

ANALISIS PERAWATAN ROBOT SPOT UNTUK MENGETAHUI KEANDALAN MESIN PRODUKSI DAN KETERSEDIAAN SPARE PART PADA DEPARTEMEN MAINTENANCE PT. ASTRA DAIHATSU MOTOR JAKARTA

Suhartono¹

¹Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik
Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa (UST) Yogyakarta.

Masuk: 15 Juli 2008, revisi : 21 Desember 2008 , diterima: 8 Januari 2009

ABSTRACT

Robot Spot is one of an important machine in production activities of vehicle assembly, for example PT. Astra Daihatsu Motor, Jakarta. During production activity, relying on machine is the most significant thing that should be preserved, such as Robot Spot under Body four and Robot Spot Main Body seven. That is suggested; in order continually maintenance could be performed effectively. Relying on of production machines and the willingness spare parts must be accounted to calculate their values of reliability factors, maintainability factors, availability factors and the spare part stocks. Those are approached by goodness of fit test analyses, to predict time and the damaged distributions, life times and the costs of maintenance within the machines. Based on those analyses, both robot spot under body four and robot spot main body seven are having medium reliability with good condition, low rate of damage, and still accurate to be operated. However, it is still necessary to overhaul those machines, so that new machines are not required.

Keywords: Maintenance, Reliability, Cost, Availability, Machine.

INTISARI

Robot Spot merupakan salah satu mesin produksi yang digunakan dalam industri perakitan mobil, seperti yang digunakan di PT. Astra Daihatsu Motor, Jakarta. Dalam kegiatan proses produksi, keandalan mesin merupakan bagian yang sangat penting dalam perawatan. Salah satu contohnya adalah dalam perawatan *Robot Spot Under Body 4* dan *Robot Spot Main Body 7*. Perawatan secara berkesinambungan diperlukan dengan harapan dapat meminimalkan tingkat kerusakan dan efektifitas sistem produksi. Untuk itu, perlu adanya perhitungan untuk memprediksi nilai keandalan mesin, sehingga dapat diprediksi penyediaan suku cadangnya jika sewaktu-waktu mengalami kerusakan. Dalam artikel telah diprediksi nilai faktor ketahanan alat, nilai faktor kemampuannya untuk dapat dipelihara, nilai faktor ketersediaan suku cadang dan prediksi jumlah persediaan suku cadang. Analisis menggunakan pendekatan *goodness of fit test*, untuk memprediksi waktu kerusakan, distribusi kerusakan, masa beroperasinya mesin dan biaya perawatan mesin. Dari hasil analisis, diketahui bahwa kedua *robot spot under body 4* dan *robot spot main body 7* memiliki keandalan tingkat menengah dengan rata-rata laju kerusakan rendah, serta kondisi pengoperasian masih memuaskan. Namun, perlu dipertimbangkan untuk melakukan *overhaul*, sehingga tidak perlu adanya penggantian *robot spot* baru.

Kata Kunci : Perawatan, Keandalan, Biaya, Ketersediaan, Mesin

PENDAHULUAN

Umumnya, hampir semua perusahaan industri selalu memiliki departemen perawatan (*maintenance*). Departemen ini bertugas mengurus segala sesuatu yang berkaitan dengan masalah perawatan dan komponen-komponen,

dari departemen tersebut adalah bahwa setiap mesin/peralatan kerja dan lain-lain pasti akan mengalami kerusakan (*break down*).

Keandalan suatu mesin merupakan kunci sukses dari berjalannya suatu sistem dalam perusahaan. Dengan sis-

¹ Email: sharjosaputro@yahoo.co.id,
HP: 08164261596

tem yang handal, maka produk perusahaan tersebut akan mampu berkompetisi dengan produk lainnya. Menjelang perdagangan bebas dan era teknologi global, setiap perusahaan dituntut untuk mampu beradaptasi dengan lingkungannya (Supandi, 1993).

Masalah perawatan mempunyai dampak besar dalam menjamin kelancaran proses produksi, kelancaran proses produksi sering terganggu karena mesin mengalami kerusakan (*break down*). Kerusakan mesin yang timbul biasanya disebabkan oleh faktor keausan. Untuk itu, dalam menjaga produksi, diperlukan adanya penggantian *spare part* atau komponen dari mesin yang dioperasikan.

Ada beberapa faktor penyebab kerusakan mesin, yaitu: keausan (*wear out*), korosi (*corrosion*) dan kelelahan (*fatigue*). Oleh (Suharto, 1991). Untuk menghindari terjadinya kerusakan permanen perlu diadakan perawatan secara efektif, ekonomis dan memadai.

Dari uraian diatas dapat dirumuskan bahwa, dalam proses produksi, setiap mesin perlu dilakukan analisis prediksi terhadap waktu terjadinya kerusakan dan biaya perawatan, serta menentukan kebutuhan *spare part* mesin.

Menurut Grag (1994), perawatan merupakan salah satu fungsi kegiatan logistik yang paling penting mendukung kesiapan pengoperasian alat. Perawatan didefinisikan sebagai salah satu kegiatan merawat fasilitas sehingga fasilitas tersebut berada pada kondisi siap pakai sesuai kebutuhan. Kata lain perawatan adalah kegiatan dalam rangka mengupayakan fasilitas produksi agar berada pada kemampuan produksi yang dikehendaki (Mustofa, 2002). Yaitu dengan menyiapkan personil, fasilitas dan metode perawatan untuk menghasilkan produk yang handal dan aman dengan menggunakan sumber daya yang efektif dan efisien sehingga dapat mempertahankan tingkat kesiapan dan keandalan sistem sesuai kebutuhan operasi (Mustofa, 2002).

Keandalan (*reliability*) merupakan probabilitas sistem atau produk untuk dapat beroperasi secara memuaskan, untuk periode/waktu tertentu dan dalam kondisi

tertentu pula (Alain, dkk, 1992). Keandalan $R(t)$ adalah :

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

$F(t)$ =kemungkinan sistem akan rusak/ tidak berfungsi pada waktu (t). $F(t)$ merupakan fungsi distribusi kerusakan atau fungsi ketidakhandalan.

Maintainability adalah kemampuan suatu sistem sehingga dapat dipelihara. Pemeliharaan merupakan serangkaian tindakan yang harus diambil untuk memperbaiki atau mempertahankan sistem agar tetap berada dalam keadaan siap dioperasikan. *Maintainability* juga dapat didefinisikan sebagai karakteristik dalam rekayasa yang diekspresikan sebagai hal yang berkenaan dengan faktor frekuensi dan waktu pemeliharaan, dalam lintas waktu tertentu. *Maintainability* memerlukan pertimbangan dari banyak faktor meliputi aspek-aspek yang berasal dari sistemnya sendiri, serta dari hasil pengukuran *maintainability* tersebut. *Maintainability* melibatkan kombinasi (Balbir, dkk., 1985):

$$\bar{M}_{ct} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ct}}{n} \dots\dots\dots (2)$$

\bar{M}_{ct} adalah (waktu rata-rata perawatan korektif)

$$\bar{M}_{pt} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{pt}}{n} \dots\dots\dots (3)$$

\bar{M}_{pt} adalah (waktu rata-rata perawatan preventif)

$$MTBM = \frac{\text{Total Waktu Operasi}}{\text{Jumlah Perawatan}} \dots\dots(4)$$

MTBM adalah (waktu pemeliharaan antar rata-rata)

$$f_{pt} = \frac{[1 - \lambda MTBM]}{MTBM} \dots\dots (5)$$

Frekuensi pemeliharaan individu terjadwal (f_{pt})

$$\bar{M} = \frac{\lambda \bar{M}_{ct} + f_{pt} \bar{M}_{pt}}{\lambda + f_{pt}} \dots(6)$$

Waktu pemeliharaan aktif rata-rata (\bar{M})

Rata-rata *down time* pemeliharaan (MDT)

$$MDT = ADT + LDT + \bar{M} \dots\dots (7)$$

ADT = *Administration Delay Time*
LDT = *Logistics Delay Time*

Ketersediaan adalah kemungkinan suatu komponen/sistem dapat berfungsi seperti yang dikehendaki, berdasarkan waktu yang diberikan, ketika komponen/sistem tersebut digunakan di bawah kondisi operasi tertentu. Ketersediaan merupakan ukuran keberhasilan suatu sistem atau produk untuk mulai melaksanakan misi operasi tertentu dimana waktu pemanggilan sistem/produk tidak ditentukan. *Availability* dapat didefinisikan oleh (Mustofa, 2002):

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \dots\dots(8)$$

MTBF = *Mean Time Between Failure*
MDT= rata-rata *down time* pemeliharaan

Persediaan adalah sejumlah bahan-bahan yang disediakan dan bahan-bahan proses yang tersedia dalam perusahaan. Bahan dan barang-barang tersebut ditujukan untuk memenuhi kebutuhan proses produksi.

$$P(l, t, \lambda) = e^{-\lambda t} \left[\sum_{I=0}^{I=n} \frac{(\lambda t)^I}{I!} \right] \dots\dots(9)$$

l = jumlah yang dicadangkan, l = 1,2,3.n
t = periode waktu persediaan l > 0
λ=laju kerusakan pada periode waktu (t)

Pembeayaan perawatan terdiri atas dua hal yaitu :

- Biaya Tetap (*Fixed Cost*) yaitu biaya dimana biaya total relatif tetap sampai dengan tingkat output tertentu, sedangkan biaya/unit berubah-ubah me nurut outputnya.
- Biaya tak tetap (*Variabel Cost*) yaitu biaya dimana total biaya cenderung berubah sesuai dengan perubahan volume/hasil, sedangkan biaya per-unit tidak berubah (konstan).

Biaya perawatan total terdiri dari biaya perawatan pencegahan, biaya perawatan korektif dan biaya *over haul*. Biaya-beaya perawatan korektif yang selain dari pada penggantian elemen-elemen pembantu dari pada elemen mesin yang perlu diperhitungkan adalah biaya perawatan mesin, pengadaan dan penyimpanan *spare part* (Suharto, 1991). Biaya Perawatan Mesin terdiri:

Biaya Pelumasan =

$$\left(\frac{0,75.N}{195,9} + \frac{c}{t} \right) X_1 \text{ (Rp/jam)} \dots\dots(10)$$

X₁ = harga minyak pelumas (Rp/jam)
N = daya *out put engine* (Hp)
C = kapasitas *carter olie* = 0,15 .N (liter)
t = periode penggantian olie
Biaya pelumas ini untuk mesin-mesin yang perlu pelumasan sistim celup yang memiliki *carter* (penampung olie).

Biaya Minyak Hidrolis =

$$1,2 \times \frac{C}{t} \times X_2 \text{ (Rp/liter)} \dots\dots(11)$$

C=kapasitas minyak hidrolis(2,8 .N(liter)
t = 2000 jam
X₂ = harga minyak hidrolis (Rp/liter)
N = daya hidrolis mesin (Hp).
Minyak hidrolis dipergunakan untuk mesin-mesin yang menghasilkan daya hidrolis. Biaya Pemberian *Grease (Vaseline)* adalah jenis pelumas kering untuk megurangi timbulnya keausan.

Biaya Pemberian *Grease (Vaseline)* =

$$3 \times 10^{-4} N \cdot X_3 \text{ (Rp/jam)} \dots\dots(12)$$

N = daya mesin (Hp)
X₃ = harga *grease* (Rp/kg)
t = 3x10⁻⁴.

Total Biaya *Preventive Maintenance* dihitung berdasarkan persamaan empirik (Garg H.P, 1994).

Total Biaya Material *Preventive Maintenance* = (Biaya Pelumasan + Biaya Pemberian *Grease*) x jam produksi(13)

Biaya *Preventive* =

$$[(TK \cdot 2,5\%) + (\text{Material} \cdot 1\%)] \dots\dots(14)$$

Beaya *Over haul* =
 $[(TK \cdot 100\%) + (MAT \cdot 60\%)] \dots\dots\dots (15)$
 TK = beaya tenaga kerja (rupiah)
 MAT = biaya material (rupiah).

Total Beaya Perawatan =
 Beaya *Preventive* + Beaya *Over haul* ..(16)

Perhitungan *Persediaan Spare Part*: *Persediaan Spare Part* diperhitungkan didasarkan pada elemen mesin yang sering mengalami kerusakan, yaitu elemen mesin yang bergerak baik berputar (rotasi) maupun translasi, mendapatkan beban berat sehingga mengalami keausan dan usakan, dan juga elemen mesin yang dalam bekerjanya memiliki umur tertentu. Sehingga *persediaan maksimum dan minimum spare part* dihitung dengan persamaan berikut: (Suwandi, 1999).

Persediaan spare part maksimum.
 $(N_1) = (n \cdot t \cdot a) / (k \cdot s) \dots\dots\dots (17.a)$

Persediaan spare part minimum
 $(N_2) = N_1 / 4 \dots\dots\dots(17.b)$

n = Jumlah bagian mesin yang sama
 t=Waktu/umur bagian mesin (*spare part*)
 s = Waktu perbaikan dalam bulan
 a = Faktor koreksi
 k = Jumlah mesin yang sama

Batas pemesanan kembali suku cadang (Supandi, 1993):
 $Q_0 = a \times t_0 \dots\dots\dots (18)$

Q_0 =Batas stok untuk titik pemesanan
 A = Jumlah barang dibutuhkan/tahun
 t_0 = Waktu pengadaan

Penelitian dalam rangka penyusunan makalah ini telah dilakukan di PT. Astra Daihatsu Motor Cabang Jakarta. Data spesifikasi mesin, perawatan dan pengoperasian mesin telah diperoleh. Data yang telah dikumpulkan selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan pendekatan *goodness of fit test*. Hasil analisis selanjutnya dilakukan pembahasan/sintesis untuk menentukan besaran tingkat laju kerusakan, jumlah suku cadang yang diperlukan untuk pemeliharaan dan beaya pemeliharaan.

Metode Analisis Pengujian Bentuk Distribusi, data hasil pengamatan selanjutnya dilakukan pengujian distribusi kerusakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Menentukan distribusi kerusakan mesin, menentukan waktu perawatan korekif rata-rata:

$$\bar{M}_{ct} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ct}}{n} \dots\dots\dots(19)$$

- Menghitung nilai sebaran data Kisaran = nilai data tertinggi dikurangi nilai data terendah
- Menghitung jumlah kelas interval, yaitu dengan menggunakan rumus *struges* (Dimitri K, 1991)
- Kelas interval = $1 + 3,3 \log n$
- Menentukan lebar kelas interval

$$i = \frac{\text{nilai kisaran}}{\text{Jumlah kelas interval}} \dots\dots\dots (20)$$

Bentuk distribusi kerusakan diketahui melalui pengujian kesesuaian bentuk distribusi, dengan menggunakan uji statistik "*goodness of fit test*" (Walpole, 1986), yaitu: Menentukan hipotesis (H); meliputi hipotesis awal (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1)

- Hipotesis awal (H_0): pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) terhadap distribusi kerusakan yang nilainya dihitung berdasarkan analisis distribusi weibull.
- Hipotesis alternatif (H_1) adalah Distribusi kerusakan *corrective maintenance* tidak mengikuti distribusi weibull.
- Nilai taraf nyata (α) = 0,05
- Pengujian statistik χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (O_i - H_i)^2}{H_i} \dots\dots\dots (21)$$

Derajat bebas (V) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$V = k - P - 1 \dots\dots\dots(22)$$

k = jumlah interval
 O_i = frekuensi hasil pengamatan ke-i
 H_i = frekuensi harapan kelas ke-i = $n \cdot p_i$
 & $H_i \geq 5$
 n = jumlah sampel
 V = derajat bebas

P = jumlah parameter yang ditaksir.

Nilai daerah penerimaan (H_0) adalah:

$$H_0 = X^2_{hitung} \leq X^2(\alpha, v)_{tabel} \dots\dots (23)$$

Analisis penolakan untuk nilai X^2 , H_0 : ditolak/diterima, sedangkan Nilai $r(t)$ dan MTBF dihitung sesuai dengan parameter distribusi yang digunakan.

PEMBAHASAN

Pengumpulan Data, dalam artikel ini adalah: data spesifikasi mesin, *preventif/corrective maintenance time*, ketersediaan dan jenis suku cadang, persediaan & harga suku cadang yang telah ada untuk perawatan mesin, waktu total pengoperasian mesin, jumlah kerusakan yang terjadi, dan biaya perawatan. Pada makalah ini dibahas dua jenis mesin robot yaitu *robot spot under body 4* dan *robot spot main body 7* mengapa dipilih 2 jenis robot ini karena paling banyak dioperasikan dan paling banyak mengalami perawatan dan kerusakan. Robot spot adalah sejenis robot yang digunakan sebagai pengelasan. Robot *spot under body 4* digunakan untuk pengelasan bagian bawah (lantai mobil), sedangkan *robot spot main body 7* digunakan untuk proses pengelasan bagian bodi utama mobil. Karena jenisnya berbeda, maka tentunya perawatannya pun berbeda.

Tabel 1. Data Waktu *Preventive Maintenance*

Tanggal	Waktu (jam)	Tanggal	Waktu (jam)
10 Jan 04	0,17	29 Mei 04	0,37
22 Feb 04	0,58	1 Jun 04	0,13
8 Apr 04	0,42	13 Jul 04	0,67
15 Apr 04	1,28	9 Aug 04	0,67
20 Apr 04	1,75	10 Aug 04	0,50
21 Apr 04	0,25	15 Aug 04	0,15
26 Apr 04	0,75	6 Okt 04	0,33
6 Mei 04	0,27	24 Okt 04	0,15
11 Mei 04	0,17	3 Des 04	0,33
23 Mei 04	0,52	15 Des 04	0,17

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Hasil pengamatan pada *robot spot under body 4* berhasil mengetahui bahwa alat ini telah dioperasikan dalam

waktu yang bervariasi, dengan waktu pemeliharaan yang tertentu juga, yaitu antara 0,13 hingga 1,75 jam untuk hari-hari yang tertentu. Hasil selengkapnya dapat dilihat dari (Tabel 1). Hal itu tentunya diatur berdasarkan penggunaan alatnya per hari. Data pengamatan menunjukkan bahwa makin lama alat beroperasi, makin lama pula alat tersebut memerlukan perawatan. Tabel 2 adalah data waktu perawatan korektif yang ditujukan untuk menjaga dan memastikan bahwa mesin tersebut mampu beroperasi dengan baik. Data waktu korektif tersebut mengindikasikan bahwa rata-rata mesin selalu dilakukan kalibrasi dua kali dalam seminggu.

Tabel 2. Data Waktu *Corrective Maintenance*

Tanggal	Waktu (jam)
6 Juli 04	0,58
9 Juli 04	2,33
14 Juli 04	0,52
17 Juli 04	1,40
22 Juli 04	0,50
28 Juli 04	0,42
29 Juli 04	0,53
1 Nov 04	1,30
3 Nov 04	1,33
25 Nov 04	0,15

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Tabel 3. Biaya Perawatan dan Penggantian Suku Cadang

No	Suku Cadang	Jum	Harga (Rp)
1	Tip gun GKDT 13	4	34.600
2	Limits switch	1	185.000
3	Eltip spesial	2	357.800
4	Kabel solenoid	1	4.100
5	Tip base holder	2	1.022.297
6	Kabel kikles	1	26.900
	Shank KS 1645	2	103.500
	Obara		
7	Flow switch	1	829.500
8	Adaptor GNA 2490	4	715.000
9	Fitting	4	10.500
Total			3.289.197

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Biaya yang diperlukan untuk perawatan *robot spot under body 4* juga bervariasi tergantung dari jenis penggantian suku cadang seperti tampak pada (Tabel 3). Dari sini dapat diprediksi berapa masa aktif alat mampu ber-

operasi dengan baik, dan karena harga suku cadang telah diketahui, maka biaya perawatan tersebut dapat dihitung dengan lebih mudah.

Robot *Spot Main Body 7* telah dilakukan perawatan untuk pencegahan kerusakan satu-dua kali per minggu dengan waktu perawatan antara 0,10 sampai 1,58 jam tergantung dari tingkat pemakaiannya seperti ditunjukkan pada (Tabel 4).

Tabel 4. Data Waktu *Preventive Maintenance*

Tanggal	Waktu (jam)	Tanggal	Waktu (jam)
3 Jan 04	0,25	28 Mei 04	0,33
6 Jan 04	0,67	1 Jun 04	1,00
17 Jan 04	0,75	10 Jun 04	0,15
5 Mar 04	0,41	22 Jun 04	0,88
10 Mar 04	0,15	9 Jul 04	0,47
11 Mar 04	0,55	2 Aug 04	0,25
19 Apr 04	1,58	6 Aug 04	0,42
21 Apr 04	0,23	7 Aug 04	0,15
26 Apr 04	0,22	15 Aug 04	1,50
6 Mei 04	0,32	18 Aug 04	0,10
11 Mei 04	0,17	15 Des 04	0,17
23 Mei 04	0,52		

Mesin juga telah dilakukan perawatan korektif dengan tujuan untuk menjaga agar alat tetap dapat dioperasikan sesuai dengan yang dikehendaki oleh operator. Perawatan ini dilakukan secara tidak terjadwal sesuai dengan waktu istirahat alat. Perawatan korektif memerlukan waktu antara 0,08-1,83 jam, sesuai dengan kebutuhan diperlihatkan pada (Tabel 5).

Biaya yang diperlukan untuk perawatan mesin tersebut terdiri dari biaya pengadaan suku cadang untuk sebanyak 17 jenis alat, sehingga membutuhkan biaya sekitar dua juta rupiah sebagaimana diperlihatkan pada (Tabel 6). Tidak semua suku cadang disediakan dalam perawatan ini, namun suku cadang-suku cadang dengan masa aktif tertentu membutuhkan persediaan yang cukup.

Pengolahan Data Menentukan nilai faktor keandalan, *maintainability* dan *availability*. Didasarkan atas data hasil pengamatan faktor pemeliharaan preventif dan pemeliharaan korektif, maka kedua robot, *spot under body 4* dan *spot main body 7* memiliki faktor-faktor reliabi-

litas sebagaimana yang ditunjukkan pada (Tabel 7).

Tabel 5. Data Waktu *Corrective Maintenance*

Tanggal	Waktu (jam)
2 Feb 04	0,33
12 Feb 04	0,08
15 Feb 04	0,67
2 Sept 04	0,53
3 Sept 04	0,25
5 Sept 04	0,55
8 Sept 04	0,75
18 Sept 04	0,33
22 Sept 04	0,33
23 Sept 04	1,83
28 Sept 04	0,75
30 Sept 04	0,62

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Tabel 6. Biaya Perawatan Penggantian Suku Cadang

No	Material/Suku Cadang	Jum	Beaya (Rp)
1	Valve ½ inc kitz	2	70.000
2	Kabel power current	1	7.476
3	Pen tip	2	31.620
4	Pin cotterl	2	30.600
5	Bearing	4	160.000
6	Nepel	2	400.500
7	Kabel primary	1	50.161
8	Tip gun GKDT 16	4	157.600
9	Pipa kapiler	1	40.000
10	Shank KS 1670	2	300.800
	Obara		
11	Kabel extrac	1	4.000
12	Kabel kikles	1	27.100
13	Grease	1	593.909
14	Adaptor GNA 1410	2	324.800
15	O-ring	4	10.000
Total			2.208.566

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Analisis didasarkan perhitungan menggunakan persamaan (1) sampai (4). Hasil analisis menjumpai bahwa: *Robot Spot Under Body 4*, memiliki nilai keandalan $R(t)$ sebesar 68,38% yang berarti robot memiliki probabilitas tidak mengalami kerusakan sebesar 68,38%, dan tingkat probabilitas kerusakannya 31,62%.

Robot akan mengalami kerusakan sedang dengan probabilitas laju kerusakan $r(t)$ sebesar 29,49%/100 jam dan

rata-rata masa kerusakan (MTBF) sebesar 2,42 jam sebagaimana diperlihatkan pada (Tabel 7).

Tabel 7. Nilai Parameter Keandalan Faktor

No	Parameter	Nilai Parameter	
		Robot Spot Under Body 4	Robot Spot Main Body 7
1	MTBF	2,42 jam	1,98 jam
2	f(t)	20,48 %	33,04%
3	F(t)	31,62%	32,34%
4	R(t)	68,38%	67,66%
5	r(t)	29,49 %	47,79 %

Untuk *Robot Spot Main Body 7*, memiliki nilai keandalan R(t) sebesar 67,66% yang berarti robot memiliki probabilitas tidak mengalami kerusakan sebesar 67,66% dan 32,34%. Robot akan mengalami kerusakan sedang dengan laju r(t) sebesar 47,79% dan rata-rata masa kerusakan (MTBF) sebesar 1,98 jam diperlihatkan dalam (Tabel 7).

Didasarkan atas hasil analisis nilai Keandalan tersebut, maka kedua robot memiliki nilai keandalan rata-rata R(t) sebesar 68,02% yang berarti kedua robot memiliki probabilitas tidak mengalami kerusakan sebesar 68,02% dengan probabilitas mengalami kerusakan sebesar 31,98%. Robot akan mengalami kerusakan dengan rata-rata laju kerusakannya r(t) sebesar 38,64%/100 jam, dengan rata-rata waktu kerusakan (MTBF) sebesar 2,20 jam. Jadi, kedua robot tersebut masih handal dalam melakukan proses produksi tanpa harus melakukan *over haul*.

Nilai parameter maintainabilitas ditunjukkan pada (Tabel 8). Nilai ini dianalisis dengan menggunakan persamaan (5)-(8). Didasarkan atas nilai hasil analisis *maintainability*, *Robot Spot Under Body 4*, mempunyai rata-rata waktu pemeliharaan (MTBM) sebesar 0,61 jam, waktu pemeliharaan aktif (\bar{M}) 0,5 jam, frekuensi individu perawatan terjadwal (fpt) 1,64 jam dan rata-rata *down time* pemeliharaan (MDT) 0,983 jam, yang berarti setiap 0,61 jam mesin akan mengalami perbaikan. Jadi, setiap 0,61 jam membutuhkan waktu 0,5 jam.

Robot Spot Main Body 7, mempunyai rata-rata waktu pemeliharaan (MTBM) 0,61 jam, waktu pemeliharaan aktif (\bar{M}) = 0,5 jam, frekuensi individu perawatan terjadwal (fpt) 1,64 jam dan rata-rata *down time* pemeliharaan (MDT) 0,983 jam. Hal itu dapat diterjemahkan, bahwa dalam waktu pemeliharaan yang disediakan adalah 0,61 jam, mesin secara efektif diperbaiki selama 0,5 jam.

Tabel 8. Nilai Parameter *Maintainability* Faktor

No	Parameter	Nilai Parameter	
		Robot Spot Under Body 4	Robot Spot Main Body 7
1	\bar{M}_{ct}	0,819 jam	0,585 jam
2	\bar{M}_{pt}	0,481 jam	0,489 jam
3	MTBM	0,6081 jam	0,522 jam
4	fpt	1,637193 jam	1,910 jam
5	\bar{M}_{MDT}	0,48249 jam	0,489 jam
6	MDT	0,98249 jam	0,989 jam

Didasarkan atas nilai hasil analisis *Maintainability* diketahui bahwa kedua robot tersebut mempunyai rata-rata waktu pemeliharaan (MTBF) sebesar 0,57 jam, rata-rata waktu pemeliharaan aktif (\bar{M}) sebesar 0,5 jam, frekuensi individu perawatan terjadwal (fpt) sebesar 2 jam dan rata-rata *down time* pemeliharaan (MDT) sebesar 0,99. Pada dasarnya, kedua robot tersebut memerlukan waktu pemeliharaan rata-rata selama 0,6 jam, namun pemeliharaan efektif membutuhkan waktu selama 0,5 jam.

Nilai parameter faktor *availability* ditunjukkan pada Tabel 9. Nilai ini diperoleh menggunakan persamaan (8).

Didasarkan atas hasil analisis faktor *availability* (Tabel 9), probabilitas kesiapan sistem dari kegunaan masing-masing komponen secara keseluruhan per periode adalah 74,71-77,19%. Tingkat kesuksesan sistem tersebut berada pada kisaran kira-kira 99,99% (sangat tinggi), dengan nilai probabilitas kesuksesannya 1,49-1,74%. Jadi, jika alat dioperasikan dalam waktu 100 jam, maka 99,99 jam tidak mengalami kerusakan, atau alat mengalami kerusakan selama 0,01 jam.

Tabel 9. Nilai Parameter Faktor *Availability*

No	Parameter	Nilai Parameter	
		<i>Robot Spot Under Body 4</i>	<i>Robot Spot Main Body 7</i>
1	A ₁	0,7471	0,7719
2	A _a	0,5576	0,5184
3	A ₀	0,3823	0,3452

Dalam memprediksi besar biaya perawatan mesin, menggunakan persamaan (9) sampai (12). Hasil analisis memprediksi biaya perawatan sebagaimana ditunjukkan pada (Tabel 10-12).

Biaya keseluruhan untuk perawatan kesemua peralatan yang harus disediakan oleh departemen pemeliharaan di PT. Astra Daihatsu Motor Jakarta selama tahun 2004 adalah :

- *Robot Spot Under Body 4* Rp 1.072.152,8 lebih kecil dari Rp 3.989.197,00
- Untuk *Robot Spot Main Body 7* Rp 993.276,95 lebih kecil dari Rp 2.908.566,00.

Tabel 10. Hasil Analisis Biaya Perawatan untuk *Robot Spot Under Body 4* dan *Robot Spot Main Body 7* selama setahun

Tahun	<i>Robot Spot Under Body 4</i>	<i>Robot Spot Main Body 7</i>
2004	Rp 3.289.197	Rp 2.208.566

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Tabel 11. Daftar Gaji Teknisi yang Mengoperasikan alat selama setahun

Tahun	Jumlah Teknisi	Gaji/ bulan (Rp.juta)	Gaji/ tahun (Rp. juta)	Total Gaji (Rp. juta)
2004	3 orang	0,7	8,4	25,2

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Total biaya pemeliharaan tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan biaya perawatan sesungguhnya. Kondisi tersebut terjadi karena dalam menentukan biaya perawatan sesungguhnya, menggunakan hitungan yang didasarkan pada hasil perhitungan untuk be-

ya pencegahan tanpa adanya biaya *overhaul*.

Tabel 12. Biaya Perawatan sesungguhnya yang disediakan oleh departemen maintenance selama setahun

Tahun	<i>Robot Spot Under Body 4</i>	<i>Robot Spot Main Body 7</i>
2004	Rp 3.989.197	Rp 2.908.566

Tabel 13. Biaya Perawatan Hasil Perhitungan

Mesin	Preventive		Biaya Pelumas & Grease (Rp. Juta)	Total (Rp. Juta)
	Gaji Operator (2,5 %; Rp. ribu)	Material (1%; Rp. ribu)		
<i>Robot Spot Under Body 4</i>	0,63	32,9	0,41	1,072
<i>Robot Spot Main Body 7</i>		22,1	0,342	0,994

Tabel 14. Biaya Perawatan Total dan Biaya Perawatan Sesungguhnya

Tahun	<i>Robot Spot Under Body 4</i>		<i>Robot Spot Main Body 7</i>	
	Biaya perawatan total (Rp. juta)	Biaya perawatan sesungguhnya (Rp. juta)	Biaya perawatan total (Rp. juta)	Biaya perawatan sesungguhnya (Rp. juta)
2004	1,072	3,99	0,994	2.908.566

Dalam hal ini, parameter yang digunakan adalah kedua robot tersebut belum pernah mengalami *overhaul* sejak mulai pengoperasiannya.

Analisis Perhitungan persediaan suku cadang setiap komponen dalam robot tentu akan mengalami masa inaktif. Pada kondisi ini, waktu inaktif tersebut perlu diprediksi. Dalam satu tahun, komponen robot yang harus dilakukan penggantian diperlihatkan pada (Tabel 15-16). Analisis perhitungan persediaan suku cadang menggunakan persamaan(9), persamaan(17.a) dan (17.b)

Tabel 15. Persediaan *Spare Part Robot Spot Under Body 4*

No	Jenis Spare Part	Jumlah persediaan / Bulan	
		Min	Max
1	Eltip spesial	8	31
2	Tip base holder	2	9
3	Flow switch	2	6
4	Limit switch	3	14
5	Tool changer	2	9
6	Adaptor GNA 2490	4	17

Tabel 16. Persediaan Spare Part Robot Spot Main Body 7

No.	Jenis spare part	Jumlah persediaan / bulan	
		Min	Max
1	Pin cotterl	6	26
2	Bearing	8	33
3	Adaptor GNA 1410	4	15
4	Pen tip	12	49

Tabel 17. Pemesanan Kembali Suku Cadang (reorder point)

No	Nama Mesin	Nama Komponen	Re-order dalam unit
1	Robot Spot Under Body 4	Eltip spesial	16
		Tip base holder	4
		Flow switch	4
		Limit switch	6
		Tool changer	4
		Adaptor GNA 2490	8
2	Robot Spot Main Body 7	Pin cotterl	12
		Bearing	16
		Adaptor GNA 1410	8
		Pen tip	24

Menentukan Batas Waktu Pemesanan Kembali (reorder point) Suku Cadang, analisis batas waktu pemesanan kembali suku cadang ditujukan untuk memperlancar proses pemeliharaan, jika sewaktu-waktu alat mengalami kerusakan, dengan didasarkan pada hasil perhitungan probabilitas distribusi kerusakan, maka produksi tidak akan terhenti

dalam waktu yang lama, karena *down-time* perbaikan yang terjadi akan berkurang. Analisis ini menggunakan pendekatan persamaan (9) dan (18). Prediksi penyediaan suku cadang yang harus dipersiapkan didalam operasi dapat dilihat pada (Tabel 17).

Jadi, jumlah persediaan *spare part* yang harus dipersiapkan agar proses produksi tidak terhenti terlalu lama dapat dilihat pada (Tabel 15 dan 16) dengan batas pemesanan kembali (reorder point). Tabel 17 serta rata-rata batas pemesanan kembali suku cadang untuk kedua mesin *robot spot* tersebut sebesar 10 unit.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis kelayakan operasional kedua robot spot tersebut dapat disimpulkan bahwa keduanya masih layak beroperasi dengan hasil yang memuaskan. Keduanya juga masih memiliki nilai fungsi keandalan yang baik.

Sebagai tindak lanjut, diperlukan penggunaan acuan/koreksi dalam hal penganalisisan dan pendataan waktu kerusakan/kegagalan yang menyeluruh secara terjadwal. Namun, perlu dipikirkan untuk segera menyediakan komponen-komponen sebagaimana dimaksud dengan suku cadang yang asli. *Over-haul* juga tetap diperlukan untuk memastikan robot spot tersebut dapat dioperasikan dengan baik, mengingat sebelumnya belum pernah dilakukan *overhaul*. Dalam tindakan yang lebih jauh, peningkatan kualitas dan kuantitas operator maintenance juga sangat diperlukan, seperti dengan mengikutkan pada kegiatan-kegiatan pelatihan mengenai konsep dasar pengoperasian mesin, sehingga mesin dapat beroperasi secara maksimal, awet dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Alain V, 1992, *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assesment*, by Jhon wiley & Son Ltd, England.
- Balbir S D and Hans R, 1985, *Reliability and Maintainability Management*, Wan Nestrland Reinhold Co, Inc.

- Dimitri K, 1991, *Reliability Engineering Hand Book*, by PTR Prentice Hall, Inc
- Grag H.P, 1994, *Industrial Maintenance*, Chand & Company Ltd.
- Mustofa, A, 2002, *Diktat Manajemen Perawatan*, Edisi I, Institut Sains & Teknologi Akprind Jogjakarta.
- Suharto, 1991, *Manajemen Perawatan Mesin*, Penerbit PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Supandi, 1993, *Manajemen Perawatan Industri*, Penerbit PT. Ganeca Eact Bandung.
- Suwandi, S., 1999, *Perawatan Mesin*, ITB. Bandung.
- Walpole, E R & Raymond, H M, 1986, *Ilmu Peluang & Statistik Untuk Insinyur & Ilmiah*, Edisi II, ITB Bandung.