ANALISIS KEANDALAN PERALATAN PENGOLAHAN KERTAS

Reliability Analysis of Paper Machine

M. Yamin[1], Kusmayanto Kadiman[2], Hermawan Kresno Dipoyono[2]

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 Suryadhana.N.N.[17] 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.

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

[2] 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[1]

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.[1]

Keandalan adalah probabilitas terkondi-sikan 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.[4]

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

$$\bar{R}(t) = \frac{N_S(t)}{N_T(t)} \quad \text{.......................} \quad (1)$$

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

Ns(t) = banyaknya misi yang sukses, selama waktu t.

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

$$\bar{R}(t) = 1 - \bar{Q}(t) \quad \text{.......................} \quad (2)$$

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

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

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

Penyebab Kerusakan

Dari sisi keandalan, kerusakan dapat dilihat dari dua cara[1] :

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*)*)[1]

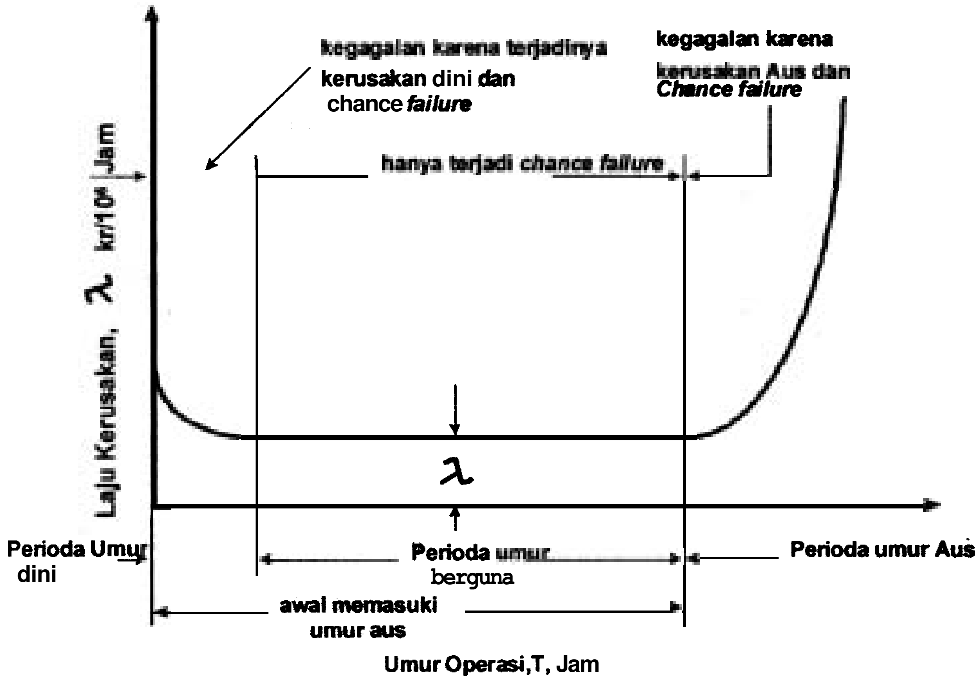
   1. Teknik manufaktur yahg kurang memadai, termasuk proses, penanganan, dan perakitan
   2. Kontrol mutu yang tidak sempuma.
   3. Sistem tenaga kerja yang lemah.
   4. Material yang tidak memenuhi standar
   5. Komponen yang tidak standar
   6. Penggantian komponen dengan yang tidak standar
   7. Suku 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.

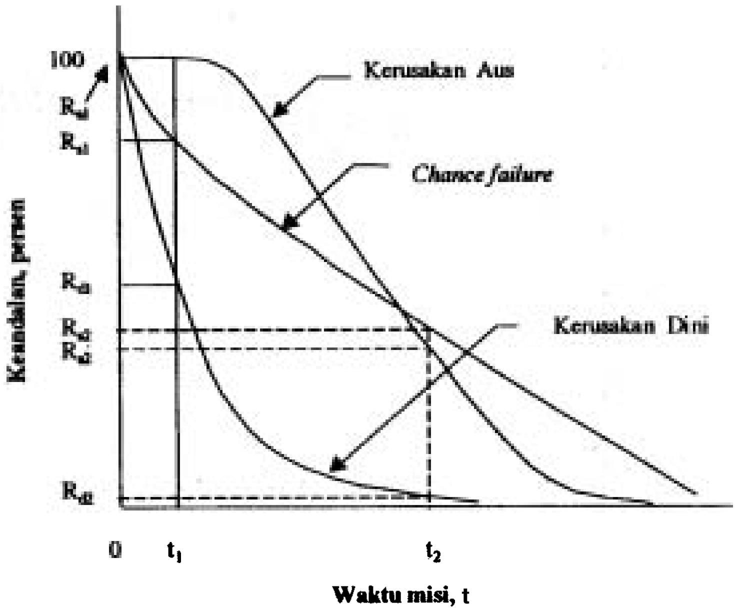
B. Penyebab *Chance failure***)[1]

   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-aplication)
   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.

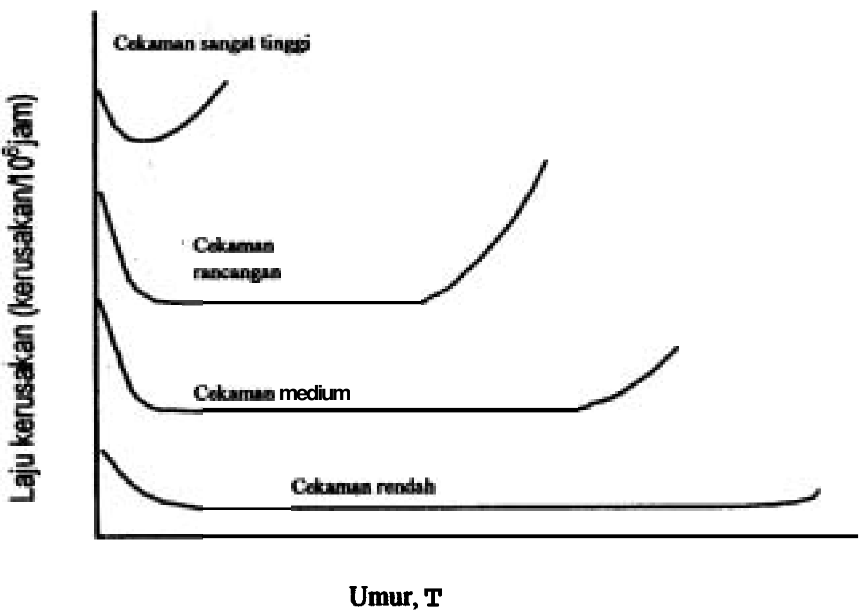
**) *Chance Failure* terjadi tanpa diharapkan dalam waktu interval acak yang tidak teratur. Akan tetapi secara keseluruhan, distribusi TTF (Time To Failure) adalah suatu fungsi eksponensial negatif, dan laju kerusakannya pada perioda operasi yang cukup panjang adalah tetap.



Gambar 1. Kurva bak mandi keandalan[1]



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



Gambar 3. Pengaruh tingkat cekaman pada kurva bak mandi keandalan.[1]

C. Penyebab Wear out *Failure****)[1]
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 bertambah-nya 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 perioda umur ***berguna*** lebih pendek, dan perioda umur ***aus*** akan dimulai lebih awal.

METODA PENENTUAN KEANDALAN

Secara umum, sebagian besar komponen dan produk mengalami tiga perioda umur,''' yaitu :
1. Umur dini (early *life)*
2. Umur berguna (***useful*** life)
3. Umur aus (wear out 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 chance failure 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[1]

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

dimana

β = parameter bentuk;

γ = parameter lokasi

η = parameter skala

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

Keandalan pada kondisi kerusakan dini diberikan oleh persamaan,

$$R_e(T) = \int_T^\infty f_e(T)dt = e^{-(\frac{T-\gamma}{\eta})^\beta} \quad (5)$$

Laju Kerusakan λ (T) pada kerusakan dini adalah,

$$\lambda_e(T) = \frac{f_e(T)}{R_e(T)} = \frac{\beta}{\eta}[\frac{T-\gamma}{\eta}]^{\beta-1} \quad (6)$$

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 λ, yang merupakan laju kerusakan pada umur berguna. Ada empat persamaan yang dapat digunakan untuk analisis keandalan yaitu,

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

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

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

$$\lambda_c(T) = \lambda \quad \text{.......................} \quad (10)$$

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 $\beta > 1$. Kemudian distribusi Weibul akan menghasilkan laju kerusakan yang meningkat dengan bertambahnya umur.

Untuk distribusi Weibul, persamaan-persamaan yang digunakan sama seperti pada perioda kerusakan dini yaitu,

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

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

$$\lambda_a(T) = \frac{f_e(T)}{R_e(T)} = \frac{\beta}{\eta}[\frac{T-\gamma}{\eta}]^{\beta-1} \quad (13)$$

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

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

dimana,

$f(T) \geq 0;$

$-\infty < T < \infty;$

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

$\sigma_r > 0$

$\overline{T}$ = **rata-rata normal** TTF, Jam

σ_T = standar deviasi TTF

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

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

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

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

ϕ (z) = fungsi **kepadatan** peluang **distribusi** normal **yang** distandar-kan.

$$z = \frac{T-\overline{T}}{\sigma_T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \tag{18}$$

Maka laju **kerusakan** dapat **ditentukan sebagai** berikut,

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

Sedangkan **persamaan** untuk **keandalan** adalah,

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

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

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

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

Maka laju kerusakan diberikan oleh **persamaan,**

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

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.**[6]
2. **Mencari informasi mengenai komponen-komponen peralatan** yang paling dominan dalam **menjaga kelancaran produksi** kertas. [6]
3. Mencari **informasi** tentang **umur pakai komponen** peralatan, dengan **melihat** spesifikasi alat **(komponen) serta melihat** data **kerusakan** afat (Tine To ***Failure*)** **berdasarkan** jam **operasi** alat **selama lima belas** tahun **(1980-**1995). dari data TTF ***(Tine*** *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.**[6]

Pengolahan ***Data***

1. Pengolahan data **dilakukan dengan menggunakan Microsoft Exell.**[3]
2. **Penentuan peluang kegagalan peralatan** pengolahan kertas

dengan menggunakan perang-kat lunak *diagram fault* tree *analysis* *(DFT),* yaitu menggu-nakan data hasil perhitungan MTTF setiap komponen peralatan pengolahan kertas. Maka perangkat lunak DFT menghitung peluang kega-galan total mesin kertas.[8]

3. Dari hasil perhitungan peluang kegagalan total mesin kertas, maka jadwal perawatan dan per-baikan 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 λ(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,[8] 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 gam-baran tentang harga peluang kegagalan keseluruhan peralatan pengolahan kertas, maka Tabel 1 di atas digam-barkan dalam bentuk grafik antara peluang kegagalan Q(T) terhadap Jam operasi T, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4. Dari Gambar tesebut terlihat bahwa peluang kega-galan 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 diingin-kan 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 berope-rasi 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 ber-henti tiba-tiba.

Jika setiap perawatan dan perba-ikan mesin membutuhkan waktu 14 hari (waktu maksimum yang dibutuh-kan 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 x 30 ton = 1843.8 ton. Berarti perkiraan produksi pertahun setelah dikurangi waktu untuk perawatan dan perbaikan adalah : (365 x 30 ton)-1843.8 = 9106.2 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 kerusakaannya 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 x 14 hari = 123 hari, dan produksi yang akan hilang adalah : 123 x 30 ton = 3690 ton. Kemudian produksi yang akan dihasilkan dalam satu tahun adalah : (365 x 30 ton)-3690 = 7260 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 watu 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.