

PENENTUAN INTERVAL PERAWATAN MESIN PRODUKSI UNTUK MENINGKATKAN AVAILABILITY MELALUI ANALISIS KEANDALAN

Eti Kristinawati¹

ABSTRACT

Productivity in a production system is an important problem and having many factors influence it such as machine condition. With getting machine older, the realibility value is also going to decrease so that machine component will get trouble that will decrease the machine productivity indirectly. To improve the machine realibility there must be implemented an appropriate maintenance method concerned with cost. With getting a good maintenance interval, machine realibility will increase and also decrease repairing and maintenance cost, if there is no maintenance, machine will also gets some troubles so that production process will be disturbed that will not get a target of production planned and also cause lost of opportunity cost that should be got by company. This problem is general case faced by company like also PT. Wavin Duta Jaya Mojokerto. Machine of production is extruder machine which change PVC and additive become beginning PVC also getting problem eventhough the company have maintained preventively using prediction time about 1240 hours.

From the analysis of machine realibility can be found for each extruder machine are : with maintenance interval 1295 hours for small extruder machine have operation time mean increase 616 % to 18919 hours and total cost drop 34 %, maintenance interval machine of big extruder 1762 hours, operation time mean decrease 269 % become 11544 hours and decrease overall cost 33,1 %. And the availability value is also increasing. For a small extruder machine increase 0,2 % in other hand, big extruder rise up about 0,2 %.

Key Words : *Availabiity, PVC, Maintenance*

PENDAHULUAN

Produktivitas dalam suatu sistem produksi merupakan masalah yang penting. Dan produktivitas itu sendiri dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya yaitu kondisi mesin, tenaga kerja, lingkungan tempat kerja, dll. Dengan bertambahnya usia mesin maka nilai keandalannya cenderung menurun, sehingga pada gilirannya komponen-komponen mesin akan sering mengalami kerusakan, dan hal ini secara tidak langsung akan berakibat pada produktivitas atau kemampuan berproduksi dari mesin juga akan menurun.

Dengan adanya penentuan selang perawatan yang tepat, keandalan suatu mesin (sistem) akan meningkat dan juga akan menurunkan biaya perbaikan dan perawatan. Penentuan selang perawatan dapat dilakukan dengan menganalisa data kerusakan yang pernah terjadi pada mesin atau sistem tersebut. Dengan menganalisa parameter – parameter keandalan tersebut, maka dapat dikembangkan suatu jadwal perawatan mesin yang dapat menciptakan kondisi kerja yang optimal.

Dari pengamatan didapatkan bahwa mesin extruder sering mengalami kerusakan

¹⁾Dosen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang

sehingga menurunkan nilai keandalan mesin serta menaikkan biaya perbaikan dan perawatan. Selain itu mesin extruder merupakan mesin yang sangat penting dalam proses produksi pipa. Dengan rusaknya mesin extruder maka proses produksi akan terganggu atau tidak lancar karena proses – proses berikutnya tidak dapat dilakukan sehingga proses produksi menjadi terhenti, sehingga hal ini mengakibatkan target produksi tidak dapat terpenuhi dan juga akan mengakibatkan terjadinya kehilangan

Dengan adanya time prediction 1240 jam maka perawatan harus dilakukan pada mesin extruder supaya proses produksi tidak terganggu lagi. Dengan seringnya terjadi kerusakan pada mesin extruder, maka dapat dikatakan bahwa penentuan interval perawatan yang dilakukan oleh perusahaan kurang tepat atau tidak efektif.

TINJAUAN PUSTAKA

Keandalan

Keandalan didefinisikan dalam hal kinerja suatu sistem untuk memenuhi fungsi yang diharapkan, dan tidak ada perbedaan yang dibuat di lingkup kerusakan. Suatu sistem dikatakan rusak apabila ia berhenti memenuhi fungsi yang diinginkan. Apabila berhentinya suatu fungsi sistem seperti: mesin berhenti bekerja, peralatan komunikasi dalam sistem mati, maka sistem dalam keadaan benar-benar rusak. Selain itu sangat penting untuk mendefinisikan bentuk lain dari kerusakan, seperti kemunduran kinerja atau fungsi yang tidak stabil. Jadi

motor yang tidak dapat lagi mengerjakan tekanan spesifik, operasi yang tersendat-sendat atau arus berlebih pada peralatan elektronik serta mesin produksi yang hasilnya diluar batas toleransi adalah bentuk lain dari kerusakan.

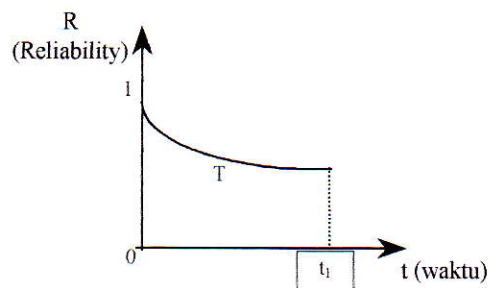
Deskripsi Kerusakan

Dalam analisa keandalan, kondisi peralatan yang beroperasi melaksanakan misinya dibagi dalam 2 state, yang baik dan rusak. Untuk menyatakan state ini adalah sebagai berikut. Misalkan:

- X : State dari sistem/peralatan yang merupakan variabel random.
- $X = 1$: Sistem/peralatan dapat berfungsi dengan baik.
- $X = 0$: Sistem/peralatan dalam kondisi rusak.

State dari keandalan merupakan proses stokastik. Karena merupakan fungsi dari waktu, maka:

$X(t)$: merupakan proses stokastik



Gambar 1
Keadaan Keandalan

dimana:

- T : lamanya peralatan beroperasi sampai mengalami kerusakan (merupakan variabel random)
- t : masa pakai komponen atau peralatan

Kerusakan dapat dinyatakan dengan variabel random T atau dapat pula dinyatakan dengan proses stokastik $X(t)$. Hubungannya adalah:

$$T > t \leftrightarrow X(t) = 1$$

$$T \leq t \leftrightarrow X(t) = 0$$

Sehingga diperoleh:

$$P(X(t) = 1) = P(T > t)$$

$$P(X(t) = 0) = P(T \leq t)$$

$P(X(t) = 1)$: Probabilitas bahwa peralatan tersebut masih beroperasi pada saat t

t : menyatakan fungsi waktu

Fungsi Keandalan

Sebagai probabilitas suatu sistem dapat berjalan dengan baik untuk melaksanakan tugas tertentu. Karena merupakan nilai probabilitas maka R bernilai $0 \leq R \leq 1$.

$R = 1$: Sistem dapat melakukan fungsinya dengan baik

$R = 0$: Sistem tidak dapat melakukan tugas dengan baik

$R = 0,7$: Probabilitas suatu sistem dapat berfungsi dengan baik = 0,7

$R = 0,3$: Probabilitas suatu sistem tidak dapat berfungsi dengan baik = 0,3

Karena keandalan juga ditentukan oleh waktu sebagai variabel random, maka diperlukan suatu fungsi keandalan. Dinotasikan :

$R(t)$: berapa keandalan sistem jika dipakai selama t satuan waktu

$[0, t]$: probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik selama pemakaian

Sehingga :

$$\begin{aligned} R(t) &= P(\text{peralatan beroperasi}) \\ &= P(X(t) = 1) \\ &= P(T > t) \\ &= 1 - P(T \leq t) = 1 - F(t) \end{aligned}$$

Dimana $F(t)$ merupakan fungsi distribusi kumulatif (*Cumulative Distribution Function/CDF*) umur (*life time*) sistem, atau fungsi distribusi kerusakan. Jika probabilitas fungsi kerapatan (*Probability Density Function/PDF*) merupakan turunan dari $F(t)$, maka :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

$$f(t) = \frac{d(1 - R(t))}{dt}$$

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt}$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$$

Sehingga :

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

Dari persamaan di atas jelas bahwa :

$$R(0) = \int_0^{\infty} f(t) dt = t \Big|_0^{\infty}$$

karena $\lim_{t \rightarrow \infty} t = 1$ maka :

$$R(0) = 1$$

$$R(\infty) = \int_{\infty}^{\infty} f(t) dt = t \Big|_{\infty}^{\infty} = 0$$

Laju Kerusakan

Dengan probabilitas bersyarat, hal ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$\lambda(t)\Delta t = P(T < t + \Delta t \mid T > t)$$

Dari persamaan definisi probabilitas bersyarat, diperoleh

$$P(T < t + \Delta t \mid T > t) = \frac{P((T > t) \cap (T < t + \Delta t))}{P(T > t)}$$

Dari definisi *Probability Density Function* (PDF) diketahui bahwa :

$$P((T > t) \cap (T < t + \Delta t)) = f(t)\Delta t$$

sedangkan $P(T > t) = R(t)$

Maka :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Dengan mengintegalkan persamaan – persamaan diatas didapat

$$\lambda(t) = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

$$\int_0^t \lambda(t) dt = - \int_0^t \frac{dR(t)}{R(t)}$$

$$= - \ln R(t) \Big|_0^t$$

$$= - \ln R(t) + \ln R(0)$$

$$= - \ln R(t)$$

Maka :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Laju kerusakan di atas dikenal sebagai fungsi kerusakan atau *Hazart Function* atau *Instantaneous Failure*, $h(t)$:

$$\int_0^t h(t) dt = H(t)$$

disebut *Integral Hazart Function*, sehingga :

$$R(t) = e^{-H(t)}$$

Mean Time To Failure

Rata-rata waktu antar kerusakan dirumuskan sebagai berikut :

$$E(T) = \int_{-\infty}^{\infty} tf(t) dt$$

dimana $f(t)$: probability density function (PDF)

Variabel acak T selalu positif, sehingga :

$$\begin{aligned} E(T) &= \int_{-\infty}^{\infty} tf(t) dt \\ &= \int_0^{\infty} t \frac{dF(t)}{dt} dt = \int_0^{\infty} t d(-R(t)) \\ &= - \int_0^{\infty} t dR(t) = - tR(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \end{aligned}$$

karena $tR(t) = 0$ pada saat $t = 0$ dan $tR(t) \rightarrow 0$ pada saat $t \rightarrow \infty$, maka :

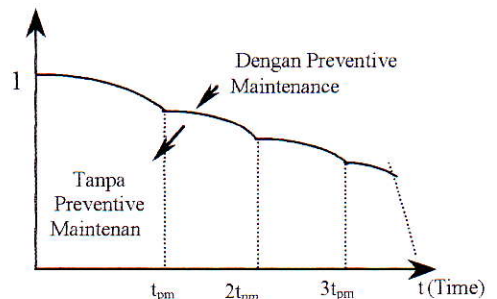
$$E(T) = MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Pendugaan Parameter Keandalan

Dalam metode nonparametrik data dari hasil test atau hasil kerja langsung diplot, tanpa mencoba kecocokannya dengan distribusi statistik. Test dilakukan dengan menggunakan semua data waktu antar kerusakan.

Hubungan Keandalan dan Perawatan (Reliability and Maintenance)

R(t)
(Reliability)

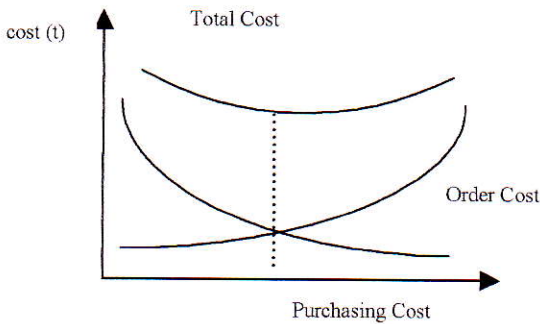


Gambar 2
Hubungan antara Keandalan dan Perawatan

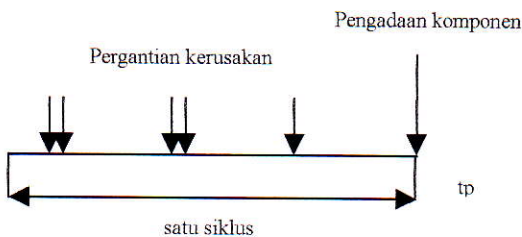
Dari gambar di atas, dapat diketahui bahwa keandalan akan naik setelah adanya perawatan pencegahan yang biasanya akan dilakukan setiap periode t_{pm} dan seterusnya jika sistem atau peralatan mengalami kerusakan.

Penentuan Panjang Interval Pengadaan Komponen

Pengadaan komponen lebih ekonomis bila dilakukan dalam jumlah item yang besar. Hal ini disebabkan bila jumlah item yang dipesan kecil tentunya dalam periode yang telah ditentukan, biaya untuk pengadaan akan menjadi besar sejalan dengan sering terjadinya frekuensi pengadaan komponen. Lain halnya bila pemesanan dilakukan sekaligus, dengan cara ini frekuensi pengadaan komponen menjadi lebih kecil.



Gambar 3
Hubungan antara interval pemesanan dengan biaya



Gambar 4
Pengadaan Komponen dan Pergantian kerusakan selama satu siklus

Ekspektasi total biaya pengadaan per satuan waktu untuk pengadaan komponen pada saat tp , dinotasikan $C(tp)$ adalah :

$$C(tp) = \frac{\text{Ekspektasi Total Biaya pada interval } (0, tp)}{tp}$$

Ekspektasi total biaya pada interval $(0, tp)$

$$= C_0 + NC_p$$

dimana :

C_0 = Biaya yang harus dikeluarkan pada saat diadakan pengadaan komponen

C_p = Harga komponen per unit

N = Banyaknya kerusakan yang terjadi selama interval $(0, tp)$

Sehingga :

$$C(tp) = \frac{C_0 + NC_p}{tp}$$

Karena Ekspektasi terjadinya N kali pergantian selama t adalah $N = E[N(t)]$

Sedangkan $E[N(t)]$ merupakan :

$$E[N(t)] = H(t)$$

dimana $H(t)$ = integrasi dari laju kerusakan $\lambda(t)$.

Bila terdapat sejumlah k komponen yang sama dan dioperasikan bersama, serta t merupakan panjang interval tp maka banyak pergantian adalah :

$$N = kH(tp) \quad C(tp) = \frac{C_0 + C_p kH(tp)}{tp}$$

Harga tp optimal persamaan di atas didapat dengan mengplotkan harga $C(tp)$ dengan cara memasukkan harga tp sehingga didapatkan harga $C(tp)$ minimal untuk membantu mencari nilai tp optimal digunakan program komputer.

Titik Pemesanan Kembali

Besarnya kebutuhan maksimal selama *lead time*.

$$ROP = N_{maks} \text{ (selama } L \text{)}$$

Untuk menentukan besarnya N_{maks} adalah :

$$P_n(t) = \frac{H^n(t)}{n!} e^{-H(t)}$$

dimana $H(t)$ adalah integrasi dari laju kerusakan $\lambda(t)$

$$= \int_0^t \lambda(t) dt$$

Untuk sejumlah k komponen menjadi :

$$P_n(t) = \frac{(kH(t))^n}{n!} e^{-kH(t)}$$

Untuk mencari dimana jumlah kumulatifnya harus $>$ atau $= (1-\alpha)$, atau dapat dibuat persamaanya sebagai berikut :

$$\sum_{n=0}^{N_{maks}} P_n(t) \geq 1 - \alpha \text{ atau :}$$

$$\sum_{n=0}^{N_{maks}} \frac{H^n(t)}{n!} e^{-H(t)} \geq 1 - \alpha$$

dimana :

N_{maks} = kebutuhan maksimum selama interval waktu t

t = *lead time* pemesanan (L)

α = resiko kehabisan

Sedangkan untuk sejumlah k komponen menjadi :

$$\sum_{n=0}^{N_{maks}} \frac{(kH(t))^n}{n!} e^{-kH(t)} \geq 1 - \alpha$$

Kebutuhan Rata-rata selama Lead Time

Kebutuhan rata-rata selama *lead time* (D_L) dapat ditentukan dengan

$$D_L = H(L)$$

Bila terdapat k komponen yang sama dan diopersaikan bersamaan, maka

$$D_L = k H(L)$$

Persediaan Pengaman

Persediaan pengaman atau *safety stock* (SS)

$$SS = N_{maks} \text{ (selama } L \text{)} - D_L$$

Jumlah Pemesanan

Untuk menentukan jumlah pemesanan selama interval ($0, tp$) adalah :

$$OQ = H(tp)$$

Bila terdapat sejumlah k komponen maka jumlah pemesanannya

$$OQ = kH(tp)$$

Biaya-Biaya Dalam Sistem Persediaan

1. Biaya Pembelian (*Purchasing Cost*)
2. Biaya pengadaan (*Prucurement Cost*)
 - Biaya Pemesanan (*Ordering Cost=Co*)
 - Biaya Pembuatan (*Set-Up Cost*)
3. Biaya Penyimpanan (*Holding Cost=h*)
 - Biaya memiliki persediaan
 - Biaya administrasi
 - Biaya operasional
4. Biaya Kekurangan (*Shortage Cost=SC*)
 - Kuantitas yang tidak dapat dipenuhi akibat mesin terhenti, atau bahan baku yang habis sementara persediaannya tidak ada.
5. Biaya pengadaan darurat

METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan Data

Data-data ini mencakup data: waktu antar kerusakan mesin, waktu antar perbaikan untuk tiap kerusakan, biaya

tenaga maintenance, biaya upah operator mesin, biaya pelumasan serta penggantian komponen dan keuntungan yang hilang akibat down time mesin.

Tahapan Pengolahan Data

Untuk analisa lebih lanjut maka diperlukan tahapan – tahapan pengolahan data sebagai berikut :

1. Penentuan Distribusi Data dan Parameter-Parameter Distribusi
2. Perhitungan MTTR
3. Perhitungan Biaya Kerusakan (C_F)
4. Perhitungan MTTF, Keandalan $R(t)$ dan Laju Kerusakan $\lambda(t)$ Pada Kondisi Awal
5. Perhitungan Biaya Perawatan (C_M)
6. Perhitungan Interval Perawatan (S) Serta Total Biaya Perawatan dan Perbaikan (C)
7. Perhitungan Keandalan Mesin $R_M(t)$, MTTFM dan Laju Kerusakan

$\lambda(t)$ Dengan Interval Perawatan S dan Frekuensi N Perawatan

8. Perhitungan Availability

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal dengan menganalisa sistem perawatan mesin pada kondisi awal diperusahaan, kemudian dilanjutkan dengan analisa alternatif pemecahan masalah untuk memperoleh pemecahan masalah yang sesuai dengan kondisi perusahaan.

Analisa Kondisi Awal

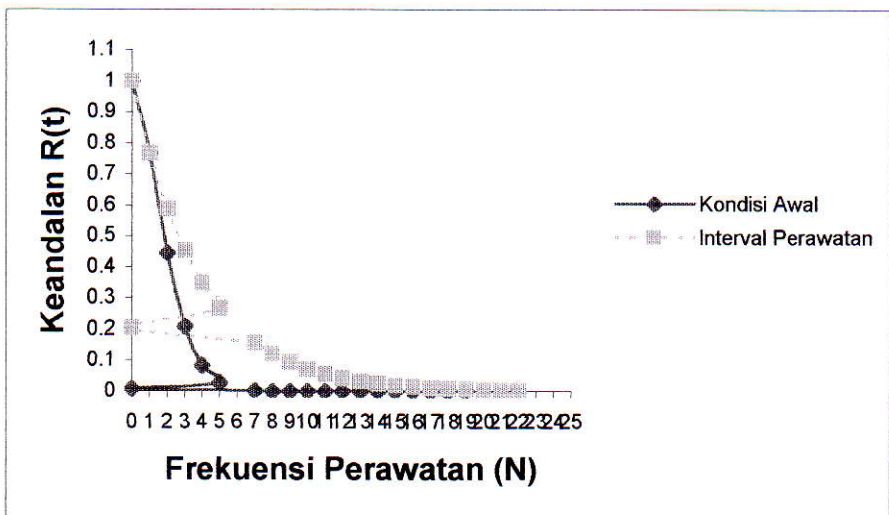
Pengaruh interval perawatan tersebut terhadap nilai keandalan untuk beberapa frekuensi perawatan N sekaligus perbandingan dengan keandalan mesin pada kondisi awal terdapat

Tabel 1
Pengaruh Interval Perawatan S terhadap Keandalan Mesin Extruder Kecil

No	N	S (jam)	t = N.S (jam)	R(S)	$R_M(S)$
1	0	1295	0	1	1
2	1	1295	1295	0,768	0,768
3	2	1295	2590	0,444	0,589
4	3	1295	3885	0,21	0,453
5	4	1295	5180	0,083	0,347
6	5	1295	6475	0,028	0,267
7	6	1295	7770	0,08	0,205
8	7	1295	9065	0,02	0,157
9	8	1295	10360	0,0005	0,121
10	9	1295	11655	0,0001	0,093
11	10	1295	12950	0,00002	0,071
12	11	1295	14245	0,000003	0,055

13	12	1295	15540	0,0000004	0,042
14	13	1295	16835	0,0000001	0,032
15	14	1295	18130	0,00000001	0,025
16	15	1295	19425	0,000000001	0,019
17	16	1295	20720	0,0000000001	0,014
18	17	1295	22015	0,00000000001	0,011
19	18	1295	23310	0,0000000000003	0,009
20	19	1295	24605	0,00000000000004	0,007
21	20	1295	25900	0,000000000000003	0,004
22	21	1295	27195	0	0,003
23	22	1295	28490	0	0,001

Grafik keandalan mesin Extruder Kecil dalam bentuk seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 5
Pengaruh Interval Perawatan S Terhadap Keandalan Mesin Extruder Kecil

Tabel 2
Pengaruh Interval Perawatan S Pada Parameter-Parameter Keandalan Mesin Extruder Kecil Pada $t = MTTF$

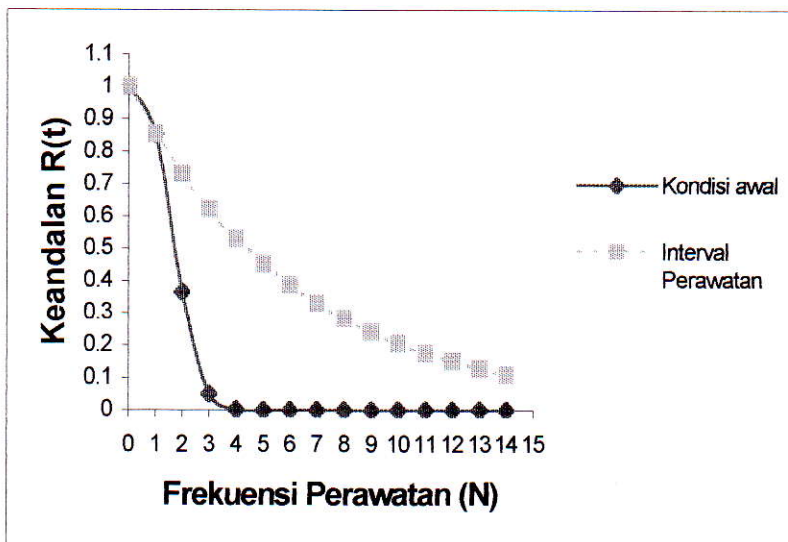
Parameter	Kondisi Awal (A)	Perawatan Interval S (B)	Nilai Selisih (A) dan (B)	Perbandingan (A) dan (B)
MTTF	2641	18919	16278	6,16
Keandalan R(t)	0,433	0,5795	0,1465	0,338
Laju Kerusakan $\lambda(t)$	0,0004712	0,0000338	0,0004374	0,93
Total Biaya C(t)	Rp 4.618.629,-	Rp 3.069.754,-	Rp 1.548.875,-	0,34

Tabel 3
Pengaruh Interval Perawatan S Terhadap Keandalan Mesin Extruder Besar

No	N	S (jam)	T = N. S (jam)	R(S)	R _M (S)
1	0	1762	0	1	1
2	1	1762	1762	0,854	0,854
3	2	1762	3524	0,365	0,729
4	3	1762	5286	0,051	0,6221
5	4	1762	7048	0,002	0,531
6	5	1762	8810	0,00001	0,4533
7	6	1762	10572	0,00000001	0,387
8	7	1762	12334	0,0000000000000004	0,3304
9	8	1762	14096	0	0,282
10	9	1762	156858	0	0,2407
11	10	1762	17620	0	0,2005
12	11	1762	19382	0	0,1754
13	12	1762	21144	0	0,1498
14	13	1762	22906	0	0,1278
15	14	1762	24668	0	0,1091

Dari hasil perhitungan yang terdapat pada tabel hubungan interval perawatan S dengan nilai keandalan bisa

digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 6
Pengaruh Interval Perawatan S Terhadap Keandalan Mesin Extruder Besar

Tabel 4
Pengaruh Interval Perawatan S Pada Parameter- Parameter Keandalan Mesin Extruder Besar Pada $t = \text{MTTF}$

Parameter	Kondisi Awal (A)	Interval Perawatan S (B)	Nilai Selisih (A) dan (B)	Perbandingan (A) dan (B)
MTTF	3125	11544	8607	2,69
Keandalan $R(t)$	0,482	0,788	0,307	0,63
Laju Kerusakan $\lambda(t)$	0,0027	0,0002	0,0025	0,93
Total biaya $C(t)$	Rp 7.030.526,-	Rp 4.702.012,-	Rp 2.328.514,-	0,331

Tabel 5
Pengaruh Interval Perawatan S Terhadap keandalan Sistem Pada $t = 1240$ jam

Ruang	$R_s(t)$	$R_{M_s}(t)$	Selisih	Perbandingan
I	0,999999988298036	0,999999999999886	0,00000001170185	0,00000001170185
II	0,999999999999941	0,999999999999956	0,000000000000015	0,000000000000015
Sistem	0,000000000009985	1	0,000000000000015	0,000000000000015

Tabel 6
Pengaruh Interval Perawatan S Terhadap Total Biaya Perawatan dan Perbaikan Sistem Pada $t = 1240$ jam

Ruang	$C_s(t)$	$C_{M_s}(t)$	Selisih	Perbandingan
I	Rp 27.897.128,-	Rp 14.146.201,-	Rp 13.750.927,-	0,493
II	Rp 43.370.689,-	Rp 31.128.671,-	Rp 12.242.018,-	0,282
Sistem	Rp 71.267.817,-	Rp 45.274.872,-	Rp 25.992.945,-	0,356

Analisa Availability Mesin

Tabel 7
Pengaruh Interval Perawatan S Terhadap Availability Mesin

Jenis Mesin	Kondisi Awal	Interval perawatan (S)	Selisih
Extruder Kecil	0,997	0,999	0,002
Extruder Besar	0,997	0,999	0,002

KESIMPULAN

Dari pengolahan serta analisa data bisa diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk mesin extruder kecil interval perawatan pada kondisi awal adalah selama 1240 jam dan interval perawatan yang optimal adalah selama 1295 jam, sedangkan total biaya perawatan dan perbaikannya mengalami penurunan 34% dari kondisi awal Rp 4.618.629,- menjadi Rp 3.069.754,00,-.
2. Untuk mesin extruder besar interval perawatan pada kondisi awal adalah selama 1240 jam dan interval perawatan yang optimal adalah selama 1762 jam, sedangkan total biaya perawatan dan perbaikannya mengalami penurunan 33,1% dari kondisi awal Rp 7.030.526,- menjadi Rp 4.702.012,00.
3. Untuk nilai availability kondisi awal mesin extruder kecil adalah sebesar 0,997, sedangkan dengan adanya interval perawatan S menjadi 0,999 yang berarti terjadi peningkatan sebesar 0,002 atau 0,2%. Dan untuk nilai availability kondisi awal mesin extruder besar adalah sebesar 0,997, sedangkan dengan adanya interval perawatan S menjadi 0,999 yang berarti juga terjadi peningkatan nilai availability sebesar 0,002 atau 0,2%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkaff, Abdullah, 1992, *Teknik Keandalan Sistem*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, ITS, Surabaya.
- Balagurusammy, E., 1984, *Reability Engineering*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd, New Delhi.
- Daniel, Wayne W, 1989, *Statistik Nonparametrik Terapan*, PT Gramedia, Jakarta.
- Govil, AK., 1983, *Intoduction To Reability Engineering*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd, New Delhi,
- Lewis, E. E, 1987, *Introduction To Reliability Engineering*, John Wiley And Son, Canada,
- Rammakumar, R., 1993, *Engineering Reliability Fundamental And Application*, Prentice Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Smith, Charles O., 1976, *Introduction To Reliability In Design*, Mc Graw-Hill. Inc., Kogakusha,
- Walpole, Ronald E, 1995, *Ilmu Peluang Dan Statistik Untuk Insinyur Dan Ilmuwan*, Penerbit ITB, Bandung,