

# Analisa Penjadwalan dan Biaya Perawatan Mesin Press untuk Pembentukan Kampas Rem

**Didik Wahjudi**

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

**Amelia**

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Sistem penjadwalan perawatan mesin sangatlah penting bagi perusahaan untuk menekan biaya yang harus dikeluarkan. Penjadwalan perawatan akan dilakukan pada *seal hydrolis* yang merupakan komponen dari mesin press dan slang oil burner yang merupakan komponen mesin press untuk proses *hot forming*. Model perawatan yang digunakan akan memperhitungkan komponen-komponen biaya yang meliputi biaya tenaga kerja, biaya kehilangan produksi dan harga komponen. Model ini bertujuan untuk menentukan interval waktu perawatan dengan mengoptimalkan biaya. Dari hasil perhitungan dapat menekan biaya total berkisar antara 35,07% sampai 90,73% dari biaya total semula.

Kata kunci: penjadwalan, perawatan mesin, biaya perawatan.

## Abstract

*Maintenance scheduling system is very important for a company to reduce total maintenance cost. Maintenance scheduling will be done on hydraulic seal and oil burner pipe that are components of press machine for hot forming process. Scheduling model will consider labor cost, production loss cost, and spare part cost. The aim of this model is to determine the interval of maintenance by optimizing cost. This calculation will reduce total maintenance cost between 35,07 % and 90,73 % of the previous total maintenance cost.*

Keywords: *scheduling, maintenance, maintenance cost*

## 1. Pendahuluan

Proses perawatan mesin produksi tidak mungkin dihindari oleh suatu perusahaan, karena hal ini berkaitan erat dengan kelancaran proses produksi. Perawatan mesin yang biasanya dilakukan oleh perusahaan hanya berupa *corrective maintenance* yaitu mengganti komponen jika terjadi kerusakan. Tanpa disadari tindakan tersebut justru mengakibatkan peningkatan biaya produksi karena penggantian komponen dilakukan pada saat proses produksi sedang berjalan.

Berbeda dengan *preventive maintenance*, yang dapat memperkecil kemungkinan kerusakan mesin produksi sehingga proses dapat berjalan dengan lancar. Selain itu umur teknis dari mesin-mesin produksi akan lebih lama. Untuk itu akan dibuat sistem penjadwalan *preventive maintenance* yang diharapkan dapat menekan biaya yang harus ditanggung oleh perusahaan.

## 2. Metodologi Penelitian

1. Mengumpulkan data-data kerusakan/penggantian komponen mesin produksi yang terjadi dimasa lalu untuk mengetahui interval waktu penggantian komponen mesin, sehingga dapat diketahui rata-rata dan standar deviasinya.
2. Menentukan biaya-biaya yang berkaitan dengan penggantian komponen mesin untuk perhitungan biaya total perawatan mesin.
3. Menganalisa data, meliputi uji distribusi kerusakan mesin, uji keseragaman data untuk mengetahui distribusi kerusakan masing-masing mesin, keseragaman data.
4. Menentukan pola periode penggantian komponen mesin dengan mengoptimalkan biaya penggantian komponen untuk mengetahui selang waktu perawatan mesin yang paling optimal.

**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2000. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 2 Nomor 2 Oktober 2000.

### 3. Teori Dasar

#### 1. Keandalan

Suatu peralatan atau mesin dapat dikatakan andal apabila peralatan atau mesin tersebut dapat berfungsi secara optimal. Keandalan juga berarti tingkat peluang atau probabilitas suatu piranti menjalankan tugasnya.

Nilai keandalan berkisar antara 0 dan 1, karena merupakan fungsi probabilitas. Fungsi keandalan dapat dinotasikan  $R(t) = P(\text{peralatan beroperasi pada saat } t)$

Jika  $x$  menyatakan umur suatu peralatan, maka :

$$R(t) = P(x > t) = 1 - P(x \leq t) = 1 - F(t)$$

Fungsi kepadatan probabilitas untuk masing-masing komponen mesin dihitung dengan persamaan :

$$f(t) = \int_{-\infty}^t \left[ \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \right] = N\left\{\frac{(t-\mu)}{\sigma}\right\}$$

Fungsi keandalan untuk masing-masing komponen dihitung dengan persamaan :

$$R(t) = 1 - \int_{-\infty}^t \left[ \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \right] = 1 - N\left\{\frac{(t-\mu)}{\sigma}\right\}$$

#### 2. Mean Time to Failure (MTTF)

Mean time adalah rata-rata waktu ekspektasi terjadinya kerusakan dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal. MTTF seringkali digunakan untuk menyatakan angka ekspektasi  $E(t)$ , dan dapat dinyatakan dengan:

$$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

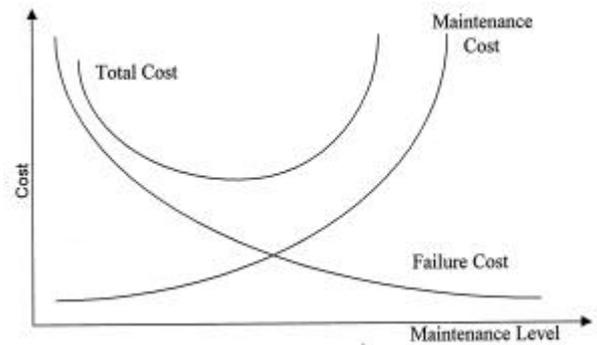
Dan integral  $t f(t) dt$  dapat dinyatakan :

$$\int_0^{tp} t f(t) dt = -\frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} + \left\{ \mu * N\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \right\}$$

#### 3. Efisiensi Perawatan

Perawatan yang baik akan dilakukan dalam jangka waktu tertentu dan pada waktu proses produksi sedang tidak berjalan. Semakin sering perawatan suatu mesin dilakukan akan meningkatkan biaya perawatan. Disisi lain bila perawatan tidak dilakukan akan mengurangi performa kerja dari mesin tersebut.

Pola *maintenance* yang optimal perlu dicari supaya antara biaya perawatan dan biaya kerusakan bisa seimbang pada *total cost* yang paling minimal.



Gambar 1. Grafik Hubungan Biaya dengan Maintenance Level

*Preventive Cost* merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang memang sudah dijadwalkan. Sedangkan *Failure Cost* merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan di luar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi terhenti waktu produksi sedang berjalan.

$C_f$  = biaya satu siklus *failure*

= (biaya tenaga kerja/jam + biaya kehilangan produksi)  $\times$  waktu standar perbaikan *failure* + harga komponen

$C_p$  = biaya satu siklus *preventive*

= (biaya tenaga kerja/jam  $\times$  waktu standar perbaikan *preventive*) + harga komponen

*Total expected replacement cost* :

= (biaya satu siklus *preventive*  $\times$  peluang siklus *preventive*) + (biaya satu siklus *failure*  $\times$  peluang siklus *failure*)

=  $C_p \times R(tp) + C_f \times (1 - R(tp))$

*Expected Cycle Length* :

= (Ekspektasi satu siklus *preventive*  $\times$  peluang siklus *preventive*) + (Ekspektasi satu siklus *failure*  $\times$  peluang siklus *failure*)

=  $tp \times R(tp) + \int_0^{tp} t f(t) dt$

Maka persamaan *total cost* minimum di atas akan menjadi :

$$Tc(tp) = \frac{C_p \times R(tp) + C_f \times (1 - R(tp))}{tp \times R(tp) + \int_0^{tp} t \times f(t) dt}$$

#### 4. Pengukuran Kerja

##### 4.1 Keseragaman Data

Untuk mengetahui apakah data-data yang telah didapat telah layak untuk dipakai. Data akan dikatakan seragam apabila data berada di antara batas bawah  $(\bar{x} - 2\sigma)$  dan batas atas  $(\bar{x} + 2\sigma)$ . Selain itu data dikatakan tidak seragam dan harus diabaikan.

dengan  $\bar{x} = \frac{\sum X_i}{N}$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

dimana :

$\bar{x}$  = nilai rata-rata

$\sigma$  = standar deviasi

N = jumlah data

#### 4.2 Kecukupan Data (N')

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$N' = \left( \frac{40\sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

dimana :

N = Jumlah data pengukuran

x = Data yang diambil

Untuk  $N' < N$ , maka jumlah data pengukuran telah dapat dianggap mencukupi. Sedangkan bila  $N' > N$ , maka data pengukuran masih belum cukup.

#### 4.3 Westinghouse System's Rating

Dengan melakukan rating ini diharapkan waktu kerja yang diukur dapat dinormalkan kembali. Ketidaknormalan waktu kerja ini diakibatkan oleh kerja operator yang selalu berubah-ubah tempo atau kecepatannya.

Hal ini meliputi *skill*, *effort*, dan *consistency* yang merupakan cerminan operator, serta *working condition* yakni sesuatu diluar operator yang diterima apa adanya tanpa kemampuan merubah.

Dari keempat faktor tersebut di atas didapatkan nilai *performance* yang merupakan penjumlahan nilai-nilai tersebut.

$$PR = (1 + p)$$

Dimana:

PR = *Performance Rating*

p = Jumlah keempat faktor penyesuaian

#### 4.4 Waktu Normal (W<sub>n</sub>)

Waktu kerja operator yang berubah-ubah, dapat dinormalkan dengan  $W_n = \bar{x} \times PR$

#### 4.5 Kelonggaran Waktu (*Allowance Time*)

Dalam melakukan tugasnya, seorang operator tidak mungkin melakukan tugasnya secara terus-menerus sepanjang hari tanpa ada interupsi. Kenyataannya seorang operator akan

sering menghentikan pekerjaannya dan membutuhkan waktu-waktu khusus untuk keperluan seperti *personal needs*, istirahat melepas lelah.

Kelonggaran waktu yang diberikan dapat meliputi untuk kebutuhan pribadi, melepaskan lelah, dan keterlambatan.

#### 4.6 Waktu Standar

Waktu standar atau waktu baku adalah jumlah waktu yang dibutuhkan guna menyelesaikan suatu pekerjaan dalam prestasi standar, dengan memperhitungkan kelonggaran-kelonggaran yang terjadi dalam penyelesaian pekerjaan. Waktu baku dapat diperoleh dengan persamaan :

Waktu Standar = Waktu Normal + (Waktu Normal  $\times$  % Allowance) atau

$$\text{Waktu Standar} = \text{Waktu Normal} \times \frac{100\%}{100\% - \% \text{Allowance}}$$

### 5. Proses Produksi

#### 5.1 Proses *Forming*

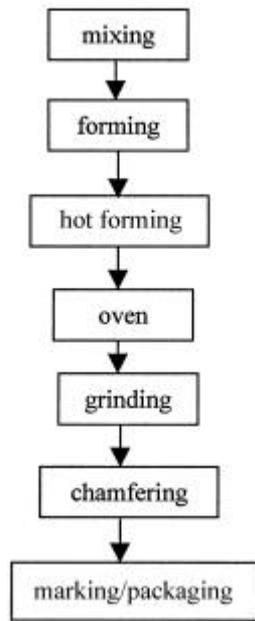
Proses *forming* merupakan proses pembentukan awal pada material sesuai dengan bentuk kanvas rem yang akan dibuat. Pada proses ini digunakan mesin *Hydraulic Press* dengan tekanan lebih kurang sebesar 150 kg/cm<sup>2</sup> yang diberikan pada *mould*. Proses *forming* terdiri atas proses penekanan dan proses *bumping*.

*Bumping* adalah proses pembuangan udara-udara sisa yang terperangkap pada material selama proses penekanan. Banyaknya kedua proses ini tergantung dari tebal material. Semakin tebal material maka semakin banyak pula proses penekanan dan proses *bumping* yang dilakukan. Untuk tipe EH 100 F dilakukan sebanyak 3 kali penekanan dan 3 kali *bumping* untuk tiap proses. Skema urutan proses produksi dapat dilihat pada Gambar 2.

#### 5.2 Proses *Hot Forming*

Proses *hot forming* merupakan proses pembentukan material dengan pemberian panas pada material sebesar 150-160° C dan tekanan sebesar 150 kg/cm<sup>2</sup>. Proses ini bertujuan untuk memasak formula material yang sudah dibentuk pada proses *forming* sebelumnya. Dalam proses ini juga dilakukan penekanan dan *bumping* yang dilanjutkan dengan penekanan tetap selama beberapa menit. Pada proses *hot forming* ini dimensi material menjadi menyusut, padat dan keras, berwarna coklat tua.

Proses *hot forming* ini menggunakan mesin *Hydraulic* dengan oli sebagai media pemanasannya. Oli panas berasal dari mesin *Thermopac* yang dipanaskan oleh solar sebagai bahan bakarnya. Setelah itu oli dialirkan ke mesin dan selanjutnya panas dari oli ditransfer ke *moulding* yang digunakan untuk proses. Sehingga pada saat terjadi penekanan pada material akan terjadi pula pemanasan pada material.



Gambar 2. Diagram Urutan Proses Produksi *Dry Type*

#### 4. Pengolahan Data

##### 1. Distribusi Kerusakan Mesin

Uji distribusi pada tiap mesin dilakukan dengan menggunakan *software Statgraphics*, kemudian nilai *significant level* untuk tiap-tiap distribusi dibandingkan. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa *significant level* untuk distribusi normal lebih besar dibandingkan dengan distribusi yang lainnya, maka dapat dikatakan data waktu antar kerusakan mesin adalah berdistribusi normal. Nilai *significant level* untuk distribusi normal dapat dilihat pada lampiran 1.

##### 2. Keseragaman Data dan Kecukupan Data

Hasil perhitungan keseragaman data dan kecukupan data mesin *press* untuk proses *forming* dapat dilihat pada lampiran 2, sedangkan untuk mesin *press* dengan proses *hot forming* dapat dilihat pada lampiran 3. Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa data

waktu antar kerusakan masih berada diantara batas kontrol atas (BKA) dan batas kontrol bawah (BKB), sehingga perhitungan layak untuk dilanjutkan.

Untuk perhitungan kecukupan data diketahui bahwa  $N' < N$ , maka data waktu antar kerusakan telah mencukupi dan tidak diperlukan adanya data tambahan.

#### 3. Penentuan Allowance

Penentuan *allowance* ditentukan dengan cara melakukan pengamatan dan berdasarkan keterangan dari *supervisor*. Tabel faktor-faktor penentu *allowance* yang digunakan berdasarkan (Sumber: Sutaalaksana, 1991). Penentuan *allowance* untuk seorang teknisi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penentuan Allowance

| Faktor                  | Mesin Press untuk proses Forming |         | Mesin Press untuk proses Hot Forming |         |
|-------------------------|----------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|
|                         | Preventive                       | Failure | Preventive                           | Failure |
| Tenaga yang dikeluarkan | 6                                | 6       | 6                                    | 6       |
| Sikap kerja             | 1                                | 1       | 1                                    | 1       |
| Gerakan kerja           | 0                                | 0       | 0                                    | 0       |
| Lelah mata              | 2                                | 2       | 2                                    | 2       |
| Temperatur kerja        | 2                                | 4       | 4                                    | 5       |
| Kedadaan atmosfer       | 3                                | 4       | 3                                    | 4       |
| Lingkungan yang baik    | 0                                | 3       | 0                                    | 3       |
| Kebutuhan pribadi       | 2                                | 2       | 2                                    | 2       |
| Total                   | 16                               | 22      | 18                                   | 23      |

#### 4. Penentuan Westinghouse System's Rating

Data penentuan *Westinghouse System's Rating* untuk semua jenis mesin yang sama dibuat sama. Tabel 2 digunakan untuk menyatakan faktor-faktor yang berpengaruh dari tiap jenis mesin. Pengambilan data disesuaikan dengan keterangan dari *supervisor*. Besarnya faktor yang berpengaruh disesuaikan dengan (Sumber : Sutaalaksana, 1991).

Tabel 2. Penentuan Faktor Westinghouse

| Faktor            | Mesin Press untuk proses Forming | Mesin Press untuk proses Hot Forming |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Skill             | 0.06                             | 0.03                                 |
| Effort            | 0.02                             | 0.02                                 |
| Working Condition | 0.00                             | -0.03                                |
| Consistency       | 0.01                             | 0.01                                 |
| Total             | 0.09                             | 0.03                                 |
| PR                | 1.09                             | 1.03                                 |

#### 5. Perhitungan Waktu Standar

Hasil perhitungan waktu standar selengkapnya, dapat dilihat pada lampiran 4 untuk mesin *press* dengan proses *forming* dan lampiran 5 untuk mesin *press* dengan proses *hot forming*.

**6. Biaya Kehilangan Produksi**

Berhenti beroperasinya suatu mesin karena adanya perbaikan atau penggantian komponen, akan mengakibatkan perusahaan tersebut mengalami kehilangan produksi karena jumlah produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang telah ditetapkan/dijadwalkan oleh bagian PPIC.

Untuk proses *forming* dengan, setiap kali proses *forming* membutuhkan waktu 2 menit dan menghasilkan 2 buah produk tiap prosesnya. Dengan demikian dalam satu jam dapat dihasilkan 60 produk dengan biaya produksi Rp. 5.555,00 perbuahnya.

Jadi biaya kehilangan produksi per jamnya adalah:

$$= 60 \times \text{Rp. } 5.555,00$$

$$= \text{Rp. } 333.300,00$$

Untuk proses *hot forming*, setiap kali proses *hot forming* membutuhkan waktu 8 menit dan menghasilkan 4 buah produk tiap prosesnya. Dengan demikian dalam satu jam dapat dihasilkan 30 produk dengan biaya produksi Rp. 5.555,00 perbuahnya. Jadi biaya kehilangan produksi per jamnya adalah :

$$= 30 \times \text{Rp. } 5.555,00$$

$$= \text{Rp. } 166.650,00$$

**7. Biaya Komponen**

*Seal hydrolis* merupakan komponen dari mesin *press* yang digunakan sebagai komponen pendorong material agar bisa keluar dari *mould*-nya. *Seal* dari *hydrolis* ini sering mengalami kebocoran karena banyaknya sisa material yang terbuang yang melekat pada *hydrolis* bawah tersebut. Harga komponen ini adalah Rp. 19.300,00 untuk seal jenis UHS-45.

*Slang oil burner*, yang merupakan komponen dari mesin *press* dengan *hot process*. *Slang oil burner* ini digunakan untuk menyalurkan oli panas dari *Thermopac* menuju ke *mould* dan untuk memanaskan *mould* tersebut. *Slang oil burner* ini sering mengalami kebocoran karena tinggi suhu oli yang mengalir (150°C - 160°C), ditambah lagi pergerakan dari *mould* yang bergerak turun-naik. Harga komponen ini adalah Rp.146.300,00 untuk jenis ½" × 80 cm.

**8. Biaya Tenaga Kerja**

Biaya tenaga kerja untuk mesin *press* dan mesin *press* dengan *hot process* adalah sama. Biaya ini dihitung berdasarkan tiap shift, 1 shift = 8 jam kerja, operator menerima Rp.15.000,00. Jadi biaya tenaga kerja yang dikeluarkan perusahaan untuk tiap jamnya adalah :

$$= \frac{\text{Rp. } 15.000,00}{8}$$

$$= \text{Rp. } 1875,00$$

**9. Penentuan Preventive Cost, Failure Cost, dan Total Cost**

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 6.

**5. Analisa Data**

1. Harga Mean Time to Failure (MTTF)

Karena telah diketahui bahwa distribusi kerusakan masing-masing mesin adalah normal, maka harga Mean Time To Failure (MTTF) untuk tiap-tiap mesin adalah sama dengan rata-rata interval waktu kerusakannya. Untuk harga MTTF selengkapnya dapat dilihat data *mean* dari lampiran 2 dan lampiran 3.

2. Interval waktu perawatan dan total cost minimum.

Dari hasil perhitungan, data dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3. Tabel Ekspektasi Biaya Preventive Maintenance**

| No. Mesin      | Tp (Jam) | Tc (Rp/Jam) | Tc (Rp/Tahun) | Ekspektasi Biaya (Rp) |
|----------------|----------|-------------|---------------|-----------------------|
| Forming 1      | 1184     | 22,54       | 90.881        | 26.687                |
| Forming 2      | 1150     | 24,51       | 98.824        | 28.186                |
| Forming 3      | 1198     | 23,62       | 95.263        | 28.296                |
| Forming 4      | 1153     | 24,07       | 97.050        | 27.752                |
| Forming 5      | 1214     | 21,66       | 87.333        | 26.295                |
| Forming 6      | 1172     | 23,06       | 92.978        | 27.026                |
| Forming 7      | 1167     | 24,14       | 97.332        | 28.171                |
| Forming 9      | 1193     | 22,93       | 92.454        | 27.355                |
| Forming 10     | 1151     | 24,34       | 98.139        | 28.015                |
| Forming 11     | 1126     | 24,94       | 100.558       | 28.082                |
| Forming 12     | 1183     | 23,96       | 96.607        | 28.344                |
| Forming 13     | 1189     | 23,67       | 95.437        | 28.143                |
| Forming 14     | 1169     | 24,13       | 97.292        | 28.207                |
| Hot forming 5  | 1207     | 132,54      | 534.401       | 159.975               |
| Hot forming 6  | 1238     | 127,53      | 514.201       | 157.882               |
| Hot forming 7  | 1180     | 135,74      | 547.304       | 160.173               |
| Hot forming 8  | 1198     | 133,71      | 539.119       | 160.184               |
| Hot forming 9  | 1210     | 131,96      | 532.063       | 159.671               |
| Hot forming 10 | 1191     | 134,15      | 540.893       | 159.772               |
| Hot forming 11 | 1178     | 135,02      | 544.401       | 159.053               |
| Hot forming 12 | 1146     | 139,02      | 560.529       | 159.316               |
| Hot forming 13 | 1184     | 134,40      | 541.901       | 159.129               |
| Hot forming 14 | 1245     | 126,92      | 511.741       | 158.015               |
| Hot forming 15 | 1196     | 132,41      | 533.877       | 158.362               |
| Hot forming 16 | 1179     | 135,26      | 545.368       | 159.471               |
| Hot forming 17 | 1147     | 139,83      | 563.795       | 160.385               |
| Hot forming 18 | 1175     | 135,95      | 548.150       | 159.741               |
| Hot forming 21 | 1210     | 131,34      | 529.563       | 158.921               |
| Hot forming 22 | 1152     | 139,68      | 563.190       | 160.911               |
| Hot forming 23 | 1202     | 131,34      | 529.563       | 157.870               |
| Hot forming 24 | 1169     | 135,59      | 546.699       | 158.504               |
| Hot forming 25 | 1162     | 133,02      | 536.337       | 154.569               |
| Hot forming 26 | 1181     | 134,49      | 542.264       | 158.832               |

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa ekspektasi pengeluaran perusahaan untuk penggantian komponen yang paling besar untuk mesin *press* dengan proses *forming* adalah mesin nomor 11 sebesar Rp. 100.558,00 dan untuk mesin *press* dengan proses *hot forming* adalah mesin nomor 22 sebesar Rp. 563.190,00

3. Ekspektasi besar *total cost* yang dikeluarkan perusahaan sebelum dan sesudah adanya penjadwalan dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

**Tabel 4. Tabel Total Cost Sebelum dan Sesudah Penjadwalan**

| No. Mesin      | Sebelum Penjadwalan |             | Sesudah Penjadwalan |             | Ekspektasi Penghematan |       |
|----------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|------------------------|-------|
|                | Tp (jam)            | Tc (Rp/Jam) | Tp (jam)            | Tc (Rp/Jam) | (Rp/Jam)               | (%)   |
| Forming 1      | 1273                | 200,70      | 1184                | 22,54       | 178,16                 | 88,77 |
| Forming 2      | 1295                | 217,62      | 1150                | 24,51       | 193,11                 | 88,74 |
| Forming 3      | 1296                | 254,73      | 1198                | 23,62       | 231,11                 | 90,73 |
| Forming 4      | 1276                | 216,12      | 1153                | 24,07       | 192,05                 | 88,86 |
| Forming 5      | 1295                | 191,30      | 1214                | 21,66       | 169,64                 | 88,68 |
| Forming 6      | 1264                | 214,61      | 1172                | 23,06       | 191,55                 | 89,25 |
| Forming 7      | 1277                | 240,61      | 1167                | 24,14       | 216,47                 | 89,97 |
| Forming 9      | 1279                | 226,32      | 1193                | 22,93       | 203,39                 | 89,87 |
| Forming 10     | 1268                | 234,23      | 1151                | 24,34       | 209,89                 | 89,61 |
| Forming 11     | 1253                | 228,12      | 1126                | 24,94       | 203,18                 | 89,07 |
| Forming 12     | 1287                | 249,59      | 1183                | 23,96       | 225,63                 | 90,40 |
| Forming 13     | 1304                | 232,17      | 1189                | 23,67       | 208,50                 | 89,80 |
| Forming 14     | 1271                | 247,42      | 1169                | 24,13       | 223,29                 | 90,25 |
| Hot forming 5  | 1320                | 210,10      | 1207                | 132,54      | 77,56                  | 36,92 |
| Hot forming 6  | 1293                | 215,70      | 1238                | 127,53      | 88,17                  | 40,88 |
| Hot forming 7  | 1292                | 215,00      | 1180                | 135,74      | 79,26                  | 36,87 |
| Hot forming 8  | 1289                | 224,18      | 1198                | 133,71      | 90,47                  | 40,36 |
| Hot forming 9  | 1300                | 213,17      | 1210                | 131,96      | 81,21                  | 38,10 |
| Hot forming 10 | 1292                | 217,40      | 1191                | 134,15      | 83,25                  | 38,29 |
| Hot forming 11 | 1273                | 227,10      | 1178                | 135,02      | 92,08                  | 40,55 |
| Hot forming 12 | 1232                | 226,88      | 1146                | 139,02      | 87,86                  | 38,73 |
| Hot forming 13 | 1274                | 207,00      | 1184                | 134,40      | 72,60                  | 35,07 |
| Hot forming 14 | 1309                | 210,53      | 1245                | 126,92      | 83,61                  | 39,71 |
| Hot forming 15 | 1264                | 217,77      | 1196                | 132,41      | 85,36                  | 39,20 |
| Hot forming 16 | 1272                | 215,46      | 1179                | 135,26      | 80,20                  | 37,22 |
| Hot forming 17 | 1260                | 222,73      | 1147                | 139,83      | 82,90                  | 37,22 |
| Hot forming 18 | 1268                | 218,60      | 1175                | 135,95      | 82,65                  | 37,81 |
| Hot forming 21 | 1285                | 217,92      | 1210                | 131,34      | 86,58                  | 39,73 |
| Hot forming 22 | 1252                | 243,20      | 1152                | 139,68      | 103,52                 | 42,57 |
| Hot forming 23 | 1253                | 223,07      | 1202                | 131,34      | 91,73                  | 41,12 |
| Hot forming 24 | 1236                | 223,16      | 1169                | 135,59      | 87,57                  | 39,24 |
| Hot forming 25 | 1242                | 219,31      | 1162                | 133,02      | 86,29                  | 39,35 |
| Hot forming 26 | 1248                | 226,37      | 1181                | 134,49      | 91,88                  | 40,59 |

Dari tabel di atas dapat diketahui ekspektasi *total cost* yang dapat dihemat oleh perusahaan, berkisar antara 35,07% sampai dengan 90,73% dari *total cost* semula.

#### 4. Rentang Waktu Penggantian Komponen

Dari waktu penggantian komponen yang telah didapatkan dari perhitungan, dapat diambil suatu rentang waktu penggantian

komponen mesin *press* untuk proses *forming* adalah antara 1126 – 1214 jam dan pada mesin *press* dengan proses *hot forming* adalah antara 1146 – 1245 jam.

## 6. Kesimpulan

Dengan menggunakan *Systematic/scheduled maintenance*, untuk penggantian komponen dengan biaya tidak terlalu besar maka dapat disimpulkan bahwa ekspektasi penghematan *total cost* perjam berkisar antara Rp. 72,60,- sampai Rp. 231,11,- atau 35,07% sampai 90,73% dari *total cost* semula.

Rentang waktu penggantian komponen mesin *press* untuk proses *forming* adalah antara 1126 – 1214 jam dan pada mesin *press* untuk proses *hot forming* adalah antara 1146 – 1245 jam.

## Daftar Pustaka

1. Assauri, S., *Manajemen Produksi dan Operasi*, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta, 1993.
2. Asjudiredja, L., Permana, K., *Manajemen Produksi*, Armico, Bandung, 1990.
3. Bhattacharyya, G.K., Johnson, R.A., *Statistical Concept and Methods*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
4. Catuneanu, V. M., Mihalache, A.N. *Reliability Fundamental*, Elsevier, Amsterdam, 1989.
5. Clifton, R.H. *Principle of Planned Maintenance*, Edward Arnold, London. 1974.
6. Indra A., Deny, et al., *Laporan Kerja Praktek II di P.T. Indoprima Gemilang*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Kristen petra, Surabaya, 1997.
7. Lyonnet, P. *Maintenance Planning Mathe-matic and Methods*, Chapman & Hall, London, 1991.
8. Sutalaksana. *Teknik Tata Cara*, Guna Widya, Jakarta, 1991.
9. Wignjosobroto, S., *Ergonomi, Studi Gerak dan Waktu*, Guna Widya, Jakarta, 1995.

**Lampiran 1. Tabel Pengujian Distribusi Normal**

| Mesin      | Significant level | Distribusi | Mesin          | Significant level | Distribusi |
|------------|-------------------|------------|----------------|-------------------|------------|
| Forming 1  | 0.889022          | Normal     | Hot forming 5  | 0.982684          | Normal     |
| Forming 2  | 0.745758          | Normal     | Hot forming 6  | 0.634979          | Normal     |
| Forming 3  | 0.874136          | Normal     | Hot forming 7  | 0.989096          | Normal     |
| Forming 4  | 0.977009          | Normal     | Hot forming 8  | 0.924528          | Normal     |
| Forming 5  | 0.934506          | Normal     | Hot forming 9  | 0.958591          | Normal     |
| Forming 6  | 0.915729          | Normal     | Hot forming 10 | 0.968433          | Normal     |
| Forming 7  | 0.925232          | Normal     | Hot forming 11 | 0.704904          | Normal     |
| Forming 9  | 0.999475          | Normal     | Hot forming 12 | 0.981495          | Normal     |
| Forming 10 | 0.878039          | Normal     | Hot forming 13 | 0.879013          | Normal     |
| Forming 11 | 0.943275          | Normal     | Hot forming 14 | 0.986494          | Normal     |
| Forming 12 | 0.967110          | Normal     | Hot forming 15 | 0.945051          | Normal     |
| Forming 13 | 0.910289          | Normal     | Hot forming 16 | 0.964054          | Normal     |
| Forming 14 | 0.834878          | Normal     | Hot forming 17 | 0.520392          | Normal     |
|            |                   |            | Hot forming 18 | 0.985998          | Normal     |
|            |                   |            | Hot forming 21 | 0.525538          | Normal     |
|            |                   |            | Hot forming 22 | 0.859946          | Normal     |
|            |                   |            | Hot forming 23 | 0.951261          | Normal     |
|            |                   |            | Hot forming 24 | 0.996954          | Normal     |
|            |                   |            | Hot forming 25 | 0.972685          | Normal     |
|            |                   |            | Hot forming 26 | 0.848084          | Normal     |

Lampiran 2. Tabel MTTTF (mean), Keceragaman data dan kecukupan data mesin press untuk proses forming

| No   | MS F1        | MS F2        | MS F3        | MS F4        | MS F5        | MS F6        | MS F7        | MS F9        | MS F10       | MS F11       | MS F12       | MS F13       | MS F14       |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1    | 1328         | 1244         | 1293         | 1302         | 1363         | 1228         | 1205         | 1331         | 1339         | 1194         | 1342         | 1307         | 1289         |
| 2    | 1249         | 1280         | 1273         | 1288         | 1283         | 1287         | 1308         | 1227         | 1300         | 1328         | 1253         | 1300         | 1228         |
| 3    | 1297         | 1339         | 1327         | 1262         | 1289         | 1214         | 1224         | 1300         | 1294         | 1206         | 1278         | 1247         | 1210         |
| 4    | 1259         | 1368         | 1289         | 1318         | 1265         | 1237         | 1312         | 1287         | 1256         | 1297         | 1220         | 1358         | 1299         |
| 5    | 1256         | 1226         | 1370         | 1202         | 1306         | 1250         | 1280         | 1255         | 1309         | 1248         | 1244         | 1258         | 1322         |
| 6    | 1299         | 1365         | 1355         | 1229         | 1285         | 1328         | 1232         | 1273         | 1316         | 1266         | 1325         | 1294         | 1286         |
| 7    | 1195         | 1339         | 1309         | 1261         | 1315         | 1258         | 1271         | 1262         | 1289         | 1213         | 1309         | 1380         | 1322         |
| 8    | 1256         | 1261         | 1292         | 1319         | 1313         | 1320         | 1281         | 1313         | 1203         | 1191         | 1330         | 1385         | 1218         |
| 9    | 1300         | 1287         | 1267         | 1186         | 1260         | 1250         | 1331         | 1307         | 1208         | 1191         | 1300         | 1293         | 1241         |
| 10   | 1267         | 1246         | 1318         | 1322         | 1253         | 1280         | 1329         | 1269         | 1226         | 1353         | 1266         | 1261         | 1300         |
| 11   | 1305         | 1236         | 1249         | 1281         | 1328         | 1273         | 1250         | 1213         | 1219         | 1276         | 1280         | 1285         | 1289         |
| 12   | 1268         | 1387         | 1287         | 1339         | 1281         | 1242         | 1320         | 1289         | 1288         | 1265         | 1255         | 1317         | 1250         |
| 13   |              | 1354         | 1274         |              |              | 1226         | 1258         | 1267         | 1234         | 1260         | 1342         | 1262         |              |
| 14   |              | 1278         | 1236         |              |              | 1304         | 1330         | 1311         |              | 1257         |              |              |              |
| 15   |              | 1222         |              |              |              |              | 1231         |              |              |              |              |              |              |
| N    | 12           | 15           | 14           | 12           | 12           | 14           | 15           | 14           | 13           | 14           | 13           | 13           | 12           |
| Mean | 1273.25      | 1295.47      | 1295.64      | 1275.75      | 1295.08      | 1284.07      | 1277.47      | 1278.86      | 1267.77      | 1253.21      | 1266.46      | 1303.62      | 1271.17      |
| Sd   | 35.06        | 57.54        | 37.61        | 49.31        | 31.51        | 35.71        | 42.88        | 33.37        | 45.51        | 50.74        | 40.58        | 45.65        | 39.79        |
| BKA  | 1343.378     | 1410.544     | 1370.860     | 1374.374     | 1358.107     | 1335.494     | 1363.233     | 1345.601     | 1358.794     | 1354.696     | 1367.622     | 1394.912     | 1350.756     |
| BKB  | 1203.122     | 1180.389     | 1220.426     | 1177.126     | 1232.060     | 1192.649     | 1191.700     | 1212.114     | 1176.745     | 1151.732     | 1205.301     | 1212.319     | 1191.578     |
| Ket. | Data seragam |
| N'   | 2            | 3            | 2            | 3            | 1            | 2            | 2            | 2            | 2            | 3            | 2            | 2            | 2            |
| Ket. | Data cukup   |

Lampiran 3. Tabel MTTF (mean), Keseragaman data dan kecukupan data mesin press untuk proses hot forming

| No   | MS           |              |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1    | 1410         | 1288         | 1347         | 1236         | 1317         | 1358         | 1304         | 1220         | 1357         | 1319         | 1224         | 1350         | 1230         | 1296         | 1254         | 1152         | 1216         | 1253         | 1267         | 1199         |              |              |              |              |              |              |
| 2    | 1353         | 1323         | 1294         | 1261         | 1267         | 1226         | 1295         | 1273         | 1217         | 1278         | 1312         | 1309         | 1234         | 1316         | 1293         | 1353         | 1280         | 1199         | 1218         | 1254         |              |              |              |              |              |              |
| 3    | 1203         | 1311         | 1186         | 1259         | 1304         | 1315         | 1273         | 1174         | 1320         | 1317         | 1234         | 1274         | 1193         | 1222         | 1291         | 1311         | 1298         | 1264         | 1285         | 1248         |              |              |              |              |              |              |
| 4    | 1245         | 1313         | 1286         | 1367         | 1262         | 1325         | 1263         | 1261         | 1280         | 1361         | 1275         | 1233         | 1355         | 1220         | 1345         | 1247         | 1259         | 1200         | 1252         | 1228         |              |              |              |              |              |              |
| 5    | 1318         | 1284         | 1365         | 1241         | 1269         | 1357         | 1310         | 1175         | 1312         | 1299         | 1285         | 1294         | 1208         | 1297         | 1264         | 1235         | 1275         | 1278         | 1300         | 1197         |              |              |              |              |              |              |
| 6    | 1334         | 1282         | 1293         | 1334         | 1268         | 1260         | 1324         | 1186         | 1253         | 1253         | 1269         | 1225         | 1363         | 1192         | 1273         | 1229         | 1240         | 1280         | 1301         | 1243         |              |              |              |              |              |              |
| 7    | 1271         | 1308         | 1245         | 1326         | 1338         | 1243         | 1293         | 1233         | 1314         | 1339         | 1252         | 1237         | 1312         | 1247         | 1259         | 1218         | 1250         | 1240         | 1180         | 1269         |              |              |              |              |              |              |
| 8    | 1357         | 1282         | 1359         | 1336         | 1240         | 1244         | 1320         | 1230         | 1233         | 1315         | 1321         | 1349         | 1235         | 1320         | 1258         | 1276         | 1255         | 1268         | 1157         | 1272         |              |              |              |              |              |              |
| 9    | 1289         | 1273         | 1288         | 1339         | 1367         | 1298         | 1210         | 1206         | 1236         | 1335         | 1247         | 1305         | 1242         | 1283         | 1277         | 1240         | 1253         | 1241         | 1286         | 1259         |              |              |              |              |              |              |
| 10   | 1416         | 1328         | 1214         | 1269         | 1278         | 1316         | 1221         | 1203         | 1252         | 1259         | 1275         | 1255         | 1305         | 1203         | 1263         | 1217         | 1240         | 1228         | 1245         | 1242         |              |              |              |              |              |              |
| 11   | 1354         | 1220         | 1320         | 1289         | 1361         | 1353         | 1220         | 1250         | 1216         | 1306         | 1274         | 1222         | 1184         | 1293         | 1242         | 1290         | 1247         | 1227         | 1263         | 1251         |              |              |              |              |              |              |
| 12   | 11318        | 1297         | 1381         | 1224         | 1291         | 1288         | 1192         | 1296         | 1225         | 1297         | 1298         | 1200         | 1280         | 1344         | 1356         | 1287         | 1270         | 1223         | 1204         | 1219         |              |              |              |              |              |              |
| 13   | 1317         | 1302         | 1260         | 1279         | 1335         | 1211         | 1321         | 1226         | 1344         | 1334         | 1207         | 1283         | 1234         | 1266         | 1266         | 1221         | 1208         | 1209         | 1194         | 1265         |              |              |              |              |              |              |
| 14   | 1292         | 1289         | 1247         |              | 1229         |              |              | 1312         | 1277         |              | 1267         |              |              |              | 1347         |              |              | 1180         |              | 1328         |              |              |              |              |              |              |
| 15   |              |              |              |              | 1377         |              |              |              |              |              | 1220         |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| N    | 14           | 14           | 14           | 13           | 13           | 13           | 13           | 14           | 14           | 13           | 15           | 13           | 13           | 13           | 14           | 13           | 13           | 14           | 13           | 14           |              |              |              |              |              |              |
| mean | 1319.79      | 1292.86      | 1291.79      | 1289.23      | 1300.20      | 1291.85      | 1272.77      | 1231.79      | 1274.00      | 1308.62      | 1264.00      | 1272.00      | 1259.62      | 1267.62      | 1284.86      | 1252.00      | 1253.15      | 1236.43      | 1242.46      | 1248.14      |              |              |              |              |              |              |
| Sd   | 58.574       | 26.694       | 58.298       | 46.286       | 46.932       | 50.985       | 46.967       | 42.763       | 48.085       | 31.561       | 33.428       | 48.311       | 58.403       | 48.238       | 37.513       | 51.036       | 24.738       | 33.235       | 47.605       | 33.022       |              |              |              |              |              |              |
| BKA  | 1436.93      | 1346.25      | 1408.38      | 1381.80      | 1394.06      | 1393.82      | 1366.70      | 1317.31      | 1370.17      | 1371.74      | 1330.86      | 1368.62      | 1376.42      | 1364.09      | 1359.88      | 1354.07      | 1302.63      | 1302.90      | 133.67       | 1314.19      |              |              |              |              |              |              |
| BKB  | 1202.64      | 1239.47      | 1175.19      | 1196.66      | 1206.34      | 11189.88     | 117.84       | 1146.26      | 1177.83      | 1245.49      | 1197.14      | 1175.38      | 1142.81      | 1171.14      | 1209.63      | 1149.93      | 1203.68      | 1169.96      | 1147.25      | 1182.10      |              |              |              |              |              |              |
| Ket. | Data seragam |
| N'   | 3            | 1            | 4            | 2            | 2            | 3            | 3            | 2            | 3            | 1            | 2            | 3            | 4            | 3            | 2            | 3            | 1            | 2            | 3            | 2            |              |              |              |              |              |              |
| Ket. | Data cukup   |

Lampiran 4. Tabel perhitungan waktu standar (dalam jam) perbaikan mesin press untuk proses forming

| No         | MS1     | MS2     | MS3     | MS4     | MS5     | MS6     | MS7     | MS9     | MS10    | MS11    | MS12    | MS13    | MS14    |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1          | 0.917   | 1.417   | 1.167   | 0.667   | 0.583   | 0.750   | 1.330   | 1.080   | 0.833   | 1.000   | 1.080   | 1.250   | 1.667   |
| 2          | 0.500   | 0.917   | 1.330   | 1.417   | 0.833   | 1.000   | 1.417   | 1.000   | 1.080   | 0.917   | 1.167   | 1.330   | 1.500   |
| 3          | 1.330   | 0.750   | 1.250   | 0.750   | 0.667   | 1.080   | 0.917   | 0.917   | 1.167   | 0.833   | 1.500   | 1.500   | 1.330   |
| 4          | 1.108   | 1.000   | 1.000   | 1.080   | 0.917   | 1.250   | 1.000   | 1.167   | 1.417   | 0.750   | 1.667   | 1.417   | 1.250   |
| 5          | 0.750   | 1.080   | 0.917   | 1.250   | 1.000   | 1.167   | 1.250   | 1.330   | 1.250   | 1.080   | 1.000   | 1.330   | 1.080   |
| 6          | 1.250   | 1.167   | 1.500   | 1.000   | 1.250   | 0.667   | 1.330   | 1.250   | 1.330   | 1.250   | 1.330   | 1.000   | 1.000   |
| 7          | 1.417   | 1.330   | 1.583   | 1.250   | 1.080   | 0.917   | 1.250   | 1.417   | 0.917   | 1.417   | 0.917   | 0.917   | 0.917   |
| 8          | 0.667   | 1.000   | 1.667   | 1.167   | 1.167   | 1.167   | 1.417   | 1.330   | 0.750   | 1.500   | 1.250   | 0.833   | 1.250   |
| 9          | 1.000   | 0.667   | 1.080   | 0.833   | 1.330   | 0.833   | 1.080   | 0.833   | 1.080   | 1.167   | 1.583   | 1.080   | 0.833   |
| 10         | 0.750   | 0.833   | 0.833   | 1.080   | 1.080   | 1.000   | 1.167   | 1.080   | 1.167   | 1.000   | 1.500   | 1.583   | 1.500   |
| 11         | 0.833   | 1.583   | 1.500   | 1.250   | 0.917   | 1.417   | 1.583   | 1.167   | 1.500   | 0.917   | 1.417   | 1.667   | 1.330   |
| 12         | 1.330   | 0.917   | 1.667   | 1.167   | 0.750   | 1.583   | 0.917   | 1.250   | 1.330   | 0.833   | 0.917   | 1.000   | 1.167   |
| 13         | 1.250   | 1.330   | 1.417   | 1.080   | 1.000   | 1.500   | 1.000   | 1.000   | 1.080   | 1.417   | 0.833   | 0.917   | 1.417   |
| 14         |         | 1.250   | 1.250   |         |         | 0.917   | 1.080   | 0.917   | 1.417   | 1.500   | 1.583   | 0.833   |         |
| 15         |         | 1.167   | 1.417   |         |         | 0.750   | 1.417   | 1.417   |         | 1.330   |         |         |         |
| 16         |         | 1.500   |         |         |         |         | 1.500   |         |         |         |         |         |         |
| N          | 13      | 16      | 15      | 13      | 13      | 15      | 16      | 15      | 14      | 15      | 14      | 14      | 13      |
| Mean       | 1.00785 | 1.11925 | 1.30520 | 1.07623 | 0.96723 | 1.06653 | 1.22844 | 1.14367 | 1.16557 | 1.12740 | 1.26743 | 1.18979 | 1.24931 |
| Sd         | 0.29555 | 0.27004 | 0.26501 | 0.21643 | 0.22119 | 0.28026 | 0.21196 | 0.18732 | 0.22643 | 0.25940 | 0.28348 | 0.28564 | 0.24540 |
| BKA        | 1.59895 | 1.65932 | 1.83522 | 1.50909 | 1.40960 | 1.62705 | 1.65235 | 1.51830 | 1.61844 | 1.64621 | 1.83438 | 1.76106 | 1.74010 |
| BKB        | 0.41674 | 0.57918 | 0.77519 | 0.64337 | 0.52486 | 0.50602 | 0.80452 | 0.76904 | 0.71270 | 0.60859 | 0.70048 | 0.61851 | 0.75851 |
| PR         | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    | 1.09    |
| Win        | 1.09855 | 1.21998 | 1.42267 | 1.17309 | 1.05428 | 1.16252 | 1.33900 | 1.24600 | 1.27047 | 1.22887 | 1.38150 | 1.29687 | 1.36175 |
| Allow.pre  | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    | 16 %    |
| Allow.fail | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    | 22 %    |
| Wsp        | 1.3078  | 1.4524  | 1.6837  | 1.3965  | 1.2551  | 1.3840  | 1.5940  | 1.4840  | 1.5125  | 1.4629  | 1.6446  | 1.5439  | 1.6211  |
| Wsf        | 1.4084  | 1.5641  | 1.8239  | 1.5040  | 1.3516  | 1.4904  | 1.7167  | 1.5982  | 1.6288  | 1.5755  | 1.7712  | 1.6626  | 1.7458  |

Lampiran 5. Tabel perhitungan waktu standar (dalam jam) perbaikan mesin press untuk proses hot forming

| No         | MS 5    | MS 6    | MS 7    | MS 8    | MS 9    | MS 10   | MS 11   | MS 12   | MS 13   | MS 14   | MS 15   | MS 16   | MS 17   | MS 18   | MS 21   | MS 22   | MS 23   | MS 24   | MS 25   | MS 26   |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1          | 0.833   | 1.250   | 1.000   | 1.417   | 0.917   | 1.080   | 1.167   | 1.250   | 1.000   | 1.250   | 1.080   | 1.250   | 1.330   | 0.667   | 1.080   | 0.917   | 0.833   | 0.750   | 0.667   | 1.250   |
| 2          | 0.750   | 1.080   | 1.250   | 1.250   | 1.080   | 1.250   | 1.000   | 1.330   | 0.917   | 1.417   | 1.167   | 1.000   | 0.750   | 0.917   | 1.330   | 1.167   | 1.000   | 0.917   | 0.750   | 1.330   |
| 3          | 1.108   | 0.833   | 0.917   | 1.500   | 1.250   | 1.330   | 1.583   | 1.000   | 0.750   | 1.330   | 1.000   | 0.917   | 0.917   | 1.080   | 1.000   | 1.250   | 1.080   | 1.000   | 1.000   | 1.000   |
| 4          | 1.000   | 1.000   | 0.750   | 0.917   | 0.750   | 1.000   | 1.167   | 1.167   | 0.833   | 1.000   | 0.917   | 1.080   | 0.833   | 1.250   | 0.833   | 1.417   | 1.250   | 1.167   | 0.917   | 0.917   |
| 5          | 1.330   | 0.917   | 1.583   | 1.000   | 1.000   | 0.917   | 0.917   | 1.000   | 1.167   | 0.917   | 0.667   | 1.500   | 1.080   | 0.833   | 1.417   | 1.500   | 1.417   | 1.330   | 1.080   | 1.080   |
| 6          | 0.833   | 1.583   | 1.080   | 0.750   | 1.080   | 1.080   | 1.250   | 0.917   | 0.833   | 1.080   | 0.75    | 1.583   | 1.167   | 1.250   | 0.917   | 1.583   | 1.500   | 1.500   | 1.250   | 1.167   |
| 7          | 1.167   | 1.417   | 1.667   | 1.330   | 1.250   | 1.583   | 1.417   | 0.833   | 1.000   | 1.250   | 0.917   | 0.917   | 1.330   | 1.000   | 1.000   | 1.667   | 0.917   | 1.000   | 0.833   | 1.330   |
| 8          | 1.500   | 0.917   | 1.330   | 1.583   | 1.500   | 1.167   | 1.500   | 1.250   | 1.250   | 1.167   | 1.500   | 0.833   | 1.417   | 1.417   | 1.500   | 0.833   | 1.167   | 1.667   | 1.167   | 1.417   |
| 9          | 1.000   | 1.667   | 0.833   | 1.417   | 1.583   | 1.000   | 1.583   | 1.330   | 0.667   | 0.917   | 1.417   | 0.750   | 1.583   | 1.500   | 1.250   | 1.080   | 1.330   | 1.500   | 1.417   | 1.583   |
| 10         | 0.750   | 1.080   | 1.000   | 1.667   | 1.080   | 0.917   | 0.833   | 1.080   | 1.080   | 0.833   | 1.583   | 1.330   | 1.000   | 0.917   | 1.080   | 1.167   | 1.667   | 1.667   | 1.000   | 0.833   |
| 11         | 1.167   | 1.500   | 1.417   | 1.080   | 1.000   | 0.833   | 1.250   | 1.417   | 1.417   | 1.250   | 1.250   | 1.167   | 0.750   | 1.250   | 0.833   | 1.250   | 1.000   | 1.080   | 1.500   | 1.417   |
| 12         | 1.583   | 1.167   | 1.583   | 1.167   | 0.917   | 1.250   | 1.667   | 1.583   | 0.917   | 1.417   | 1.080   | 0.917   | 1.080   | 1.417   | 1.250   | 1.000   | 0.917   | 0.917   | 1.167   | 1.250   |
| 13         | 1.500   | 0.833   | 1.167   | 1.330   | 0.750   | 1.417   | 1.000   | 1.330   | 0.833   | 1.000   | 0.917   | 1.000   | 1.330   | 1.330   | 1.417   | 1.667   | 1.080   | 0.750   | 1.330   | 1.330   |
| 14         | 0.917   | 1.330   | 0.750   | 1.000   | 1.500   | 1.583   | 1.080   | 1.000   | 1.250   | 0.833   | 1.000   | 1.330   | 1.667   | 1.00    | 1.250   | 1.417   | 1.250   | 0.667   | 1.417   | 0.750   |
| 15         | 1.667   | 0.917   | 0.833   |         | 1.330   |         |         | 0.917   | 1.417   |         | 1.330   |         |         |         | 1.330   |         |         | 1.167   |         | 1.167   |
| 16         |         |         |         |         | 1.250   |         |         |         |         |         | 1.417   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| N          | 15      | 15      | 15      | 14      | 16      | 14      | 14      | 15      | 15      | 14      | 16      | 14      | 14      | 14      | 15      | 14      | 14      | 15      | 14      | 15      |
| Mean       | 1.14033 | 1.16607 | 1.14400 | 1.24343 | 1.13981 | 1.17193 | 1.24386 | 1.16027 | 1.02207 | 1.11864 | 1.12450 | 1.11243 | 1.15957 | 1.13057 | 1.16580 | 1.27964 | 1.17200 | 1.13860 | 1.10679 | 1.18807 |
| Sd         | 0.31092 | 0.27820 | 0.31406 | 0.26846 | 0.25580 | 0.24117 | 0.26861 | 0.21649 | 0.23461 | 0.20587 | 0.27029 | 0.25398 | 0.29474 | 0.25030 | 0.21814 | 0.27098 | 0.24351 | 0.32976 | 0.26016 | 0.23426 |
| BKA        | 1.76217 | 1.72247 | 1.77212 | 1.78035 | 1.65141 | 1.65426 | 1.78108 | 1.59325 | 1.49129 | 1.53038 | 1.66507 | 1.62039 | 1.74906 | 1.63117 | 1.60208 | 1.82161 | 1.65902 | 1.79812 | 1.62711 | 1.65659 |
| BKB        | 0.51850 | 0.60967 | 0.51588 | 0.70661 | 0.62821 | 0.68960 | 0.70663 | 0.72729 | 0.55284 | 0.70691 | 0.58393 | 0.60447 | 0.57009 | 0.62997 | 0.72952 | 0.73768 | 0.68498 | 0.47908 | 0.58647 | 0.71965 |
| PR         | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    | 1.03    |
| Wh         | 1.17454 | 1.20105 | 1.17832 | 1.28073 | 1.17401 | 1.20709 | 1.28117 | 1.19508 | 1.05273 | 1.15220 | 1.15824 | 1.14580 | 1.19436 | 1.16449 | 1.20077 | 1.31803 | 1.20716 | 1.17276 | 1.13999 | 1.22371 |
| Allow.pre  | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    | 18 %    |
| Allow.fail | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    | 23 %    |
| Wsp        | 1.4324  | 1.4647  | 1.4370  | 1.5619  | 1.4317  | 1.4721  | 1.5624  | 1.4574  | 1.2838  | 1.4051  | 1.4125  | 1.3973  | 1.4565  | 1.4201  | 1.4644  | 1.6074  | 1.4721  | 1.4302  | 1.3902  | 1.4923  |
| Wsf        | 1.5254  | 1.5598  | 1.5303  | 1.6633  | 1.5247  | 1.5676  | 1.6639  | 1.5520  | 1.3672  | 1.4964  | 1.5042  | 1.4481  | 1.5511  | 1.51223 | 1.5594  | 1.7117  | 1.5677  | 1.5231  | 1.4805  | 1.5882  |

**Lampiran 6. Tabel Biaya Preventive dan Biaya Failure**

| Mesin          | Biaya tenaga kerja (Rp) | Harga komponen (Rp) | Biaya kehilangan produksi / jam (Rp) | Wsf (jam) | Wsp (jam) | Cf (Rp) | Cp (Rp) |
|----------------|-------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|---------|---------|
| Forming 1      | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.4084    | 1.3078    | 491360  | 21752   |
| Forming 2      | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.5641    | 1.4524    | 543547  | 22023   |
| Forming 3      | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.8239    | 1.6937    | 630626  | 22476   |
| Forming 4      | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.5040    | 1.3965    | 523403  | 21918   |
| Forming 5      | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.3516    | 1.2551    | 472323  | 21653   |
| Forming 6      | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.4904    | 1.3840    | 518845  | 21895   |
| Forming 7      | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.7167    | 1.5940    | 594695  | 22289   |
| Forming 9      | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.5982    | 1.4840    | 554977  | 22083   |
| Forming 10     | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.6288    | 1.5125    | 565233  | 22136   |
| Forming 11     | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.5755    | 1.4629    | 547368  | 22043   |
| Forming 12     | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.7712    | 1.6446    | 612962  | 22384   |
| Forming 13     | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.6626    | 1.5439    | 576562  | 22195   |
| Forming 14     | 1875                    | 19300               | 333300                               | 1.7485    | 1.6211    | 604449  | 22340   |
| Hot forming 5  | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5254    | 1.4324    | 403368  | 148986  |
| Hot forming 6  | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5598    | 1.4647    | 409165  | 149046  |
| Hot forming 7  | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5303    | 1.4370    | 404194  | 148994  |
| Hot forming 8  | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.6633    | 1.5619    | 426608  | 149229  |
| Hot forming 9  | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5247    | 1.4317    | 403250  | 148984  |
| Hot forming 10 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5676    | 1.4721    | 410480  | 149060  |
| Hot forming 11 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.6639    | 1.5624    | 426709  | 149230  |
| Hot forming 12 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5520    | 1.4574    | 407851  | 149033  |
| Hot forming 13 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.3672    | 1.2838    | 376707  | 148707  |
| Hot forming 14 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.4964    | 1.4051    | 398481  | 148935  |
| Hot forming 15 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5042    | 1.4125    | 399795  | 148948  |
| Hot forming 16 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.4881    | 1.3973    | 397082  | 148920  |
| Hot forming 17 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5511    | 1.4565    | 407699  | 149031  |
| Hot forming 18 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5123    | 1.4201    | 401160  | 148963  |
| Hot forming 21 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5594    | 1.4644    | 409098  | 149046  |
| Hot forming 22 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.7117    | 1.6074    | 434764  | 149314  |
| Hot forming 23 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5677    | 1.4721    | 410497  | 149060  |
| Hot forming 24 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5231    | 1.4302    | 402980  | 148982  |
| Hot forming 25 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.4805    | 1.3902    | 395801  | 148907  |
| Hot forming 26 | 1875                    | 146300              | 166650                               | 1.5892    | 1.4923    | 414120  | 149098  |