantian optimal untuk komponen tersebut dengan metode *Age Replacement* (Emovon & Chinedum, 2018). Perusahaan yang memproduksi mesin diesel dengan permasalahan *downtime* yang tinggi. Dengan perhitungan metode *Age Replacement* didapatkan nilai *downtime* turun menjadi 3.240,45 menit (Sukendar et al., 2020). Pada perusahaan produksi bola lampu. Terdapat adanya masalah *downtime* pada mesin inflatable sehingga diperlukan waktu optimum komponen dengan metode *Age Replacement*. Hasil penelitian menunjukkan jadwal penggantian optimal komponen mesin Inflatable adalah 45 hari (Sembiring et al., 2019). Pada perusahaan yang menganalisis kualitas produk dengan metode *Age Replacement*. Hasil penelitian yaitu: metode *Age Replacement* dapat meminimalkan biaya yang relevan pada penggantian komponen yang gagal (Dohi & Hiroyuki, 2019).

Perusahaan yang memproduksi mesin cetak injeksi, dengan metode *Age Replacement*. Terdapat permasalahan pada penggunaan mesin secara terus menerus. Hasil penelitian yaitu: waktu penggantian untuk suku cadang nozzle dan waktu inspeksi empat kali sebulan. Peningkatan keandalan suku cadang nozzle dari sebelumnya 0,35 menjadi 0,50 (Syahfoeddin & Indra, 2018). Pada penentuan interval waktu *maintenance* forklift dengan metode *Age Replacement*. Permasalahan terdapat pada komponen forklift, sehingga terjadinya *downtime* dan kinerja mesin menjadi kurang efektif dan efisien. Setelah dianalisis dengan metode *Age Replacement*, diperoleh *availability* dari komponen tersebut diatas 95% (Alhadi et al., 2021). Pada *maintenance* mesin mixing dengan metode *Age Replacement*. Permasalahan yang pada mesin mixing yaitu, terdapat kerusakan pada pisau mixing, sehingga diperlukan penjadwalan yang tepat guna memperkirakan interval waktu perawatan. Hasil penelitian menunjukkan dengan analisis metode *Age Replacement* dapat mengoptimalkan penjadwalan dan mengurangi waktu *breakdown* (Ardiansyah & Endang, 2021). Interval perawatan mesin *air separation plant*, yang mana terdapat *downtime* yang terlalu tinggi. Berdasarkan analisa hasil yang didapatkan diketahui bahwa dengan metode *Age Replacement* interval waktu penggantian komponen yang optimal lebih efisien sebesar 69,23% (Fikri & Endang, 2020). Pada mesin Hanger Shot Blast Kazo yang sering mengalami kerusakan. Dengan usulan penentuan penjadwalan interval waktu penggantian komponen impeller menggunakan metode *Age Replacement* diperoleh interval waktu penggantian yang paling optimal adalah 7 hari dengan tingkat keandalan komponen sebesar 79% (Agustiawan et al., 2021). Pada interval pergantian komponen mesin bubuk dengan metode *Age Replacement*. Dari hasil analisis dan perhitungan total biaya penghematan didapatkan bahwa sebaiknya perusahaan lebih baik melakukan penggantian dengan menerapkan sistem usulan dari metode *Age Replacement* (Ma'rif & Said, 2021).

Perbaikan komponen mesin bubuk tipe SS-850, yang mana mengalami masalah kerusakan pada mesin produksi dikarenakan

belum optimalnya sistem perawatan yang ada. Dengan penerapan metode *Age Replacement* mesin bubut type SS-850 dapat diketahui bahwa komponen elektrik memiliki interval waktu pengganti pencegahan dengan penghematan biaya sebesar 61,01% (Rachman, et al., 2022). Pada mesin printing rotogravure dengan metode *Age Replacement*. Penentuan penjadwalan interval waktu penggantian komponen *press roll* diperoleh interval waktu penggantian yang paling optimal dengan tingkat keandalan komponen diatas 70% (Firdaus & Diah, 2021). Pada mesin flying shear dengan metode *Age Replacement*. Penjadwalan penggantian pencegahan komponen blade tingkat keandalan komponen sebesar 89,87%, dan terdapat penghematan biaya *downtime* terdapat penghematan sebesar 12,45% (Haririn, 2019). Kerusakan pada mesin autoclave-035, yang disebabkan karena belum optimalnya sistem perawatan yang ada. Dengan Analisa *Age Replacement*, komponen drain chamber yang optimal adalah 16 tahun (Nuranto et al., 2022). Pada pemeliharaan peralatan transportasi dengan metode *Age Replacement*. Hasil penelitian waktu penggantian optimal yang diperoleh dari kebijakan 2 lebih tinggi daripada waktu penggantian optimal yang diperoleh dari kebijakan 1 (Waziri & Ibrahim, 2020). Pada penjadwalan *preventive maintenance* komponen *air supply hose* (ASH) dengan metode *Age Replacement*. Hasil penelitian menunjukkan interval waktu penggantian optimal yang diusulkan untuk ASH adalah 20 hari dimana 19 penggantian komponen dijadwalkan dalam 1 tahun (Bangun et al., 2022).

Interval waktu pemeliharaan mesin induksi yang sering mengalami kerusakan dengan metode *Age Replacement*. Dari hasil penelitian diketahui bahwa jenis kegiatan pemeliharaan dan interval waktu penggantian bersifat sekuensial yaitu untuk komponen SCR jenis kegiatan yang diterapkan adalah kombinasi tugas terjadwal (*scheduled on conditional task* dan *scheduled* membuang tugas) dengan selang waktu 294 jam, untuk komponen kawat niklin dan kabel anaconda (Kusuma dkk, 2021). Pada mesin pengisi yang mempunyai komponen kritis yaitu bantalan R2, dengan biaya perawatan yang mahal. Dengan Analisa

metode *Age Replacement*, dapat meminimalisasi total biaya perawatan yang diberikan pada bearing R2 pada titik 60 hari (Mustofa et al., 2018).

Dari hasil penelitian terdahulu tersebut dapat disimpulkan bahwasanya metode dapat menjadwalkan penggantian komponen berdasarkan umur komponen yang optimal. Adapun tujuan penelitian menentukan interval waktu perawatan yang optimal untuk melakukan penggantian komponen mesin Sterilizer dengan metode *Age Replacement*. Serta menentukan biaya penggantian komponen mesin Sterilizer yang diusulkan dengan metode *Age Replacement*.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian dalam penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan korelasi. Jenis data dalam penelitian ini yaitu data sekunder. Data sekunder yang digunakan berupa data interval waktu kerusakan komponen mesin sterilizer dan biaya-biaya yang dikeluarkan untuk penggantian komponen tersebut. Pengolahan data yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah menentukan interval waktu perawatan yang optimal, dengan langkah-langkah: penentuan komponen kritis, menghitung pola distribusi kerusakan komponen, estimasi parameter, menghitung nilai MTTF, dan menghitung interval waktu penggantian pencegahan. Selanjutnya menghitung biaya penggantian komponen yang diusulkan, dengan langkah-langkah: menghitung ongkos penggantian saat ini, dan kemudian dilakukan penghitungan biaya usulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengolahan data terdapat beberapa langkah pengolahan yang harus dilakukan yaitu sebagai berikut:

Interval Waktu Perawatan yang Optimal

Langkah-langkah menentukan interval waktu perawatan yang optimal pada penggantian komponen mesin Sterilizer dengan metode *Age Replacement* yaitu:

1. Menghitung pola distribusi kerusakan komponen kritis
 - a. Komponen *doorpacking*

Berikut ini adalah perhitungan untuk mendapatkan pola distribusi kerusakan komponen *doorpacking*:

1) Distribusi normal

Berikut hasil perhitungan *index of fit* pada distribusi normal:

$$x_i = t_i = 53$$

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{3+0,4} = \frac{0,7}{3,4} = 0,2059$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}(F(t_i)) \text{ diperoleh nilai } Y_1 = \Phi^{-1}(0,2059) = -0,8207$$

Perhitungan *index of fit*:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \right]}} = \frac{\frac{1}{3} (60,7318)}{\sqrt{976,8899 \times \sqrt{0,4490}}} = \frac{20,2439}{31,25524 \times 0,670075} = 0,9666$$

2) Distribusi lognormal

Berikut hasil perhitungan *index of fit* pada distribusi lognormal:

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$= \ln(53) = 3,9703$$

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{3+0,4} = \frac{0,7}{3,4} = 0,2059$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}(F(t_i)) \text{ diperoleh nilai } Y_1 = \Phi^{-1}(0,2059) = -0,8207$$

Index of fit:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \right]}} = \frac{\frac{1}{3} (60,7318)}{\sqrt{9289,0191 \times \sqrt{0,4490}}} = \frac{20,2439}{96,37955748 \times 0,670075} = 0,3135$$

3) Distribusi eksponensial

Berikut hasil perhitungan *index of fit* pada distribusi eksponensial:

$$x_i = t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{3+0,4} = \frac{0,7}{3,4} = 0,2059$$

$$Y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) = \ln\left(\frac{1}{1-0,2059}\right) = \ln\left(\frac{1}{0,7941}\right) = 1,2593$$

Index of fit:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \right]}} = \frac{\frac{1}{3} (121,1131)}{\sqrt{976,8899 \times \sqrt{2,4055}}} = \frac{40,3710}{31,25523796 \times 1,550967} = 0,8328$$

4) Distribusi weibull

Berikut dapat dilihat perhitungan *index of fit* pada distribusi weibull:

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$= \ln(53) = 3,9703$$

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{3+0,4} = \frac{0,7}{3,4} = 0,2059$$

$$y_i = \ln \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) = \ln \ln\left(\frac{1}{1-0,2059}\right) = \ln \ln\left(\frac{1}{0,7941}\right) = \ln 1,2593 = 0,2305$$

Index of fit:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \right]}} = \frac{\frac{1}{3} (47,5306)}{\sqrt{9289,0191 \times \sqrt{0,3138}}} = \frac{15,8435}{96,37955748 \times 0,560179}$$

$$= 0,2935$$

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit Komponen Doorpacking*

No	Distribusi	<i>Index of Fit</i>	Terpilih
1	Normal	0,9660	Normal
2	Lognormal	0,3135	
3	Eksponensial	0,8328	
4	Weibull	0,2935	

Dari tabel diatas distribusi terpilih yaitu distribusi normal. Karena distribusi normal mempunyai nilai *index of fit* paling tinggi.

2. Perhitungan estimasi parameter

Parameter distribusi kerusakan dihitung berdasarkan pola distribusi yang sesuai dengan distribusi kerusakan.

a. Komponen *doorpacking*

Pola distribusi kerusakan komponen *doorpacking* berdistribusi normal. Berdasarkan tabel 4.3 dapat dihitung parameter distribusi kerusakan:

$$\begin{aligned} \mu &= \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \\ &= \frac{287}{3} \\ &= 95,7 \\ \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}} \\ &= \sqrt{\frac{(53+95,7)^2 + (107+95,7)^2 + (127+95,7)^2}{3}} \\ &= 31,255 \end{aligned}$$

b. Komponen bearing

Pola distribusi kerusakan komponen bearing berdistribusi lognormal. Berdasarkan tabel 4.3 dapat dihitung parameter distribusi kerusakan:

$$\begin{aligned} \mu &= \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \\ &= \frac{23,810625}{6} \\ &= 3,9684 \\ \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} \\ &= \sqrt{\frac{(32+3,9684)^2 + (32+3,9684)^2 + (52+3,9684)^2 + (63+3,9684)^2 + (66+3,9684)^2 + (81+3,9684)^2}{6}} \\ &= 22,932 \end{aligned}$$

3. Menghitung nilai *mean time to failure* (MTTF)

Nilai MTTF dihitung berdasarkan pola distribusi kerusakan dan parameter distribusi setiap komponen kritis:

a. Komponen *doorpacking*

Parameter distribusi normal untuk komponen *doorpacking* yaitu $\mu = 95,7$ dan $\sigma = 31,255$ sehingga:
MTTF = $\mu = 95,7$ hari

b. Komponen bearing

Parameter distribusi lognormal untuk komponen bearing yaitu $\mu = 3,9684$ dan $\sigma = 22,932$ sehingga:

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \\ &= \exp\left(3,9684 + \frac{(22,932)^2}{2}\right) \\ &= \exp(226,906712) \\ &= 35,021 \text{ hari} \end{aligned}$$

4. Menghitung interval waktu penggantian pencegahan

Interval waktu penggantian pencegahan (tp) dihitung untuk setiap komponen kritis mesin. Perhitungan dilakukan berdasarkan pola distribusi yang telah terpilih untuk masing-masing komponen.

a. Komponen *doorpacking*

Data yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan interval waktu penggantian adalah:

1) Data waktu berdistribusi normal

Parameter:
MTTF = 95,7 hari
 $\mu = 95,7$ dan $\sigma = 31,255$

2) Waktu rata-rata penggantian kerusakan (Tf) adalah 1 jam, sedangkan waktu rata-rata penggantian pencegahan (Tp) adalah 20 menit = 0,3333 jam

$$T_f = \frac{1 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari}} = 0,125 \text{ hari}$$

$$T_p = \frac{0,3333 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari}} = 0,04167 \text{ hari}$$

3) Biaya penggantian terencana/penggantian pencegahan (cp)

Jumlah tenaga kerja bagian maintenance 2 orang

Biaya tenaga kerja per bulan Rp 3.500.000.

Tenaga kerja per hari Rp 3.500.000/26 hari kerja = Rp 134.615

Total biaya tenaga kerja/hari

$$= 2 \times \text{Rp } 134.615 = \text{Rp } 269.230$$

Cp = biaya tenaga kerja + biaya komponen + biaya pemasangan

$$= \text{Rp } 269.230 + \text{Rp } 3.400.000 + \text{Rp } 80.000$$

$$= \text{Rp } 3.749.230$$

4) Biaya penggantian tidak terencana/penggantian kerusakan (cf)

$$\text{Jumlah output/hari} = 215.000 \text{ kg}$$

$$\text{Harga/kg} = \text{Rp } 10.571$$

$$\text{Opportunity cost} = 215.000 \text{ kg} \times \text{Rp } 10.571$$

$$= \text{Rp } 2.272.765.000$$

Karena kerusakan komponen *doorpacking* mengakibatkan proses produksi berhenti selama 1 jam maka *opportunity cost* menjadi:

$$\text{Biaya produksi} = 1/8 \text{ jam per hari} \times \text{Rp } 2.272.765.000$$

$$= \text{Rp } 2.840.956$$

Cf = biaya tenaga kerja + biaya komponen + biaya kehilangan produksi + biaya pemasangan

$$= \text{Rp } 269.230 + \text{Rp } 3.400.000 + \text{Rp } 2.840.956 + \text{Rp } 80.000$$

$$= \text{Rp } 6.590.186$$

Menghitung interval waktu penggantian pencegahan:

$$\text{a. } F(tp) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{1-95,7}{31,255}\right) = 3,0299$$

$$\text{b. } R(tp) = 1 - F(tp) = 1 - 3,0299 = 2,0299$$

$$\text{c. } (tp + Tp) \times R(tp) = (1 + 0,04167) \times 2,0299 = 2,11448$$

$$\text{d. } M_{(tp)} + Tf \times (1 - R_{(tp)}) = \left(\frac{MTTF}{1 - R_{(tp)}} + Tf\right) \times (1 - R_{(tp)})$$

$$= \left(\frac{95,7}{3,0299} + 0,125\right) = 31,7 \text{ (31 hari)}$$

$$C(tp) =$$

$$\frac{(Cp \times R(tp)) + (Cf \times [1 - R(tp)])}{((tp + Tp) \times R(tp)) + ((M(tp) + Tf) \times [1 - R(tp)])}$$

$$= \frac{(3.749.230 \times 2.0299) + (6.590.186 \times 3.0299)}{(2.11448) + (31.7)}$$

$$= \frac{7.610.561 + 19.967.604}{33.81448}$$

$$= \text{Rp } 815.572,65$$

Dari hasil perhitungan diperoleh, interval waktu pencegahan komponen *doorpacking* dengan metode *age replacement* yaitu pada hari ke 31 dengan biaya penggantian sebesar Rp 815.572,65/sekali penggantian.

Biaya Penggantian Komponen yang Diusulkan

Berikut perhitungan biaya penggantian komponen yang diusulkan:

1. Komponen *doorpacking*

a. *Failure cost* untuk 1 kali kerusakan:

$$\begin{aligned} \text{Failure cost} &= \text{biaya tenaga kerja} + \text{biaya komponen} + \text{opportunity cost} + \text{biaya pemasangan} \\ &= \text{Rp } 269.230 + \text{Rp } 3.400.000 + \text{Rp } 2.840.956 + 80.000 \\ &= \text{Rp } 6.590.186 \end{aligned}$$

b. Frekuensi kerusakan

Frekuensi kerusakan selama periode 2022 yaitu 3 kali

c. Ongkos penggantian saat ini:

$$= 3 \times \text{Rp } 6.590.186$$

$$= \text{Rp } 19.770.558$$

d. Biaya penggantian yang diusulkan:

Ekpetasi biaya penggantian untuk 1 kali kerusakan sebesar Rp 5.000.000

Frekuensi penggantian

$$\frac{\text{Jumlah hari kerja}}{\text{Selang waktu penggantian}}$$

$$= \frac{365}{31}$$

$$= 12 \text{ kali}$$

Ongkos penggantian usulan:

$$= 12 \times \text{Rp } 5.000.000$$

$$= \text{Rp } 60.000.000$$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh ongkos penggantian usulan komponen *doorpacking* sebesar Rp 60.000.000 untuk 12 kali penggantian. Untuk 1 kali kerusakan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 60.000.000/12 kali = Rp 5.000.000. Untuk 3 kali kerusakan biaya penggantian dapat dihitung:

$$= 3 \times \text{Rp } 5.000.000$$

$$= \text{Rp } 15.000.000$$

Biaya untuk 3 kali kerusakan sebesar Rp 15.000.000, berikut perbandingan biaya penggantian dari perusahaan dan usulan dengan metode *age replacement* dengan 3 kali kerusakan:

Tabel 2. Perbandingan Biaya Penggantian

Komponen <i>Doorpacking</i>	
Biaya Perusahaan	Biaya Usulan
Rp 19.770.558	Rp 15.000.000

Dari biaya yang diusulkan menghemat sebesar Rp 4.770.558 dari biaya penggantian real yang dikeluarkan perusahaan.

2. Komponen bearing

a. *Failure cost* untuk 1 kali kerusakan:

$$\begin{aligned} \text{Failure cost} &= \text{biaya tenaga kerja} \\ &\quad + \text{biaya komponen} + \\ &\quad \text{opportunity cost} + \\ &\quad \text{biaya pemasangan} \\ &= \text{Rp } 269.230 + \text{Rp } \\ &\quad 650.000 + \text{Rp } \\ &\quad 2.840.956 + \text{Rp } \\ &\quad 80.000 \\ &= \text{Rp } 3.840.186 \end{aligned}$$

b. Frekuensi kerusakan

Frekuensi kerusakan selama periode 2022 yaitu 6 kali

c. Ongkos penggantian saat ini:

$$\begin{aligned} &= 6 \times \text{Rp } 3.840.186 \\ &= \text{Rp } 23.041.116 \end{aligned}$$

d. Biaya penggantian yang diusulkan:

Ekspetasi biaya penggantian untuk 1 kali kerusakan sebesar Rp 3.000.000
 Frekuensi penggantian

$$\begin{aligned} &\frac{\text{Jumlah hari kerja}}{\text{Selang waktu penggantian}} \\ &= \frac{365}{35} \\ &= 11 \text{ kali} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Ongkos penggantian usulan} \\ &= 11 \times \text{Rp } 3.000.000 \\ &= \text{Rp } 33.000.000 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh ongkos penggantian usulan komponen bearing sebesar Rp 33.000.000 untuk 11 kali penggantian. Untuk 1 kali kerusakan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 33.000.000/11 kali = Rp 3.000.000. Untuk 6 kali kerusakan biaya penggantian dapat dihitung:

$$\begin{aligned} &= 6 \times \text{Rp } 3.000.000 \\ &= \text{Rp } 18.000.000 \end{aligned}$$

Biaya untuk 6 kali kerusakan sebesar Rp 18.000.000, berikut perbandingan biaya penggantian dari perusahaan dan usulan dengan metode *age replacement* dengan 6 kali kerusakan:

Tabel 2. Perbandingan Biaya Penggantian

Komponen Bearing	
Biaya Perusahaan	Biaya Usulan
Rp 23.041.116	Rp 18.000.000

Dari biaya yang diusulkan menghemat sebesar Rp 5.041.116 dari biaya penggantian real yang dikeluarkan perusahaan.

KESIMPULAN

Interval waktu perawatan yang optimal untuk melakukan penggantian komponen *doorpacking* yaitu pada hari ke 31 dengan biaya penggantian sebesar Rp 815.572,6 untuk sekali penggantian. Sedangkan interval waktu perawatan yang optimal untuk melakukan penggantian komponen bearing yaitu pada hari ke 35 dengan biaya penggantian sebesar Rp 380.346 untuk sekali penggantian. Biaya penggantian komponen *doorpacking* yang diusulkan sebesar Rp 15.000.000 untuk 3 kali penggantian dan menghemat Rp 4.770.558 dari biaya penggantian real yang dikeluarkan perusahaan. Sedangkan biaya penggantian komponen bearing yang diusulkan sebesar Rp 18.000.000 untuk 6 kali penggantian, dan menghemat sebesar Rp 5.041.116 dari biaya penggantian real yang dikeluarkan perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiawan, E.A., Muhammad, Z.F., & Dzakiyah, W. (2021). Usulan Preventive Maintenance pada Mesin Hanger Shot Blast Kazo dengan Menggunakan Metode Age Replacement Di PT Barata Indonesia. *Jurnal Manajemen dan Teknik Industri*, 12 (1), 73-84.
- Alhadi, G.P., Din, A.A.R., & Junaidi. (2021). Penentuan Interval Waktu Maintenance Forklift Terhadap Komponen Kritis Berdasarkan Data Kerusakan Mesin Menggunakan Metode Preventive Age Replacement. *Jurnal Ilmiah Teknologi*, 9 (1), 1-7.
- Ardiansyah, M.F., & Endang P.W. (2021). Penjadwalan Preventive Maintenance Pada Mesin Mixing Dalam Produksi Brick Batu Tahan Api dengan Menggunakan Metode Age Replacement Pada PT. Loka Refractories Wira Jatim. *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, 2 (1), 144-155.
- Bangun, C.S., Abdul, J., & Derajat, A. (2022). Preventive Maintenance Scheduling with Age Replacement Method at CNG Station. *Journal Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, 4 (2), 153-163.

- Dohi, T., & Hiroyuki, O. (2019). Failure-Correlated Opportunity-based Age Replacement Models. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 27 (2), 88-101.
- Emovon, I., & Chinedum, O.M. (2018). Machinery/Service System Scheduled Replacement time determination: A combine Weighted Aggregated Sum Product Assessment, Additive Ratio Assessment and Age Replacement Model approach. *International Journal of Integrated Engineering*, 10 (1), 169-175.
- Fikri, N.A., & Endang, P.W. (2020). Penentuan Interval Perawatan Mesin Air Separation Plant Secara Preventive Downtime Maintenance dengan Menggunakan Metode Age Replacement. *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, 1 (3), 153-164.
- Firdaus, M., & Diah, W. (2021). Preventive Maintenance Mesin Printing Rotogravure Pada Komponen Press Roll dengan Metode Age Replacement Sebagai Pengoptimalan Biaya Downtime di PT. X. *Jurnal Teknik Industri*, 9 (2), 63-68.
- Fitriani, L.E., & Moch, T.S. (2021). Usulan Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Menggunakan Metode Age Replacement di PT. XYZ. *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, 2 (2), 72-83.
- Haririn, S.R. (2019). Perencanaan Perawatan Sebagai Pengoptimalan Biaya Downtime pada Mesin Flying Shear Menggunakan Metode Age Replacement di Pt. Hanil Jaya Steel. *Jurnal JPTM*, 8 (1), 41-47.
- Kusuma, T.Y.T., & Muhammad, K.A. (2021). Planning Activities and Maintenance Time Intervals of Induction Machines Using the Reliability Centered Maintenance (RCM) II and Age Replacement Method Case Study: CV. Sumber Baja Perkasa. *Journal Advances in Engineering Research*, 2 (11), 178-185.
- Ma'ruf, F., & Said, S.D. (2021). Penentuan Interval Pergantian Komponen Mesin Bubut Menggunakan Metode Age Replacement. *Jurnal Teknovasi*, 8 (1), 70-82.
- Mustofa, F.H., Ria, F.U., & Kusmaningrum, S. (2018). Filling Machine Preventive Maintenance Using Age Replacement Method in PT. Lucas Djaja. *Journal Technical Industrial*, 1 (5), 1-6.
- Muzakki, A.A. (2021). Analisis Preventive Maintenance Mesin Am Korin dengan Age Replacement di PT. Nugraha Indah Citarasa Indonesia. *Jurnal Muara Sains, Teknologi*, 5 (2), 325-330.
- Nuranto, R.A.P., Fransiskus, T.D.A., & Endang, B. (2022). Component Replacement Interval Policy based on Downtime Minimization Using Age Replacement Method: A Case Study of Autoclave - 035 Machine. *Journal Ilmiah*, 8 (15), 630-648.
- Rachman, T., Darmiola, N.W., & Derajat, M.A. (2022). Penentuan Interval Waktu Penggantian dan Perbaikan Komponen Kritis Mesin Bubut Type SS-850 di PT. Hamdan Jaya Makmur dengan Metode Age Replacement. *Jurnal Metris*, 23 (2), 52-61.
- Sembiring, N., Tambunan, M., & Siahaan. (2019). Determination Optimum Time of Replacement with Age Replacement Model. *Journal Materials Science and Engineering*, 5 (8), 97-108.
- Sukendar, I., Akhmad, S., & Muhammad, R.P. (2020). Analysis of the Age Replacement Method to Reduce Tool Downtime. *International Journal of Education, Science, Technology and Engineering*, 8 (10), 88-97.
- Syahfoeddin, T., & Indra, Y.R. (2018). Implementation of Preventive Maintenance in Production Machine with Age Replacement Model in PT XYZ. *International Journal of Integrated Engineering*, 1 (2), 97-107.
- Waziri, T.A., & Ibrahim, Y. (2020). On Age Replacement Policy of a System Involving Minimal Repair. *Jurnal Metris*, 4 (59), 54-62.