

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/336512760>

# OPTIMASI BIAYA PENJADWALAN PENGGANTIAN KOMPONEN SERTA PREVENTIVE MAINTENANCE MENGGUNAKAN MIXED INTEGER NONLINEAR PROGRAMMING DAN SIMULASI MONTE CARLO PADA PT. XYZ

Conference Paper · April 2018

CITATIONS

0

READS

365

3 authors, including:



[Carla Doaly](#)

Tarumanagara University

13 PUBLICATIONS 3 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Dadang Surjasa](#)

Universitas Trisakti

8 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Decision Support System [View project](#)

## OPTIMASI BIAYA PENJADWALAN PENGGANTIAN KOMPONEN SERTA *PREVENTIVE MAINTENANCE* MENGGUNAKAN *MIXED INTEGER NONLINEAR PROGRAMMING* DAN SIMULASI MONTE CARLO PADA PT. XYZ

Kevin Hugo<sup>1)</sup>, Carla Doaly<sup>1)</sup>, Dadang Surjasa<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Industri Universitas Tarumanagara

<sup>2)</sup>Program Studi Teknik Industri Universitas Trisakti

e-mail: kevin\_hugo25@yahoo.com

### Abstrak

Sebagai perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur, PT.XYZ menerapkan metode *preventive maintenance* dalam kegiatan produksinya. Namun penggantian beberapa komponen tidak terjadwal secara baik, ditambah dengan faktor keuangan yang kurang dipertimbangkan sehingga pihak *management* tidak dapat menentukan pengeluaran untuk *stock* komponen secara pasti, sehingga menyebabkan kegiatan *preventive maintenance* yang dilakukan kurang optimal. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah *Mixed Integer Non Linear Programming* menggunakan model optimasi Kamran yang akan dibandingkan dengan perhitungan Simulasi Monte Carlo dalam menentukan laju biaya perawatan terendah dan penjadwalan yang optimal pada komponen Bearing. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Model optimasi Kamran ini dapat menghasilkan penjadwalan optimal dengan biaya perawatan minimum sebesar Rp 304.629,00/bulan dengan reliabilitas sebesar 90% dan interval penjadwalan selama 24 bulan.

**Kata kunci:** *Preventive Maintenance, Mixed Integer Non Linear Programming, Model Optimasi Kamran, Simulasi Monte Carlo.*

### PENDAHULUAN

PT.XYZ merupakan perusahaan yang memproduksi sarung tangan lateks *examination/disposable*, dalam melakukan kegiatan produksinya, PT.XYZ menggunakan mesin yang besar dengan sub-mesin yang cukup banyak. Oleh karena penggunaan mesin tersebut, dalam melakukan pemeliharaan mesin, divisi *maintenance* PT.XYZ menerapkan metode *preventive maintenance* dimana pemeliharaan mesin dilakukan secara rutin dan berkala yang dilakukan secara keseluruhan demi menjaga mesin tetap dalam kondisi prima dan untuk melakukan penanganan secara cepat terkait kerusakan pada mesin.

Namun untuk beberapa penggantian komponen tidak terjadwal secara baik dan ditambah dengan faktor keuangan yang kurang dipertimbangkan sehingga pihak *management* tidak dapat menentukan pengeluaran untuk *stock* komponen secara pasti pada setiap periode untuk kegiatan *maintenance* yang dilakukan, sehingga menyebabkan kegiatan *preventive maintenance* kurang optimal yang diakibatkan dengan munculnya beberapa kerusakan yang tidak dapat dilakukan penggantian karena PO komponen yang mendadak. Untuk itu perlu dilakukannya penjadwalan optimal untuk PT.XYZ,

Beberapa penelitian pada bidang optimasi penjadwalan telah dilakukan. Moghaddam (2010) menggunakan model *nonlinear mixed-integer programming* untuk menjadwalkan *preventive maintenance* dan *replacement* pada sistem yang multi-komponen yang dapat meminimumkan biaya total pemeliharaan atau memaksimalkan reliabilitas mesin [1]. Fithri (2010) melakukan optimasi *preventive maintenance* dan penjadwalan penggantian komponen mesin kompresor menggunakan *mixed integer nonlinear programming* dari Kamran yang dapat meminimumkan biaya total atau memaksimalkan reliabilitas mesin tersebut [2]. Faishal (2016) menggunakan *mixed integer non linear programming* untuk penjadwalan *preventive maintenance* pada multi-subsistem mesin *cyril bath* [3].

Oleh karena itu untuk penjadwalan *maintenance* yang optimal dan diharapkan oleh PT. XYZ, pada penelitian ini diusulkan perancangan penjadwalan optimal penggantian komponen dan penjadwalan *preventive maintenance* mesin dengan *mixed integer nonlinear programming* dengan model Kamran yang akan dibandingkan dengan simulasi Monte Carlo pada PT. XYZ dalam menentukan laju biaya perawatan terendah.

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Preventive maintenance*

*Preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu proses produksi. Jadi, semua fasilitas produksi yang mendapatkan perawatan (*preventive maintenance*) akan terjamin kontinuitas kerjanya dan selalu diusahakan dalam kondisi atau keadaan yang siap dipergunakan untuk setiap operasi atau proses produksi pada setiap saat [4].

### Distibusi Kerusakan

Distribusi dalam menghitung kerusakan aset mesin dan komponen dilakukan untuk mengetahui distribusi yang paling mendasari data kerusakan pada suatu aset mesin dan komponen, sehingga diketahui waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan yang sesuai berdasarkan distribusi kerusakan tersebut [5].

### Kehandalan

*Probabilistic reliability* merupakan probabilitas sebuah komponen atau sistem untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan untuk suatu periode waktu tertentu ketika digunakan di bawah kondisi operasional tertentu [4].

### Identifikasi Keandalan dengan *Preventive Maintenance*

Model keandalan berikut mengansumsikan sistem kembali pada kondisi baru setelah dilakukan pemeliharaan pencegahan (*Preventive Maintenance*) [5].

Keandalan pada saat  $t$  dinyatakan sebagai berikut:

$$R_m(t) = R(t) \tag{1}$$

untuk,

$$0 \leq t < T$$

$$R_m(t) = R(T) \cdot R(t-T) \tag{2}$$

untuk,

$$T \leq t < 2T$$

Keterangan:

$T$  = Interval waktu penggantian pencegahan kerusakan

$R_m(t)$  = Keandalan (*Reliability*) dari sistem dengan *Preventive Maintenance*

$R(t)$  = Keandalan (*Reliability*) dari sistem tanpa *Preventive Maintenance*

$R(T)$  = Peluang dari keandalan hingga *Preventive Maintenance* pertama

$R(t-T)$  = Peluang dari keandalan antar waktu  $(t-T)$  saat sistem dikembalikan pada kondisi awal pada saat  $T$ .

Secara umum persamaannya adalah sebagai berikut:

$$R_m(t) = R(T)^n \cdot R(t-nT) \tag{3}$$

untuk,

$$nT \leq t \leq (n+1)T$$

dimana,

$$n = 1, 2, 3, \dots, \text{dst}$$

Keterangan:

$n$  = Jumlah perawatan

$R_m(t)$  = Keandalan (*Reliability*) dari sistem dengan *Preventive Maintenance*

$R(T)^n$  = Probabilitas keandalan hingga  $n$  selang waktu perawatan

$R(t-nT)$  = Probabilitas keandalan untuk waktu  $(t-nT)$  dari tindakan *Preventive Maintenance* yang terakhir

### **Failure Cost and Preventive Cost**

*Preventive cost* (biaya perawatan) merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang sudah dijadwalkan. Sedangkan *failure cost* (biaya kerusakan) merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan di luar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi terhenti ketika waktu produksi sedang berjalan. Diperlukan pola perawatan/*maintenance* yang optimal sehingga antara biaya perawatan dan biaya kerusakan bisa seimbang pada *total cost* yang paling minimal [6].

#### 1. Failure Cost

$$Tc(tf) = \frac{Cf}{Tf} \quad (4)$$

dimana,

$Cf$  = Biaya *failure*

$Tf$  = Nilai MTTF

#### 2. Preventive Cost

$$Tc(tp) = \frac{\{Cp.(Rtp)\} + \{Cf.(1-(Rtp))\}}{\{tp.(Rtp)\} + \{tf.(1-(Rtp))\}} \quad (5)$$

dimana,

$$Kf = \frac{\text{Jam Kerja/Bulan}}{MTTF}$$

$Cp$  = Biaya Teknis x  $Tp$

$Cf$  = Biaya Teknisi x Biaya Kehilangan Produksi x Biaya komponen) x  $Tf$

$Tf$  = *Mean Time to Failure*

$Tp$  = Interval waktu *Preventive Maintenance*

$R(Tp)$  = Peluang keandalan (*Reliability*) yang diharapkan.

### **Model Optimasi Mixed Integer Linear Programming Model Kamran**

*Mixed Integer Nonlinear Programming* (MINLP) adalah suatu bentuk pemrograman matematika dengan variabel kontinu, diskrit dan nonlinier dengan fungsi tujuan serta kendala yang umumnya digunakan untuk optimasi.

Input dalam penelitian ini berupa notasi yang digunakan antara lain:

$T$  = perencanaan waktu pemeliharaan

$J$  = interval waktu

$\lambda$  = parameter (skala) sistem

$\beta$  = bentuk parameter sistem

$\alpha$  = improvement factor dari sistem

$Cf$  = biaya kerusakan yang tak terduga

$Cm$  = biaya maintenance

$Cr$  = biaya perbaikan

$RR$  = required reliability sistem

$GB$  = given budget dari sistem

$X_i$  = umur efektif dari sistem dimulai pada waktu ke  $i$   
 $X'_i$  = umur efektif dari sistem dimulai diakhir waktu ke  $i$   
 $m_j \begin{cases} 1 & \text{Jika komponen pada periode ke } j \text{ dimaintain} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$   
 $r_j \begin{cases} 1 & \text{Jika komponen pada periode ke } j \text{ direplace} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$

Pada *mixed integer nonlinear programming* model Kamran ini memiliki dua model optimasi berdasarkan fungsi objektif dan kendalanya dua model tersebut yaitu:

#### Model 1

Memiliki fungsi objektif berupa meminimumkan biaya dengan memperhatikan fungsi kendala berupa reliabilitas. Kendala pertama merupakan usia awal sistem pada awal horison perencanaan. Kendala kedua dan ketiga menghitung usia efektif pada sistem didasarkan pada kegiatan *preventive maintenance* secara rekursif. Kendala terakhir yaitu mencegah terjadinya pemeliharaan simultan dan tindakan penggantian pada sistem. Kendala utama model yaitu untuk memastikan bahwa kehandalan pada sistem lebih besar atau sama dengan reliabilitas yang dibutuhkan. Oleh karena itu, dua kendala terakhir sebagai batasan variabel keputusan untuk menjadi biner dan positif.

$$\begin{aligned}
 \text{Min Total Cost} &= \sum_{j=1}^T ((F \cdot \lambda (X'_j)^\beta - (X_j)^\beta) + M \cdot m_j + R \cdot r_j) \\
 \text{s. t:} \\
 X_1 &= 0 \\
 X_j &= (1 - m_{j-1})(1 - r_{j-1})X'_{j-1} + m_{j-1}(\alpha_j \cdot X'_{j-1}) \quad j = 2 \dots, T \\
 X'_j &= X_j + \frac{T}{j} \quad j = 1 \dots, T \\
 \prod_{j=1}^T e^{[\lambda((X'_j)^\beta - (X_j)^\beta)]} &\geq RR \\
 m_j, r_j &= 0 \text{ or } 1 \quad j = 1 \dots, T \\
 X_j, X'_j &\geq 0 \quad j = 1 \dots, T
 \end{aligned} \tag{6}$$

#### Model 2

Memiliki fungsi objektif berupa memaksimumkan reliabilitas dengan memperhatikan fungsi kendala berupa biaya yang diajukan perusahaan.

$$\begin{aligned}
 \text{Max Reliability} &= \prod_{j=1}^T e^{[\lambda((X'_j)^\beta - (X_j)^\beta)]} \geq RR \\
 \text{s. t:} \\
 X_1 &= 0 \\
 X_j &= (1 - m_{j-1})(1 - r_{j-1})X'_{j-1} + m_{j-1}(\alpha_j \cdot X'_{j-1}) \quad j = 2 \dots, T
 \end{aligned}$$

$$X'_j = X_j + \frac{T}{j} j = 1 \dots, T \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^T ((F \cdot \lambda (X'_j)^\beta - (X_j)^\beta) + M \cdot m_j + R \cdot r_j) \leq GB$$

$$m_j, r_j = 0 \text{ or } 1 \quad j = 1 \dots, T$$

$$X_j, X'_j \geq 0 \quad j = 1 \dots, T$$

Kedua model tersebut dipengaruhi oleh tiga *improvement factor* antara lain:

Rasio perbedaan biaya penggantian dan pemeliharaan yang konstan selama horizon perencanaan

$$\alpha_{1j} = \Phi_1(R, M) = \left(\frac{R-M}{R}\right) \quad (8)$$

Rasio usai efektif pada akhir periode sebelumnya

$$\alpha_{2j} = \Phi_2(X'_{j-1}) = \left(\frac{X'_{j-1}}{X'_{j-1}+1}\right) \text{ for } j = 1, \dots, T \quad (9)$$

Gabungkan antara *improvement factor* 1 dan 2

$$\alpha_{3j} = \Phi_3(R, M, X'_{j-1}) = \left(\frac{R-M}{R}\right) \left(\frac{X'_{j-1}}{X'_{j-1}+1}\right) \text{ for } j = 1, \dots, T \quad (10)$$

Sebagai langkah terakhir Model Kamran diselesaikan dengan menggunakan software LINGO 11.0. Software LINGO 11.0 [1].

### Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah alat yang berguna untuk memodelkan fenomena ketidakpastian pada suatu input dan dapat diaplikasikan untuk banyak kasus seperti keandalan, ketersediaan, peramalan logistik, analisis risiko, analisis perbaikan sistem, dll.

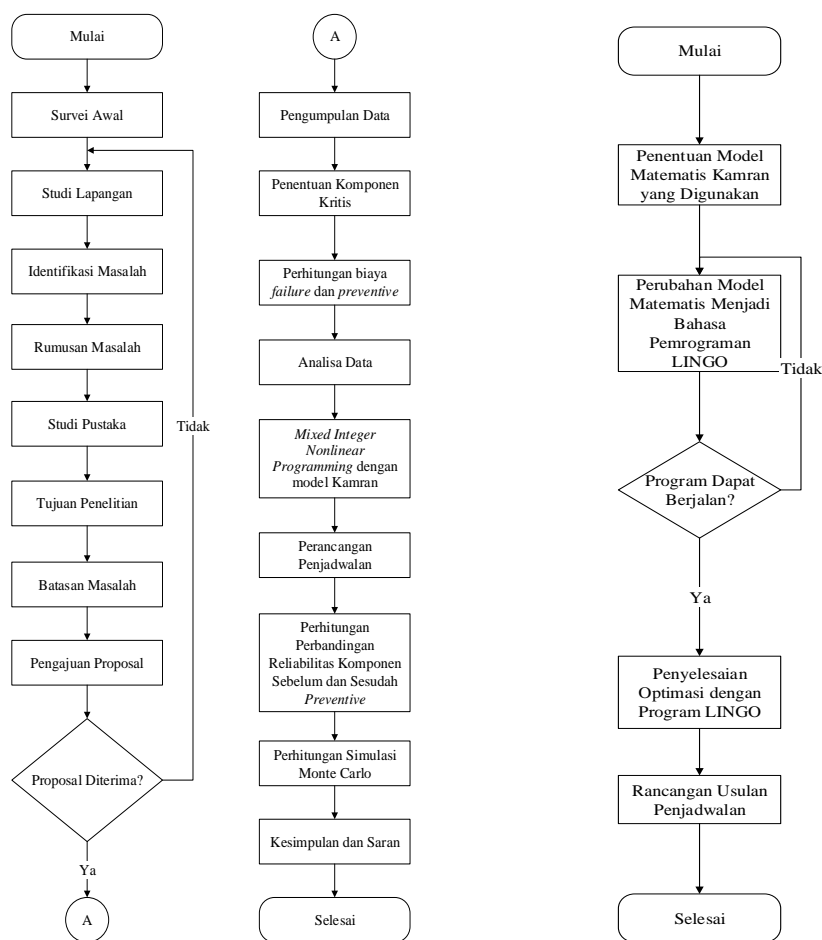
Kunci dari simulasi Monte Carlo adalah penggunaan bilangan acak yang digunakan untuk memperlihatkan ketidakpastian atas sesuatu yang sedang diamati. Pembangkitan bilangan acak untuk data TTF dan TTR komponen kritis memiliki tujuan untuk menghasilkan nilai-nilai yang mempunyai distribusi setara dengan populasi data TTF dan TTR komponen kritis mesin yang sebenarnya.

Semakin banyaknya jumlah bilangan acak yang dibangkitkan maka tingkat kesalahan atas hasil yang diperoleh akan semakin kecil, maka untuk meningkatkan presisi atas hasil yang diperoleh dapat meningkatkan jumlah bilangan acak yang dibangkitkan (n), pilihan jumlah bilangan acak yang baik seringkali adalah  $n = 500$  [7].

## METODOLOGI PENELITIAN

### Flowchart Penelitian

Flowchart penelitian ini dibuat untuk menggambarkan langkah-langkah yang tepat untuk melakukan penelitian. Berikut merupakan Flowchart penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Metodologi Penelitian

### Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian tahap pertama dengan merekapitulasi data-data frekuensi kerusakan dan menyajikan data frekuensi kerusakan dengan diagram pareto dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kekritisan komponen.

Tahap berikutnya dilakukan perhitungan waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan komponen yang bersifat perbaikan pada tahun 2015 dan 2016. Melakukan uji distribusi dengan *index of fit* dimulai dengan melakukan penyesuaian *index of fit Time to Failure (TTF)* dan *Time to Repair (TTR)* berdasarkan waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan komponen kritis untuk mengetahui jenis distribusi yang tepat berdasarkan data historis. Uji hipotesis distribusi pada aset mesin atau komponen kritis dengan menggunakan *Software Minitab16*. Pengujian Anderson Darling Test dilakukan untuk menguji kecocokan atau kesesuaian antara distribusi hasil pengamatan (Anderson Darling Test) dengan tingkat kepercayaan 95% dan kesalahan 5% (= 0,05). Penentuan distribusi yang paling mendasari data dalam pengujian *Goodness of Fit* dilakukan berdasarkan nilai Anderson Darling (AD). Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai parameter bentuk dan parameter skala dari distribusi kerusakan mesin yang sesuai dengan perhitungan *index of fit* untuk mengetahui nilai yang menggambarkan alur kerusakan.

Tahap selanjutnya setelah mendapatkan nilai parameter bentuk dan skala, dilakukan perhitungan *MTTF (Mean Time To Failure)* dan *MTTR (Mean Time To Repair)* untuk mengetahui waktu rata-rata kerusakan dan waktu rata-rata perbaikan keandalan berdasarkan distribusi yang telah ditetapkan

Tahap berikutnya melakukan perhitungan Total *failure cost*, dan *Total maintenance cost*, yang digunakan sebagai input model Kamran 1 dan untuk menentukan perbandingan biaya *maintenance*.

Tahap berikutnya yaitu melakukan verifikasi dan validasi model Kamran yang digunakan dan membuat penjadwalan optimal menggunakan model Kamran (*mixed integer nonlinear programming*) dengan program LINGO 11.

Tahap terakhir kemudian dilakukan perhitungan nilai keandalan (*Reliability*) berdasarkan perhitungan model Kamran menggunakan LINGO untuk mengetahui laju penurunan *reliability* dan membandingkan dengan perhitungan simulasi Monte Carlo untuk membandingkan perhitungan laju biaya perawatan terendah dan sebagai bentuk validasi model Kamran.

### HASIL PEMBAHASAN

Berikut ini disajikan hasil uji kecocokan distribusi, penaksiran parameter, dan perhitungan MTTF dan MTTR untuk komponen Bearing pada *Mesin Blower* untuk data waktu antar kerusakan.

Tabel 1. Hasil Uji Kecocokan Distribusi, Parameter, MTTF dan MTTR

| Jenis Mesin  | Komponen Rusak | Distribusi | Parameter                              | MTTF dan MTTR | Aktivitas PM  |                         |
|--------------|----------------|------------|--|---------------|---------------|-------------------------|
| Mesin Blower | Bearing        | Weibull    | $\beta = 4,7222$<br>$\theta = 2050,18$ | MTTF          | 1877,1<br>Jam | Penggantian<br>Komponen |
|              |                | Normal     | $\sigma = 0,3804$<br>$\mu = 1,08244$   | MTTR          | 3,173<br>Jam  | Penggantian<br>Komponen |

Kehandalan sistem yang didapatkan berdasarkan perhitungan *reliability* tanpa *preventive maintenance*  $R(t)$  dengan MTTF sebesar 1877.1 jam,  $\beta = 4.7222$ , dan  $\theta = 2050.18$  sebesar 51.72%

Berikut merupakan perhitungan *failure cost*, dan *preventive cost* pada komponen bearing dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ekspektasi Penghematan Biaya

| Nama Komponen | Sebelum <i>Preventive</i> |               | Setelah <i>Preventive</i> |               | Ekspektasi Penghematan |               |
|---------------|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------|------------------------|---------------|
|               | Tc (Rp/Jam)               | Tc (Rp/bulan) | Tc (Rp/Jam)               | Tc (Rp/bulan) | Tc (Rp/Jam)            | Tc (Rp/bulan) |
| Bearing       | 616,20                    | 1.156.682     | 269,81                    | 343.468       | 346,39                 | 813.214       |

Hasil dari seluruh perhitungan di atas secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3 yang akan dijadikan input pada software LINGO 11.

Tabel 3. Input Model Optimasi

|           | Input 1   |           | Input 2   |           | Input 3   |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| T         | 24        | T         | 30        | T         | 36        |
| J         | 24        | J         | 30        | J         | 36        |
| $\lambda$ | 0,00048   | $\lambda$ | 0,00048   | $\lambda$ | 0,00048   |
| $\beta$   | 4,7       | $\beta$   | 4,7       | $\beta$   | 4,7       |
| Cf        | 1.156.682 | Cf        | 1.156.682 | Cf        | 1.156.682 |
| Cm        | 343.468   | Cm        | 343.468   | Cm        | 343.468   |
| Cr        | 668.468   | Cr        | 668.468   | Cr        | 668.468   |
| R         | 0,9       | R         | 0,9       | R         | 0,9       |



Optimasi dengan model 1 dilakukan menggunakan input nilai-nilai pada Tabel 3 pada software LINGO 11 sehingga output jadwalnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jadwal *preventive maintenance* komponen bearing

| Tahun ke-1       |   |           |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|------------------|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| Kegiatan \ Bulan | 1 | 2         | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| <i>Maintain</i>  |   |           |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| <i>Replace</i>   |   |           |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Tahun ke-2       |   |           |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Kegiatan \ Bulan | 1 | 2         | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| <i>Maintain</i>  |   |           |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| <i>Replace</i>   |   |           |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Maintain =       |   | Replace = |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

Warna kuning menunjukkan waktu *replace* sedangkan warna biru menunjukkan waktu *maintain*.

Berikut adalah rekapitulasi *total cost* dari rancangan penjadwalan yang telah dibuat dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *total cost* rancangan penjadwalan

| Perencanaan   | <b>Total Cost (Rp)</b> | <b>Total Cost (Rp/Month)</b> | <b>Reliabilitas (%)</b> |
|---------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1 (2 tahun)   | 7.311.096,00           | 304.629,00                   | 90%                     |
| 2 (2.5 tahun) | 10.036.830,00          | 334.561,00                   | 90%                     |
| 3 (3 tahun)   | 12.740.680,00          | 353.907,00                   | 90%                     |

Berikut adalah perhitungan Simulasi Monte Carlo yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Simulasi Monte Carlo

| Indikator                      | Tp (Hari) |           |           |                  |           |           |           |           |           |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                | 45        | 50        | 55        | 60               | 65        | 70        | 75        | 78        | 80        |
| <i>Reliability</i>             | 95,26%    | 92,33%    | 88,24%    | <b>82,81%</b>    | 75,90%    | 67,67%    | 58,22%    | 52,15%    | 48%       |
| Sukses                         | 473       | 461       | 440       | <b>411</b>       | 377       | 339       | 290       | 270       | 249       |
| Gagal                          | 27        | 39        | 60        | <b>89</b>        | 123       | 161       | 210       | 230       | 251       |
| Laju Biaya Perawatan (Rp/Hari) | 11.503,05 | 10.763,95 | 10.365,86 | <b>10.252,18</b> | 10.304,30 | 10.479,78 | 10.856,93 | 10.972,11 | 11.152,64 |

Berikut hasil perbandingan perhitungan Simulasi Monte Carlo dengan perhitungan Model Kamran 1 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Hasil Perhitungan Simulasi Monte Carlo dan Model kamran

| Simulasi Monte Carlo           |                                 | Model Kamran 1                 |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Laju Biaya Perawatan (Rp/Hari) | Laju Biaya Perawatan (Rp/Bulan) | Laju Biaya Perawatan (Rp/Hari) | Laju Biaya Perawatan (Rp/Bulan) |
| 10.252,00                      | 307.560,00                      | 10.154,00                      | 304.629,00                      |

Dari hasil perbandingan biaya model Kamran 1 dengan Simulasi Monte Carlo dapat dilihat bahwa Model Kamran 1 dapat menghasilkan laju biaya perawatan yang lebih

rendah dan kurang lebih sama dibandingkan dengan simulasi Monte Carlo, namun kelebihan pada Model Kamran 1 ini yaitu dengan laju biaya perawatan yang sedikit lebih rendah dari simulasi Monte Carlo dapat tetap mempertahankan *reliability* yang diharapkan sebesar 90%, sedangkan untuk simulasi Monte Carlo *reliability* yang dapat dipertahankan hanya sebesar 82,81%.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian, apabila PT. XYZ menargetkan reliabilitas sebesar 90% menggunakan perhitungan *mixed integer nonlinear programming* dengan model Kamran 1, maka dari ketiga perencanaan penjadwalan optimum yang telah dibuat, perusahaan disarankan untuk menggunakan penjadwalan berdasarkan perencanaan 1 dengan interval waktu 2 tahun (24 bulan) dan anggaran sebesar Rp 304.629,00/bulan yang akan menghasilkan nilai *cost* perbulan terendah dan optimal yang dapat dilihat pada tabel 4 terkait komponen bearing pada motor/*drive blower heating*.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. Kamran S. Moghaddam and John S. Usher (2010), *Optimal preventive maintenance and replacement schedules with variable improvement factor*, Department of Industrial Engineering, University of Louisville, Louisville, Kentucky, USA
- [2]. Fithri, P. 2010. Optimasi *Preventive Maintenance* dan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Kompresor dengan Menggunakan *Mixed Integer Non Linier Programming* dari Kamran. Salemba: Tesis Fakultas Teknik Program Pasca Sarjana Teknik Industri Universitas Indonesia
- [3]. Faishal, F., Handoko, B., Franty, Y.K., (2016). Penjadwalan *Preventive Maintenance Multi-Subsistem* Mesin *Cyrial Bath* menggunakan *Mixed Integer Non Linear Programming* (Studi Kasus di PT.Dirgantara Indonesia), Departemen Statistika, FMIPA Universitas Padjdjaran.
- [4]. O'Connor, Patrick. (2002). *Practical Reliability Engineering*. Fourth Edition. John Wiley & Sons, LTD.
- [5]. Ebeling, Charles E.. 1997. *Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: McGraw-Hill International Edition.
- [6]. Moghaddam, K. S. (2010). *Preventive maintenance and replacement scheduling: models and algorithms*. Electronic Theses and Dissertations. University of Louisville
- [7]. E.Zio. (2013). *The Monte Carlo Simulation Method for System Reliability and Risk Analysis*. (1<sup>st</sup> Ed). Springer-Verlag London