

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:

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

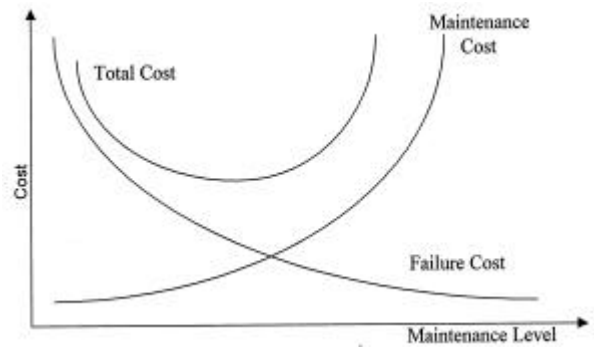
Dan integral $t f(t) dt$ dapat dinyatakan :

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

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

σ = 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_n)

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*

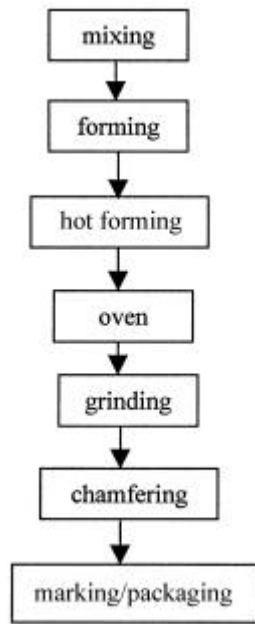
Proses *forming* merupakan proses pembentukan awal pada material sesuai dengan bentuk kanvas rem yang akan dibuat. Pada proses ini digunakan mesin *Hydraulic Press* dengan tekanan lebih kurang sebesar 150 kg/cm² yang diberikan pada *mould*. Proses *forming* terdiri atas proses penekanan dan proses *bumping*.

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/cm². 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 MTTF (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	1260	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	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam
N'	2	3	2	3	1	2	2	2	2	3	2	2	2
Ket.	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup

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

No	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	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	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	Data seragam	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	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	Data cukup	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	0.833	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	1.330	1.000	1.000	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