

# ANALISIS KEANDALAN PERALATAN PENGOLAHAN KERTAS

## Reliability Analysis of Paper Machine

M. Yamin<sup>1</sup>, Kusmayanto Kadiman<sup>2</sup>, Hermawan Kresno Dipoyono<sup>2</sup>

### ABSTRACT

*The equipment that were bought from the manufacturer would have the data of reliability for example, MTTF (Mean Time To Failure), MTBF (Mean Time Between Failure) or MTTR (Mean Time To Repair), however these data only valid if the operation and maintenance condition are same with the operation and maintenance condition that were given by the manufacturer. If these condition could not be satisfied by the user then the data of MTTF, MTBF and MTTR that given by manufacturer could not be able as a **reference** data of reliability.*

*This **research** aimed to **developed** the statistical method of probability density **function** which can be used on the data processing which are collected during operation and maintenance of the paper machine P.T Kertas Padalarang from 1980 to 1995. By processing these data, MTTF, MTBF or MTTR of the components can be determined.*

*To calculate the **total** failure probability of paper machine, the author used the **software** of DFT (Diagram Fault Tree Analysis) that developed by Suryodhana.N.N.<sup>[1]</sup> The result of this research is the total failure probability of paper machine is 0.999 at the operation time of 2000 hr. It is mean that at that operation time the machine has reached failure condition, may be it will stop suddenly. At that operation time, the reliability of machine is 0.001. The Operation time of 2000 hr could be able as a reference value for doing maintenance and repair.*

**Key word :** Reliability analysis, Failure probability, Maintenance and repair schedule

### PENDAHULUAN

Rekayasa keandalan (Reliability Engineering) merupakan bagian yang sangat penting bagi suatu industri.

Karena rekayasa keandalan yang diterapkan dalam suatu industri akan menjamin kualitas produknya mencapai tingkat yang unggul, sehingga dapat bersaing di pasar bebas.

<sup>1</sup> Staf Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Jurusan Teknik Pertanian, Lab. Ergotronika.Tilp.(0251)624025, Fax :(0251)624025) email : ftetaipb@indo.net.id

<sup>2</sup> Staf Pengajar Pasca Sarjana Program Instrumentasi & Kontrol-ITB.

keandalan adalah teknik pengukuran terbaik secara kuantitatif dan terintegrasi dari suatu rancangan alat, **komponen**, produk, atau suatu sistem dapat **berfungsi** sesuai rancangan **tanpa mengalami** kerusakan dalam suatu lingkungan khusus pada periode waktu yang diinginkan pada tingkat **kepercayaan** yang **diberikan**<sup>[1]</sup>

Dalam bidang rekayasa keandalan, telah didefinisikan beberapa indikator yang menunjukkan keandalan suatu peralatan, **bahkan** keandalan subsistem dan suatu sistem. Misalnya MTTF (Mean Time To Failure), MTTR (Main Time To Repair) dan MTBF (Main Time Between Failure). Untuk setiap peralatan yang dibeli **dari** pabrik selalu **dilengkapi** dengan data keandalan, baik itu dalam bentuk MTTF, MTTR atau MTBF. Namun data yang diberikan **tersebut** biasanya hanya **berlaku** bila beberapa kondisi operasi dan perawatan yang telah **ditentukan** pabrik **dipenuhi**. Sedangkan kondisi operasi dan perawatan yang diteatukan tidak selalu sesuai dengan kondisi dimana peralatan itu **dipasang**. Karena itu data keandalan yang diberikan tidak lagi sepenuhnya dapat dipakai sebagai acuan.

**Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan suatu metoda **statistik** yang dapat **memanfaatkan** data yang dikumpulkan selama **pengoperasian** dan perawatan peralatan **pengolahan kertas** khususnya di P.T. Kertas Padalarang yang akan memberikan **ekspektasi** data keandalan seperti **MTTF**, **MTTR** **atan** **MTBF**.

**STUDI PUSTAKA**

Rekayasa keandalan merupakan alat praktis dan teoritis, dimana

kapabilitas dan probabilitas suatu komponen, produk atau sistem untuk melakukan fungsi yang diperlukan dalam lingkungan tertentu untuk perioda waktu yang diinginkan **tanpa** mengalami kerusakan dapat **dirancang** dan **didemonstrasikan**, dan **hasilnya** menjadi umpan balik untuk **peningkatan** kualitas dan sebagai suatu **aksi koreksi**.<sup>[1]</sup>

Keandalan adalah probabilitas terkondisikan pada suatu tingkat yang diyakini, bahwa peralatan akan melakukan fungsinya secara penuh **tanpa** mengalami kerusakan di dalam **batas** kinerja yang **spesifik** pada umur yang **direncanakan**.<sup>[4]</sup>

**Keandalan** adalah suatu probabilitas yang merupakan perbandingan **antara** banyaknya misi yang sukses dengan **jumlah** total , misi yang telah **dilakukan**<sup>[1]</sup>

$$\bar{R}(t) = \frac{N_s(t)}{N_T(t)} \dots\dots\dots (1)$$

$\bar{R}(t)$  = keandalan (**rata-rata** atau estimasi).

$N_s(t)$  = **banyaknya** misi yang sukses, **selama** waktu t.

$N_T(t)$  = banyaknya misi total yang telah **dilakukan**, selama waktu t

$$\bar{R}(t) = 1 - \bar{Q}(t) \dots\dots\dots (2)$$

$\bar{Q}(t)$  = rata-rata atau estimasi dari **ketidak andalan** atau probabilitas kerusakan

$$Q(t) = \frac{N_F(t)}{N_T(t)} \dots\dots\dots (3)$$

$N_F(t)$  = banyaknya misi yang gagal selama waktu t.

**Penyebab Kerusakan**

Dari sisi keandalan, kerusakan dapat dilihat dari dua cara<sup>[1]</sup>:

1. Berkaitan dengan kurva bak mandi keandglan (*reliability bathtub curve*) seperti terlihat pada Gambar.1.
2. Berkaitan dengan penyebab kerusakan secara spesifik, seperti tercantum pada penjelasan, di bawah ini,

**A. Penyebab kerusakan dini (Early failure\*)<sup>[1]</sup>**

1. Teknik manufaktur yang kurang memadai, termasuk proses, penanganan, dan perakitan
2. Kontrol mutu yang tidak sempurna.
3. Sistem tenaga kerja yang lemah.
4. Material yang tidak memenuhi standar
5. Komponen yang tidak standar
6. Penggantian komponen dengan yang tidak standar
7. Suku cadang yang rusak dalam penyimpanan atau pada waktu transit, akibat ketidak-sempurnaan dalam penyimpanan, pengepakan, dan atau ketika berada dalam transportasi.
8. Terkontaminasi.
9. Kesalahan faktor manusiawi.
10. Kesalahan instalasi
11. Pergerakan awal (*Start Up*) yang tidak sempurna.
12. *Insufficient burning in*
13. *Insufficient breacking in*

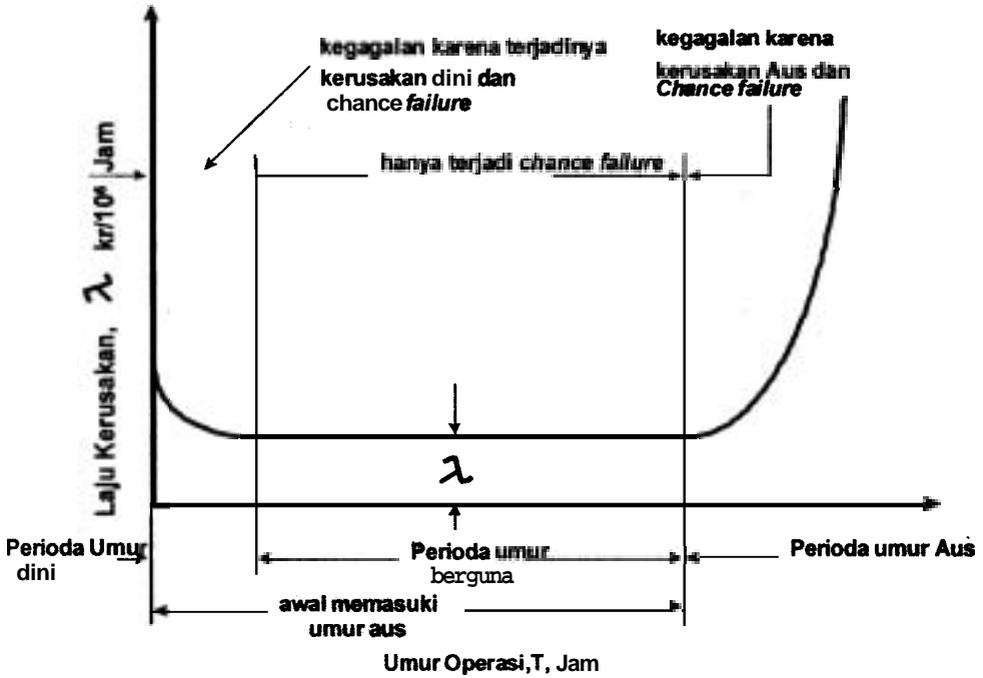
**14. Insufficient debugging**

\*) Kerusakan dini terjadi segera pada waktu *operating life* suatu sistem (unit) dan ditandai dengan menurunnya laju kerusakan dengan bertambahnya umur alat/sistem.

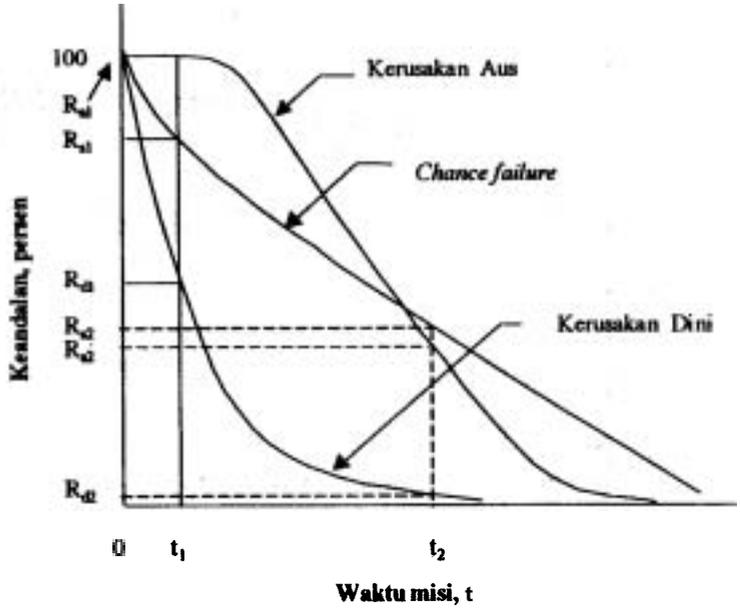
**B. Penyebab *Chance failure*\*\*<sup>[1]</sup>**

1. Interferensi atau tumpang tindih dalam merancang kekuatan dan pengalaman menghadapi stres selama operasi.
2. Rancangan tidak memadai (insufficient) dalam hal faktor keamananl.
3. Terjadinya beban acak yang lebih besar dari yang diharapkan.
4. Terjadinya beban acak yang rendah dari yang diharapkan.
5. Terjadinya cacat yang tidak terdeteksi dengan baik.
6. Kesalahan faktor manusiawi dalam pemakaian alat.
7. Kesalahan penggunaan (*mis-application*)
8. *Abuse*
9. Kesalahan yang tidak bisa dieleminasi dengan cara "debugging" atau dengan cara teknik perawatan pencegahan kerusakan yang terbaik sekalipun.
10. Penyebab kerusakan yang tidak bisa dijelaskan.
11. Kerusakan disebabkan oleh badai, gempa bumi, banjir dsb.

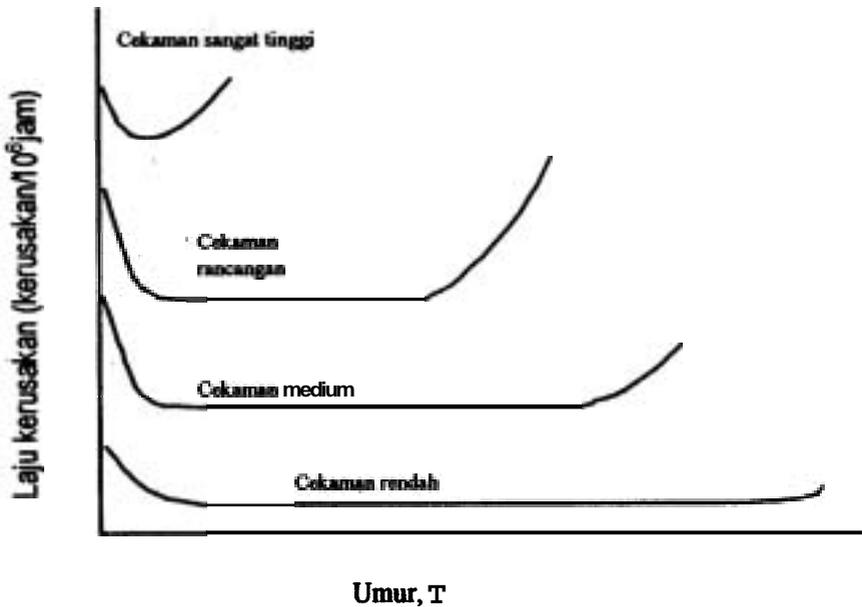
\*\*<sup>)</sup> *Chance Failure* terjadi tanpa diharapkan dalam waktu interval acak yang tidak teratur. Akan tetapi secara keseluruhan, distribusi TTF (*Time To Failure*) adalah suatu fungsi eksponensial negatif, dan laju kerusakannya pada perioda operasi yang cukup panjang adalah tetap.



Gambar 1. Kurva bak mandi keandalan<sup>(1)</sup>



Gambar.2. Pengaruh waktu misi terhadap keandalan untuk komponen yang mengalami kerusakan dini, *chance* dan aus.<sup>[1]</sup>



Gambar 3. Pengaruh tingkat cekaman pada kurva bak mandi keandalan.<sup>[1]</sup>

C. Penyebab Wear out **Failure\*\*\***)<sup>(1)</sup>

1. Umur
2. Pemakaian (wear)
3. Penurunan **kekuatan**
4. **Fatigue**
5. Creep
6. **Korosi**
7. Cacat secara mekanik, **kimiawi**, atau hidraulik
8. Kurang pemeliharaan, **perawatan**, atau **perbaikan** dan penggantian suku cadang.
9. Rancangan umur alat yang pendek.

**\*\*\*)** *Wear out failure* ditandai dengan **naiknya** laju kerusakan dengan bertambahnya umur.

Efek Waktu *Misi*

Efek waktu misi terhadap keandalan terlihat pada Gambar 3, untuk kasus umur pada awal misi adalah nol. Dari Gambar 2 terlihat bahwa jika waktu misi meningkat maka keandalan akan **menurun**.

Pengaruh **Cekaman (Stress)**

Efek cekaman terhadap keandalan dapat dilihat dari **Gambar.2.4**.

Ada **empat** jenis tingkat cekaman yang **berbeda** dan **pengaruhnya** terhadap laju kerusakan. Semakin tinggi tingkat cekaman, laju kerusakan pada umur dini **sangat** tinggi, akhir dari umur dini lebih pendek dan pada periode umur **berguna** lebih pendek, dan periode umur **aus** akan dimulai lebih awal.

**METODA PENENTUAN KEANDALAN**

**Secara** umum, sebagian besar komponen dan produk mengalami tiga periode umur," yaitu :

1. Umur dini (**early life**)
2. Umur berguna (**useful life**)

3. Umur aus (wear **ow** life)

Selama keadaan umur dini, ada dua jenis kerusakan yang akan terjadi yaitu (1) **kerusakan dini** (earlyfailure) dan (2) chance failure. Penyebab kerusakan dini **diantaranya** adalah, teknik **manu-faktur** yang kurang **sempurna**, tenaga kerja yang kurang **terampil**, **kontrol mutu** yang kurang baik, dan lain lain. Chance failure dapat disebabkan oleh terjadinya **tumpang tindih** **antara** disain yang kaku dengan keadaan **sebenarnya** di **lapang** dengan **gangguan** cekaman **selama** pengoperasian, kurang sempurnanya faktor **keamanan**, **beban** kerja **acak** yang **terlalu** besar dari pada yang **direncanakan** dan lain sebagainya.

Perioda umur berguna ditandai dengan terjadinya chancefailure saja, yang **menghasilkan** **taju** kerusakan terendah dalam umur komponen atau produk.

**Perioda** umur aus dicirikan oleh terjadinya dua jenis **kerusakan** **yaitu**, (1) chance **failure** dan (2) kerusakan **karena** aus. Kerusakan jenis **aus** ini dapat **disebabkan** oleh, umur **pakai** (aging), **degradasi**, aus (**fatigue**), **disain** umur yang pendek, kurangnya **perawatan** dan **pemeliharaan** serta perbaikan-perbaikan, kurangnya **penggantian** komponen.

**Kerusakan Dini dan Keandalannya**

TTF (Time To Failure) dari **sampel** komponen pada kerusakan dini akan mengikuti **distribusi** Weibull dengan parameter **bentuk**  $\beta < 1$ . Maka **fungsi** kepekatan peluang dari time to early failure **dinyatakan** dengan **persamaan**<sup>(1)</sup>

$$f_e(T) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{T-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

dimana

$\beta$  = parameter bentuk;

$\gamma$  = parameter lokasi

$\eta$  = parameter skala

$$f_c(T) \geq 0, 0 < \beta < 1, -\infty < \gamma \leq 0, \eta > 0$$

Keandalan pada kondisi kerusakan dini diberikan oleh persamaan,

$$R_c(T) = \int_T^{\infty} f_c(T) dt = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (5)$$

Laju Kerusakan  $\lambda(T)$  pada kerusakan dini adalah,

$$\lambda_c(T) = \frac{f_c(T)}{R_c(T)} = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{T-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (6)$$

### 33. CHANCE FAILURE DAN KEANDALANNYA

Kerusakan seketika ditandai dengan adanya kerusakan yang terjadi pada umur operasi komponen atau produk dan laju kerusakannya adalah konstan sama dengan  $\lambda$ , yang merupakan laju kerusakan pada umur berguna. Ada empat persamaan yang dapat digunakan untuk analisis keandalan yaitu,

$$f_c(T) = \lambda e^{-\lambda T} \quad (7)$$

$$R_c(T) = e^{-\lambda T} \quad (8)$$

$$R_c(T, t) = e^{-\lambda T} \quad (9)$$

$$\lambda_c(T) = \lambda \quad (10)$$

### Kerusakan Aus dan Keandalannya

Kerusakan aus ditandai dengan adanya kenyataan bahwa kerusakan terjadi kemudian pada umur operasi kebanyakan komponen, dan laju kerusakannya akan meningkat dengan bertambahnya umur operasi. Dua distribusi yang paling sering digunakan adalah distribusi normal (Gaussian) dan distribusi Weibull dengan parameter bentuk  $\beta \geq 1$ . Kemudian distribusi Weibull akan menghasilkan laju kerusakan yang meningkat dengan bertambahnya umur.

Untuk distribusi Weibull, persamaan-persamaan yang digunakan sama seperti pada periode kerusakan dini yaitu,

$$f_a(T) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{T-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (11)$$

$$R_a(T) = \int_T^{\infty} f_a(T) dt = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (12)$$

$$\lambda_a(T) = \frac{f_a(T)}{R_a(T)} = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{T-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (13)$$

Jika menggunakan distribusi normal, maka persamaan-persamaan yang digunakan adalah,

$$f(T) = \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{T-\bar{T}}{\sigma_T} \right)^2} \quad (14)$$

dimana,

$$f(T) \geq 0;$$

$$-\infty < T < \infty;$$

$$-\infty < \bar{T} < \infty;$$

$$\sigma_T > 0$$

$\bar{T}$  = rata-rata normal TTF, Jam  
 $\sigma_T$  = standar deviasi TTF

$$R(T) = \int_T^{\infty} f(T) dT = \tag{15}$$

$$= \int_T^{\infty} \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{T-\bar{T}}{\sigma_T} \right)^2} dT$$

$$\lambda(T) = \frac{f(T)}{R(T)} \tag{16}$$

$$\phi(z) = \sigma_T f(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} z^2} \tag{17}$$

$\phi(z)$  = fungsi kepadatan peluang distribusi normal yang distandar-kan.

$$z = \frac{T - \bar{T}}{\sigma_T} \tag{18}$$

Maka laju kerusakan dapat ditentukan sebagai berikut,

$$\lambda(T) = \frac{\phi(z)}{\sigma_T R(T)} \tag{19}$$

Sedangkan persamaan untuk keandalan adalah,

$$R(T) = \int_T^{\infty} f(T) dT \tag{20}$$

$$= \int_{\lambda(T)}^{\infty} \phi(z) dz = R(z)$$

$$\lambda(T) = \frac{\phi(z)}{\sigma_T R(z)}$$

$$\lambda(z) = \sigma_T \lambda(T)$$

Maka laju kerusakan diberikan oleh persamaan,

$$\Rightarrow \lambda(z) = \frac{\phi(z)}{R(z)} \tag{21}$$

**Pengambilan Data**

1. Pengambilan data operasi peralatan mesin kertas milik P.T. Kertas Padalarang, sambil mempelajari proses terjadinya kertas dari mulai bahan baku sampai menjadi bahan kertas yang siap dijual.<sup>[4]</sup>
2. Mencari informasi mengenai komponen-komponen peralatan yang paling dominan dalam menjaga kelancaran produksi kertas.<sup>[4]</sup>
3. Mencari informasi tentang umur pakai komponen peralatan, dengan melihat spesifikasi alat (komponen) serta melihat data kerusakan alat (Time To Failure) berdasarkan jam operasi alat selama lima belas tahun (1980-1995), dari data TTF (Time To Failure) kemudian dihitung harga MTTF (Mean Time To Failure) untuk setiap komponen yang dominan (yang menentukan lancar tidaknya mesin kertas) terhadap keseluruhan mesin kertas.<sup>[6]</sup>

**Pengolahan Data**

1. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excell.<sup>[3]</sup>
2. Penentuan peluang kegagalan peralatan pengolahan kertas

dengan menggunakan perangkat lunak *diagram fault tree analysis* (DFT), yaitu menggunakan data hasil perhitungan MTTF setiap komponen peralatan pengolahan kertas. Maka perangkat lunak DFT menghitung peluang kegagalan total mesin kertas.<sup>[8]</sup>

3. Dari hasil perhitungan peluang kegagalan total mesin kertas, maka jadwal perawatan dan perbaikan mesin yang sesuai dapat ditentukan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data peralatan pengolahan kertas mendapatkan harga MTTF (*Mean Time To Failure*), fungsi kerapatan probabilitas  $f(T)$ , laju kerusakan  $\lambda(T)$ , keandalan  $R(T)$  dan peluang kegagalan  $Q(T)$ . Harga  $Q(T)$  tersebut digunakan dalam perhitungan probabilitas kegagalan keseluruhan mesin kertas dengan menggunakan perangkat lunak DFT,<sup>[8]</sup> dan hasilnya dicantumkan pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Peluang kegagalan  $Q(T)$  dan harga keandalan  $R(T)$  peralatan Pengolahan Kertas menurut jam operasi

NO.	T (JAM)	Q(T)	R(T)
1	0	0	1
2	100	0.31	0.69
3	200	0.55	0.45
4	300	0.68	0.32
5	500	0.85	0.15
6	700	0.95	0.05
7	1000	0.98	0.02
8	2000	0.99	0.01

Untuk Lebih memperjelas gambaran tentang harga peluang kegagalan

keseluruhan peralatan pengolahan kertas, maka Tabel 1 di atas digambarkan dalam bentuk grafik antara peluang kegagalan  $Q(T)$  terhadap Jam operasi  $T$ , hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa peluang kegagalan  $Q(T)$  sudah mendekati 1, pada jam operasi 1000 jam dan 2000 jam. Artinya pada jam-jam operasi tersebut peralatan pengolahan kertas sudah mendekati kegagalan (kerusakan).

Dari Tabel 1 juga terlihat bahwa peluang kegagalan sudah mencapai harga 0.99 atau hampir 1 pada jam operasi 2000 jam. Secara teoritis keadaan ini tidak menguntungkan bagi kelangsungan produksi, karena kemungkinan mesin berhenti tiba tiba sangat mungkin terjadi pada waktu tertentu yang tidak diinginkan karena akan mengganggu produksi. Maka untuk pencegahan, perlu dilakukan perawatan dan perbaikan mesin secara teratur dan terjadwal. Jam operasi 2000 jam dapat dijadikan sebagai acuan untuk melakukan perawatan dan perbaikan. Jika mesin kertas beroperasi 24 jam setiap harinya, maka 2000 jam operasi berarti sekitar 83 hari. Jadi sebaiknya setelah mesin kertas beroperasi selama 83 hari, segera dilakukan perawatan dan perbaikan untuk mencegah terjadinya mesin berhenti tiba-tiba.

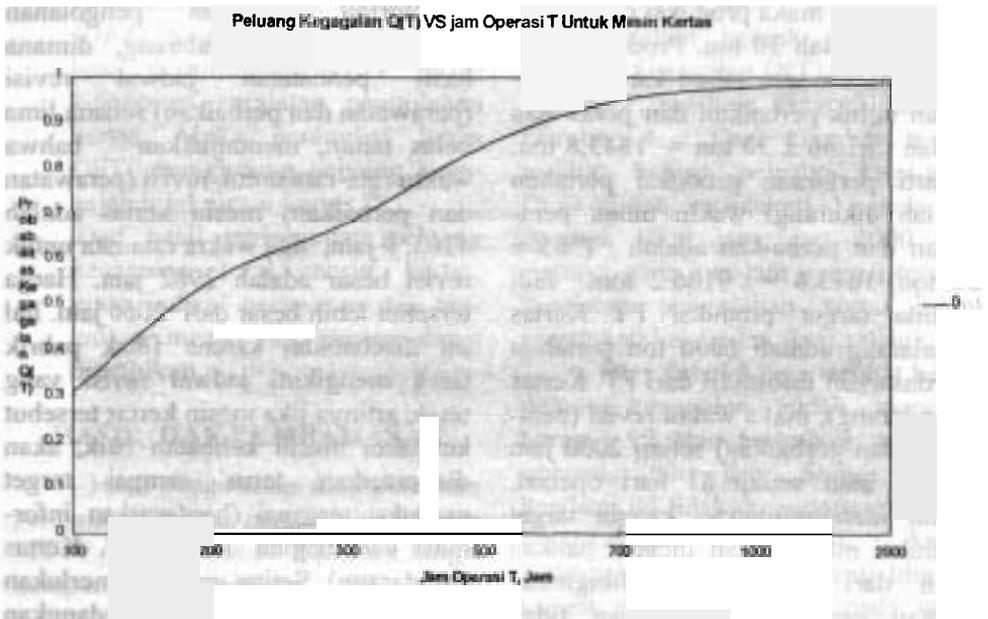
Jika setiap perawatan dan perbaikan mesin membutuhkan waktu 14 hari (waktu maksimum yang dibutuhkan dalam revisi besar, berdasarkan buku monitoring riwayat peralatan mesin kertas PT kertas Padalarang, 1980-1996), maka dalam satu tahun operasi mesin, membutuhkan 4.39 kali perawatan dan perbaikan, berarti membutuhkan waktu 61.46 hari. Apabila produksi kertas perhari 10 ton

(berdasarkan informasi dari PT. Kertas Padalarang), maka produksi per 24 jam (3 shift) adalah 30 ton. Produksi yang hilang dalam satu tahun karena digunakan untuk perbaikan dan perawatan adalah :  $61.46 \times 30 \text{ ton} = 1843.8 \text{ ton}$ . Berarti perkiraan produksi pertahun setelah dikurangi waktu untuk perawatan dan perbaikan adalah :  $(365 \times 30 \text{ ton}) - 1843.8 = 9106.2 \text{ ton}$ . Jadi apabila target produksi PT Kertas Padalarang adalah 6000 ton pertahun (berdasarkan informasi dari PT. Kertas Pada-larang), maka waktu revisi (perawatan dan perbaikan) setiap 2000 jam operasi atau setiap 83 hari operasi, masih menguntungkan karena target produksi masih dapat dicapai bahkan lebih dari target yang diinginkan dengan catatan kemungkinan tidak terjadi keru-sakan sebelum jam operasi 2000 jam atau 83 hari.

Secara teoritis jam operasi 2000 jam dan jam operasi 1000 jam menghasilkan probabilitas keru-sakan yang cukup besar yaitu 0.99 dan 0.98 (Tabel 3). Artinya harga probabilitas kerusakannya hampir sama (selisih 0.01) akan tetapi apabila dihitung dari produksi yang akan hilang, sangat besar bedanya. Yaitu apabila jam operasi 1000 jam yang akan dijadikan acuan untuk waktu perawatan dan perbaikan, berarti dalam satu tahun operasi diperlukan 8.78 kali perawatan dan perbaikan mesin yang memerlukan waktu  $8.78 \times 14 \text{ hari} = 123 \text{ hari}$ , dan produksi yang akan hilang adalah :  $123 \times 30 \text{ ton} = 3690 \text{ ton}$ . Kemudian produksi yang akan dihasilkan dalam satu tahun adalah :  $(365 \times 30 \text{ ton}) - 3690 = 7260 \text{ ton}$ . Berarti target produksi masih terpenuhi. Tetapi produksi yang hilang adalah dua kali lipat dibandingkan dengan jam operasi 2000 jam untuk revisi.

Sebagai perbandingan, dari data monitoring peralatan pengolahan kertas PT Kertas Padalarang, dimana hasil pencatatan jadwal revisi (perawatan dan perbaikan) selama lima belas tahun, menunjukkan bahwa waktu rata-rata untuk revisi (perawatan dan perbaikan) mesin kertas adalah 4203.9 jam, dan waktu rata rata untuk revisi besar adalah 2982 jam. Harga tersebut lebih besar dari 2000 jam. hal ini disebabkan karena fihak pabrik tidak mengikuti jadwal revisi yang tetap, artinya jika mesin kertas tersebut kelihatan masih kelihatan baik, akan dioperasikan terus sampai target produksi tercapai (berdasarkan informasi dari bagian Teknik PT. Kertas Padalarang). Setiap revisi memerlukan waktu maksimal 7 hari, sedangkan untuk revisi besar memerlukan waktu maksimal 14 hari. Perlu diketahui bahwa peluang kerusakan pada jam operasi 2000 jam sudah mendekati 1, jadi sebaiknya jadwal revisi dilakukan sebelum mencapai jam operasi 2000 jam atau selambat lambatnya pada jam operasi 2000 jam.. Dengan demikian jam operasi 2000 jam dapat dijadikan acuan untuk jadwal perawatan dan perbaikan.

Perhitungan yang lebih detail mengenai pemilihan jam operasi untuk menentukan waktu revisi (perawatan dan perbaikan) dengan perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk setiap revisi adalah 14 hari, diberikan pada Tabel 2. Sedangkan untuk setiap revisi yang membutuhkan waktu 7 hari diberikan pada Tabel 3.



**Gambar 4. Peluang Kegagalan Keseluruhan Peralatan Pengolahan Kertas.**

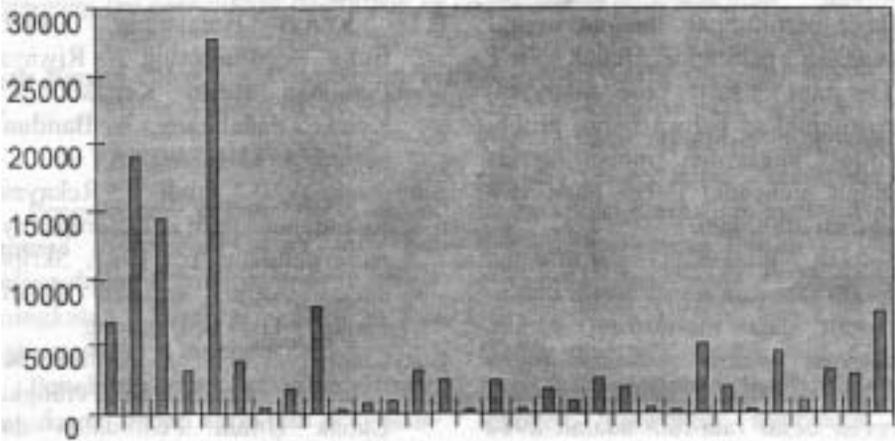
**Tabel 2. Penentuan jadwal revisi berdasarkan jam operasi T dimana perkiraan setiap revisi memerlukan waktu 14 hari,<sup>[6]</sup> 1 tahun = 365 hari.**

NO.	T (JAM)	Q(T)	Produksi Hilang Per tahun (Ton)	Produksi per tahun (Ton)	Jumlah Revisi per tahun
1	0	0			
2	100	0.31	36792		87.6 kali
3	200	0.55	18396		43.8 kali
4	300	0.68	12264		29.2 kali
5	500	0.85	7358.4	3621.6	17.5 kali
6	700	0.95	5256	5724	12.5 kali
7	1000	0.98	3679.2	7300.8	8.8 kali
8	2000	0.99	1839.6	9140.4	4.4 kali

Tabel. 3. Penentuan jadwal revisi berdasarkan jam operasi T dimana perkiraan setiap revisi memerlukan waktu 7 hari<sup>[6]</sup>. 1 tahun = 365 hari

NO.	T (JAM)	Q(T)	Produksi Hilang Per tahun (Ton)	Produksi per tahun (Ton)	Jumlah Revisi per tahun
1	0	0			
2	100	0.31	18396		87.6 kali
3	200	0.55	9198	1782	43.8 kali
4	300	0.68	6132	4848	29.2 kali
5	500	0.85	3679.2	7300.8	17.5 kali
6	700	0.95	2628	8352	12.5 kali
7	1000	0.98	1839.6	9140.4	8.8 kali
8	2000	0.99	919.8	10060.2	4.4 kali

Waktu melakukan Revisi, Jam



Revisi

Gambar 5. Waktu revisi peralatan pengolahan kertas berdasarkan data monitoring riwayat peralatan mesin kertas<sup>[6]</sup>

## KESIMPULAN

1. Untuk menjaga kelancaran mesin suatu industri diperlukan jadwal revisi yang tetap dan selalu mencatat keadaan mesin (riwayat mesin), catatan tersebut harus selengkap mungkin, yaitu penggantian komponen, pada jam operasi tertentu, dicatat spesifikasi atau jenis komponen yang diganti dan komponen penggantinya, sehingga umur komponen tersebut dapat diketahui.
2. Dari data monitoring mesin beserta komponennya, dapat dihitung TTF ( Time To Failure) dan dari harga TTF dapat ditentukan MTTF (mean Time To Failure) aktual.
3. Hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak DFT (Diagram Fault Tree Analyses) menunjukkan bahwa harga probabilitas kegagalan mesin kertas sudah mencapai 0.999 pada jam operasi 2000 jam.
4. Setelah dilakukan perhitungan waktu rata-rata revisi mesin berdasarkan data monitoring mesin, ternyata waktu rata-rata revisi adalah 4203.871 jam dan waktu revisi besar rata-rata adalah 2982 jam. Jelas hal ini kurang menguntungkan karena harga tersebut lebih besar dari 2000 jam.
5. Dianjurkan untuk melakukan revisi setiap jam operasi mencapai 2000 jam.

## DAFTAR PUSTAKA

Kececioglu .D, Reliability Engineering Hand Book,1991, Volume 1,PTR,Prentice Hall, Prentice-Hall Inc. a Paramount Commu-

nication Company Englewood Cliff, New Jersey 07632.

Kececioglu .D, Reliability Engineering Hand Book,1991, Volume 2,PTR,Prentice Halt, Prentice - Hall Inc. a Paramount Communication Company Englewood Cliff, New Jersey 07632.

Michael R.W, Excel 5.0 For Windows, 1996, PT Dinastindo Adiperkasa internasional, Jakarta.

Perusahaan Pertambangan dan Gas Bumi Negara,1992, Pedoman Penyusunan Diagram Fault Tree Analysis, jakarta, Direktorat Pengolahan.

Papoulis, A, Probability, Random variables and Stochastic Processes, 1984, Second edition,Mc Graw Hill Inc.

P.T Kertas Padalarang, 1996, Buku Monitoring Riwayat Peralatan Mesin Kertas PT Kertas Padalarang, Bandung periode 1980 - 1996.

Surachman.A, Studi Rekayasa Keandalan dan Penerapannya pada peralatan Tol, 1997, Skripsi Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika, FTI-ITB, Bandung

Suryadhana N.N, Kadiman.K., Samsi.A., Pembuatan Perangkat Lunak Untuk Pembuatan dan Analisa Diagram Alur Kegagalan Analisis Kegagalan Sistem Dengan Menggunakan Diagram Alur Kegagalan, 1997, Skripsi Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika, FTI-ITB, Bandung.