
ANALISIS PENGGANTIAN KOMPONEN MESIN *TUBE SPLICING* DAN MESIN *TUBE CURING* DENGAN DISTRIBUSI *WEIBULL* DAN PERHITUNGAN EFISIENSI BIAYA DI PT GAJAH TUNGGAL TBK

Budi Ariyanto

STT Yupentek Tangerang
boediaryanto@gmail.com

Abstract: Industrial problems about spare parts/production equipment replacement is one of the very important issue, because this issue relates to the cost that must be issued , both as a consequence of the replacement appliance, repair or the most fatal is the lost production due to the damage. PT Gajah tunggal Tbk is a large company with a very much number and type of machines or production equipment. With the number reached 2,569 machines, of course, engine components / spare parts for these machines are very many and need to be replaced periodically to maintain reliability of these machines . Replacement engine components often occurs when the engine failure has occurred. The number of machines in the PT Gajah Tunggal Tbk requires an effective and efficient component maintenance system. The purpose of this study was to determine the reliability of the replacement of machine components O - Ring Seal on Tube Splicing machines and motor on Tube Curing machine with weibull distribution. This study using software weibull 9 ++ for the determination of a suitable distribution and determine the optimal time replacement components of the O-ring Seal on Tube Splicing machine and Motor on Tube Curing machine. Then the results are applied to compare the cost of maintenance of the components in the event of replacement with the replacement schedule. The result shows that weibull distribution can help determine the reliability of the preventive maintenance engine components which impact to increases the efficiency of maintenance cost.

Keywords: Preventive Maintenance, Reliability, Weibull Distribution.

Abstrak: Masalah bidang industri tentang penggantian (*replacement*) *sparepart*/alat produksi adalah salah satu masalah yang sangat penting, karena permasalahan ini berhubungan dengan biaya (*cost*) yang harus dikeluarkan, baik itu akibat dari penggantian alat, perbaikan atau yang paling fatal adalah produksi yang hilang akibat kerusakan tersebut. PT Gajah Tunggal Tbk adalah perusahaan besar dengan jumlah mesin atau alat produksi yang sangat banyak baik jumlah maupun jenisnya. Dengan jumlah mesin yang mencapai angka 2.569, tentu saja komponen mesin/*spare part* untuk mesin-mesin tersebut adalah sangat banyak dan perlu diganti secara berkala untuk tetap menjaga keandalan (*reliability*) mesin-mesin tersebut. Penggantian komponen mesin sering terjadi ketika sudah terjadi kegagalan mesin. Banyaknya mesin yang ada di PT Gajah Tunggal Tbk membutuhkan sebuah sistem *maintenance* komponen mesin yang efektif dan efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui keandalan penggantian komponen-komponen mesin *O-Ring Seal* pada mesin *Tube Splicing* dan Motor Mesin pada mesin *Tube Curing* dengan distribusi *weibull*. Penelitian ini menggunakan *software weibull 9++* untuk

penentuan distribusi yang cocok dan mengetahui waktu optimal penggantian komponen-komponen *O-ring* pada mesin *Tube Curing* dan motor mesin pada mesin *Tube Splicing*. Kemudian hasilnya diterapkan untuk membandingkan biaya pemeliharaan komponen ketika terjadi penggantian dengan penggantian sesuai jadwal (hasil keandalan). Pengujian terhadap *O-ring Seal* dan Motor menunjukkan bahwa penggunaan distribusi *Weibull* dapat membantu penentuan keandalan perawatan preventif komponen mesin yang berdampak meningkatkan efisiensi biaya perawatan mesin.

Kata Kunci:Perawatan Preventif, Keandalan, Distribusi Weibull.

PENDAHULUAN

Penggantian alat (*sparepart*) produksi adalah salah satu masalah yang sangat penting dalam bidang industri, karena permasalahan ini berhubungan dengan biaya (*cost*) yang harus dikeluarkan, baik itu akibat dari penggantian alat, perbaikan atau yang paling fatal adalah produksi yang hilang akibat kerusakan tersebut. PT Gajah Tunggal Tbk adalah perusahaan besar dengan jumlah mesin atau alat produksi yang sangat banyak baik jumlah maupun jenisnya. Data terakhir per Februari 2014 jumlah mesin di PT Gajah Tunggal Tbk adalah seperti dalam Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Mesin Di PT Gajah Tunggal Tbk Tahun 2014

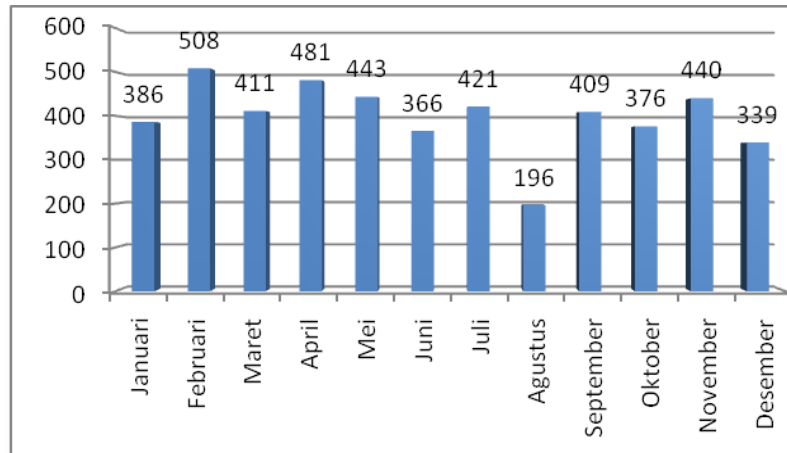
Plant	Jumlah Mesin
A	555
BCHI	1.098
DEKM	916
Jumlah Total	2.569

Sumber: PT Gajah Tunggal Tbk, Engineering Dept 2014

Dengan jumlah mesin yang mencapai angka 2.569, tentu saja komponen mesin (*spare part*) untuk mesin-mesin tersebut sangat banyak dan perlu diganti secara berkala agar tetap terjaga keandalannya.

Sistem *maintenance* mesin dalam sebuah industri memiliki peran penting untuk mencapai tujuan dan target perusahaan. Dari data dan pentingnya peran *maintenance* tersebut timbul permasalahan bagi PT Gajah Tunggal Tbk dalam menerapkan program *preventive maintenance*. Secara intuisi tentu saja dapat diketahui bahwa waktu yang paling baik untuk melakukan penggantian adalah ketika mesin-mesin belum mengalami kerusakan yang berat. Namun penggantian tidak dapat dilakukan terlalu dini karena memiliki nilai ekonomis yang tersisa.

Teknologi modern telah memungkinkan orang merancang banyak sistem yang rumit penggunaannya, bergantung pada keandalan berbagai komponen dalam sistem tersebut. Sebagai contoh, suatu sekering putus, tiang baja melengkung, atau alat pengindera panas tak bekerja. Komponen yang sama akan rusak dalam waktu yang berlainan yang tak dapat diramalkan.



Gambar 1. Grafik Penggantian Spare Part Mesin di Plant B
PT Gajah Tunggal Tbk Tahun 2013

Sumber: PT Gajah Tunggal, Engineering Dept 2013

Salah satu distribusi yang cocok dan banyak sekali dipakai dalam menangani masalah seperti keandalan dan uji umur adalah distribusi *Weibull*. Dalam penelitian Adnan, dkk (2013) menemukan bahwa *Mean Square Error* untuk metode momen lebih kecil dibandingkan dengan metode kemungkinan maksimum. Pada penelitian Prabowo, dkk (2010) menyatakan bahwa berdasarkan data gangguan mesin dan biaya penggantian komponen, digunakan distribusi *Weibull* untuk menentukan interval waktu pemeliharaan. Menurut penelitian Siagian, dkk (2013) bahwa dengan menerapkan *preventive maintenance* di PT XYZ diperoleh biaya penggantian kritis sebesar Rp 3.865.506,00 sedangkan biaya *corrective maintenance* sebesar Rp 5.314.127,00. Penurunan biaya yang diperoleh dengan penerapan *preventive maintenance* adalah sebesar 27,25%. Sementara dalam penelitian Aboura dan Agbinya (2013) menyajikan suatu prosedur untuk menentukan waktu yang optimal untuk penggantian sejumlah besar identik item yang beroperasi dibawah kondisi serupa. Hasil penelitian ini sangat mendukung sebagai referensi untuk penelitian penulis saat ini.

Menurut Rani, dkk (2014) laju kegagalan mengikuti *Weibull*, distribusi dan *hence*, penggantian optimum dapat ditentukan. Waktu ini akan meminimalkan total *downtime* dan meningkatkan proporsi waktu komponen kesanggupan sistem. Pada penelitian Tashtoush, dkk (2010) ditunjukkan nilai parameter dapat ditentukan untuk *preventive maintenance* lebih baik daripada *corrective maintenace*.

Dalam penelitian Das (2007) variabel yang diukur adalah *Cellular manufacturing systems, Machine reliability, Exponential distribution, Weibull distribution, Partprocessing*

routes, Routing flexibility. Penelitiannya menunjukkan kemampuan karakteristik model perbedaan kegagalan, seperti dalam meningkatkan, menurunkan dan menetapkan *rate* kegagalan mesin. Masalah sederhana menyelesaikan untuk penerapan model ilustrasi. Pada penelitian yang lain Das (2006) menggunakan pendekatan biaya kombinasi dan *reliability* dan optimum biaya *maintenance* melalui mendatakan ketentuan group pemeliharaan berdasarkan reliabilitas mesin.

Menurut Hazhiah, dkk (2012) *a Bayesian method is combine prior distribution and distribution of samples, so that the posterior distribution can be obtained. Interval estimation using a method Bayes called credible interval estimation. In this thesis, the distribution of the sample is used a two-parameter Weibull distribution scale-shape-version of survival distribution (reliability)*. Variabel yang diukur dalam penelitiannya adalah *Bayes Method, Two-Parameters Weibull Distribution, Gamma Distribution, The Estimated Credible Interval*

Dalam penelitian Cassady dan Cortanuglo (2005) dibandingkan antara *the performance of the integrated solution* dengan *the solutions obtained from solving the preventive maintenance planning dan job scheduling problems independently. For the problems studied, integrating the two decision-making processes resulted in an average improvement of approximately 2% and occasional improvements of as much as 20%. Depending on the nature of the manufacturing system, an average savings of 2% may be significant.*

Dalam penelitian Ahmad, dkk (2013) *Deteriorating component, Weibull distribution, Maintenance optimisation, Replacement strategy and Economic decision* menjadi variabel yang diukur dalam penelitiannya. Tujuan dari penelitiannya adalah untuk mengenalkan *Preventive Replacement Strategy* untuk menentukan waktu penggantian yang optimal terhadap komponen yang memburuk dari waktu ke waktu. *The results from the case study analysis showed that failure time followed the weibull distribution and hence, the optimum replacement time can be determined.*

Menurut penelitian Lukmandani, Santosa dan Maukar (2011) bahwa fungsi keandalan dan MTTF dapat diketahui dari *software*. Interval jadwal pergantian dicari berdasarkan tingkat *downtime* yang minimum. Dengan diketahuinya interval pergantian yang optimal, maka jadwal perawatan untuk mesin, jadwal pergantian untuk sub mesin dapat diketahui. Mazzuci dan Soyer (1996) dalam penelitiannya menyajikan pendekatan yang mendasarkan keputusan *Bayesian* untuk menentukan strategi penggantian yang optimal. Pendekatan ini memungkinkan untuk secara resmi menggabungkan, *express*, dan memperbaharui ketidakpastian ketika menentukan strategi penggantian optimal.

Model simulasi yang berbasis pada distribusi *Weibull* dan terkomputerisasi dapat menjadi solusi untuk masalah *preventive maintenance* dalam industri. Dengan model ini memungkinkan lebih banyak data yang dapat diolah dan mampu menangani lebih banyak simulasi kerusakan, sehingga memudahkan pengambilan keputusan atau kebijakan *maintenance* yang baru. Dalam penelitian Rishel dan Canel (2006) hasil dari analisis simulasi menunjukkan bahwa variasi pada pemeliharaan memiliki dampak *return on capital* dan keuntungan bisnis.

Berdasarkan uraian masalah di atas dan beberapa referensi dari beberapa penelitian-penelitian terdahulu, menjadi dasar dan alasan bagi peneliti untuk menganalisis lebih lanjut dan menerapkan model simulasi guna menyelesaikan permasalahan yang ada, yaitu dengan

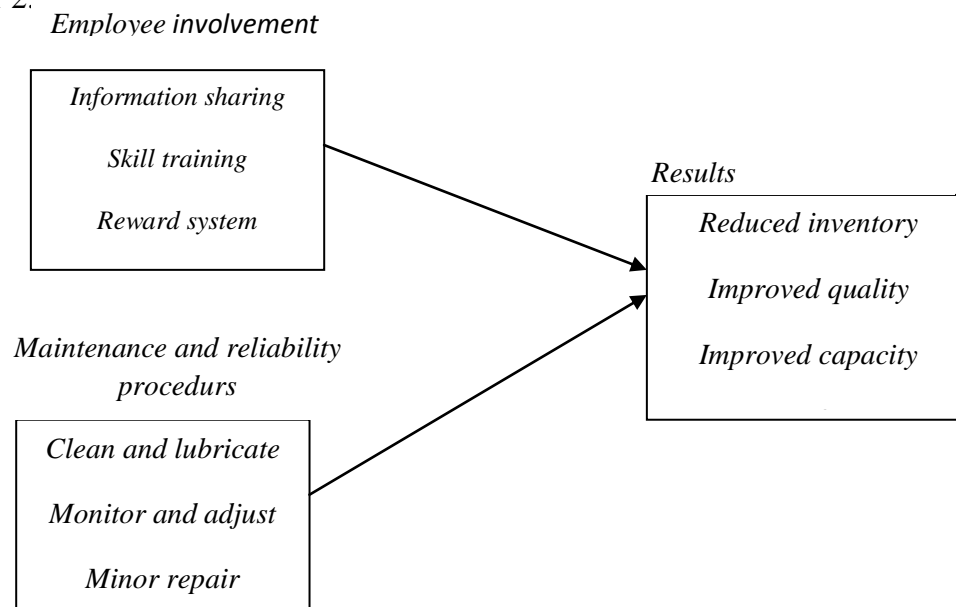
judul “Analisis Penggantian Komponen Mesin *Tube Splicing* dan Mesin *Tube Curing* dengan Distribusi *Weibull* dan Perhitungan Efisiensi Biayadi PT Gajah Tunggal Tbk”.

Dari uraian masalah di atas selanjutnya dapat dirumuskan dalam bentuk pertanyaan sebagai berikut: (1) Bagaimanakah keandalan penggantian komponen-komponen mesin *O-Ring Seal* pada mesin *Tube Slicing* dan Motor pada mesin *Tube Curing* dengan distribusi kegagalan *weibull*?; (2) Berapa efisiensi biaya pemeliharaan setelah penerapan dilakukan?

KAJIAN TEORI

Pemeliharaan (*maintenance*) adalah semua kegiatan yang mengusahakan agar peralatan/sistem bekerja dengan semestinya. Menurut Assauri (2008) pemeliharaan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas/peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Sedangkan menurut Sultan (2009), Pemeliharaan merupakan semua aktivitas termasuk menjaga peralatan dan mesin selalu dapat melaksanakan pesanan pekerjaan.

Dari pendapat di atas dapat disimpulkan bahwa kegiatan pemeliharaan dilakukan untuk merawat atau memperbaiki peralatan perusahaan agar dapat melaksanakan produksi dengan efektif dan efisien sesuai dengan pesanan yang telah direncanakan dengan hasil produk yang berkualitas. Konsep strategi pemeliharaan dan *reliability* yang baik ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Konsep strategi pemeliharaan dan Reliability yang baik membutuhkan karyawan dan prosedur yang baik
Sumber: Heizer and Render, 2001

Keandalan (*Reliability*). Keandalan (*Reliability*) adalah kemungkinan mesin itu berfungsi dengan baik dalam waktu operasi yang telah ditetapkan. *Reliability* 90% artinya bahwa unit akan melaksanakan tugas hanya 90% dari waktu yang ditetapkan, atau juga unit akan gagal 10% dari waktu tersebut.

Keandalan juga didefinisikan sebagai probabilitas bahwa mesin, peralatan atau sistem akan melakukan fungsi khusus untuk waktu yang ditetapkan tanpa kegagalan. Agar angka keandalan berarti, kondisi operasi harus hati-hati dan didefinisikan dengan jelas. Istilah-istilah yang sering dikenal dalam kaitan dengan keandalan adalah sebagai berikut: (1) MTBF, waktu *mean* antara kegagalan (*mean time between failure*). Saat diterapkan untuk mesin yang dapat diperbaiki, ini adalah rata-rata waktu sistem akan beroperasi sampai kegagalan berikutnya. (2) Tingkat kegagalan adalah jumlah kegagalan perunit tekanan. Tekanan dapat berupa waktu (contoh, kegagalan mesin pergiliran), siklus muatan (contoh, keretakan pesawat per 100.000 penyimpangan dari 6 inci) atau sejumlah tekanan lainnya. (3) MTTF atau MTFF, waktu *mean* pada kegagalan pertama (*mean time to first failure*). Ini adalah ukuran yang diterapkan pada sistem yang tidak dapat diperbaiki selama misinya. Sebagai contoh, MTBF akan menjadi tidak relevan pada pesawat luar angkasa *voyager*. (4) MTTR, waktu *mean* untuk memperbaiki (*mean time to repair*). Rata-rata waktu berlalu antara satu unit menjadi rusak dan sedang diperbaiki dan kembali ke pelayanan. (5) Ketersediaan adalah proporsi dari waktu suatu sistem dapat dioperasikan. Ini hanya relevan untuk sistem yang dapat diperbaiki.

Distribusi Weibull. Untuk menghitung keandalan peralatan atau komponen, langkah pertama harus mengetahui model probabilitas atau komponen yang dinyatakan dengan distribusi statistik. Distribusi statistik tergantung pada jenis kerusakan dari suatu sistem independen terhadap umurnya dan karakteristik-karakteristik lain dari sejarah pengoperasiannya. Distribusi eksponensial digunakan untuk laju kegagalan yang konstan, sedangkan jika laju kegagalan tergantung pada bertambahnya umur sistem, maka digunakan distribusi Weibull (Smith, 2001).

Untuk menentukan jenis distribusi data yang akan diproses, diperlukan pengujian distribusi (*Probability Distributions*), sehingga diketahui apakah data berdistribusi secara Normal, *Lognormal*, *Exponential* atau *Weibull*. Pengujian distribusi ini dapat dilakukan dengan bantuan *Software Minitab*, kemudian diambil koefisien korelasi (*correlation coefficient*) yang terbesar.

Fungsi Kepadatan. Fungsi $f(t)$ mewakili fungsi probabilitas untuk variabel random T yang kontinu disebut fungsi probabilitas kepadatan. Menurut Smith (2001) fungsi kepadatan adalah:

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1} e^{-(t/\eta)^\beta}}{\eta^\beta}, \quad t \geq 0, \quad \beta > 0, \quad \eta > 0 \quad \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana; β = parameter bentuk (slope) η = parameter skala

- untuk $0 < \beta < 1$, laju kegagalan akan berkurang seiring bertambahnya waktu.
- untuk $\beta = 1$, maka laju keagalannya adalah konstan
- untuk $\beta > 1$, laju keagalannya akan bertambah seiring bertambahnya waktu.

Untuk menaksir nilai parameter β dan η dilakukan dengan perhitungan regresi linier : $Y = a + bt$. Nilai β dan η dapat juga dicari menggunakan grafik *Probability Weibull*, atau menggunakan *Software Weibull*.

Fungsi Keandalan

Keandalan suatu alat adalah probabilitas untuk tidak rusak (*survival*) selama periode t tertentu atau lebih. Fungsi keandalan terhadap waktu $R(t)$ dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana:

$f(t)$ = fungsi kepadatan peluang, kemungkinan kegagalan untuk periode tertentu

$R(t)$ = keandalan (Reliability), peralatan beroperasi pada waktu t

$R = 1$ sistem dapat melaksanakan fungsi dengan baik

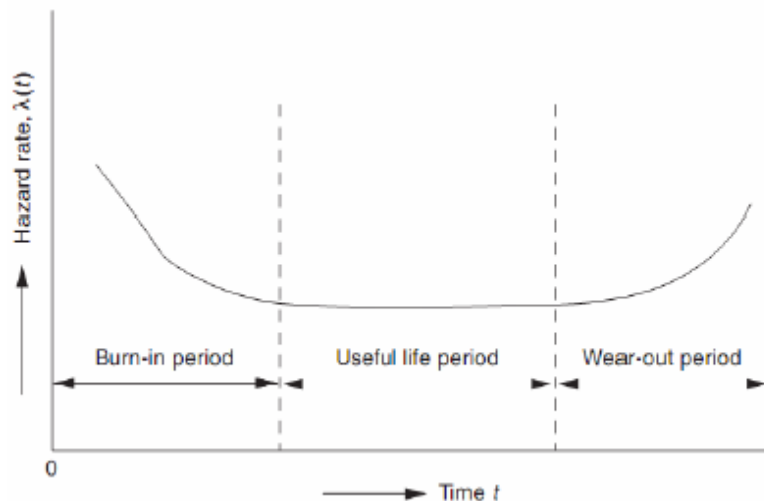
$R = 0$ sistem tidak dapat melaksanakan fungsi dengan baik

$R = 0,8$ sistem dapat melaksanakan fungsi dengan baik = 80%

Fungsi Laju Kegagalan. Laju kegagalan adalah banyaknya kerusakan per satuan waktu. Secara sederhana laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan banyaknya kegagalan selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi sistem atau sub sistem.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}}{\eta^{\beta} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}} = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^{\beta}} \dots\dots\dots(2-3)$$

Laju kegagalan digambarkan dalam Kurva Bath-Tube seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Kurva *Bath – tub*
 Sumber: Sultan,2009

Fungsi Kumulatif

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta} \dots\dots\dots(2-4)$$

Mean Time Between Failure (MTBF)

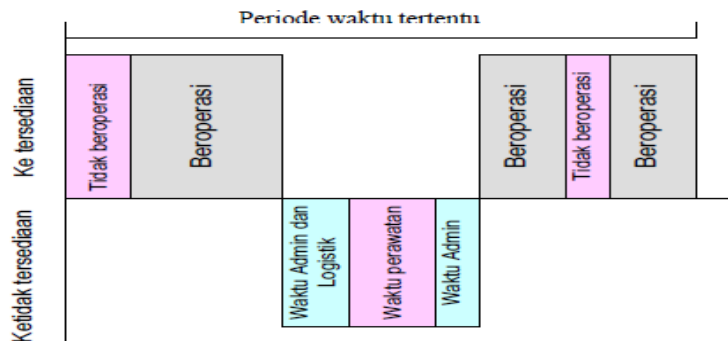
MTBF atau rata-rata waktu kerusakan adalah ekspektasi bisa pakai dari suatu sistem atau peralatan, seperti yang dinyatakan oleh Dhillon (2002). *MTBF* bermanfaat untuk mengetahui kinerja dan kemampuan dari peralatan yang digunakan dan dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$MTBF = \int_0^\infty R(t) dt = \int_0^\infty e^{-(t/\eta)^\beta} dt$$

$$= -\frac{\eta^\beta}{\beta t^{\beta-1}} e^{-(t/\eta)^\beta} \dots\dots\dots(2-5)$$

MTBF dinyatakan dalam total jam operasi per jumlah kegagalan.

Ketersediaan (Availability). Didefinisikan sebagai probabilitas untuk dapat menemukan suatu sistem untuk melakukan fungsi yang diperlukan pada suatu periode waktu tertentu. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan suatu sistem. Gambar 4 menunjukkan beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan suatu sistem, beberapa diantaranya dapat diperbaiki pada periode desain dan beberapa yang lainnya dapat diperbaiki pada periode operasional.



Gambar 4. Ilustrasi Ketersediaan

Sumber: Priyanta, 2000

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada dasarnya perawatan akan berfungsi untuk menjaga ketersediaan sistem melalui pengontrolan yang optimal pada perawatan korektif dan perawatan preventif serta didukung oleh administrasi dan penggunaan semua sumber daya secara efisien. Formulasi ketersediaan adalah:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana;

MTBF (Mean Time Between Failure) = waktu rata-rata antar kerusakan.

MTTR (Mean Time To Failure) = waktu rata-rata untuk mengerjakan reparasi.

Availability = ketersediaan peralatan untuk beroperasi pada total jam operasi.

Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan. Untuk menerapkan *preventive maintenance*, maka terlebih dahulu membuat jadwal pemeliharaan yang optimal untuk tiap mesin tersebut. Optimal disini berarti efektif dalam meminimalkan adanya kerusakan pada komponen tersebut dan efisien dalam mengeluarkan biaya pemeliharaan. Untuk menentukan interval waktu pemeliharaan yang optimal pada tiap mesin, maka diperlukan parameter distribusi selang waktu kerusakan, dan biaya perbaikan dari tiap komponen tersebut dengan kriteria minimasi biaya.

Total panjang siklus perawatan dan perbaikan adalah:

= (ekspektasi satu siklus preventif x peluang siklus preventif) + (ekspektasi satu siklus kerusakan x peluang siklus kerusakan)

$$= T \times R(t) + \int_0^T t \cdot f(t) dt \dots\dots\dots(2-7)$$

Total biaya optimum pemeliharaan per satuan waktu suatu mesin menurut Smith (2001) digunakan rumus sebagai berikut:

$$C(tp) = \frac{C_p \times R(t) + C_f \times (1 - R(t))}{T \cdot R(t) + \int_0^T t \cdot f(t) dt}$$

= total biaya harapan dalam selang waktu(T) / panjang siklus(2-8)

- Dimana: T = waktu selang pemeliharaan preventif
- R(t) = probabilitas komponen andal selama waktu T
- 1-R(t) = F(t) = probabilitas komponen gagal selama waktu T
- f(t) = fungsi kepadatan probabilitas dari waktu kegagalan komponen.

Dari perhitungan total biaya diatas, dipilih interval waktu pemeliharaan berdasarkan total biaya minimum.

Biaya Pemeliharaan dan Perbaikan. Ada dua macam pembiayaan pemeliharaan suatu mesin, yaitu: biaya pencegahan (*preventive cost*) dan biaya kerusakan (*failure cost*). *Preventive Cost* merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang sudah dijadwalkan. Sedangkan *Failure Cost* merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan diluar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi terhenti waktu produksi sedang berjalan.

Cp = biaya satu siklus *preventive*
 = (biaya kehilangan produksi/hari + biaya tenaga kerja/hari + biaya pemeliharaan rutin) x waktu standar pemeliharaan preventif + harga Komponen.

Cf = biaya satu siklus kerusakan
 = (biaya tenaga kerja/hari + biaya kehilangan produksi/hari) x waktu rata-rata perbaikan kerusakan + harga komponen.

Model penggantian komponen yang akan digunakan adalah melakukan penggantian komponen pada selang waktu (t) dengan mempertimbangkan probabilitas terjadinya

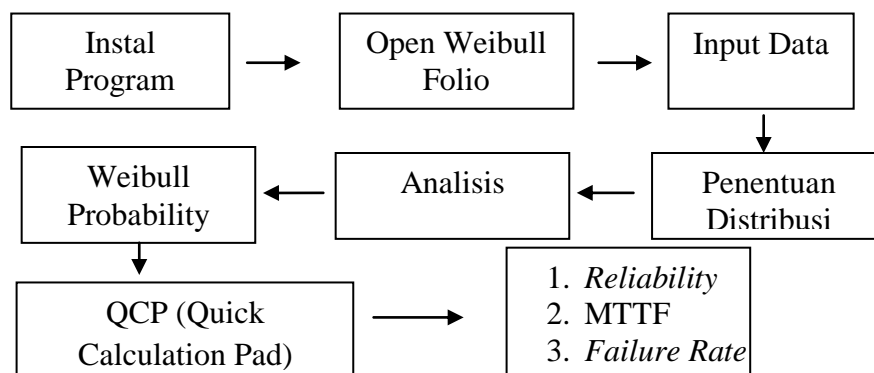
penggantian komponen akibat kerusakan (failure replacement) di dalam selang waktu (t) tersebut. Total biaya perawatan dan penggantian (Total expected replacement):
 $= (\text{biaya satu siklus preventif} \times \text{peluang siklus preventif}) + (\text{biaya satu siklus}$
 $\text{kerusakan} \times \text{peluang siklus kerusakan})$
 $= C_p \times R(t) + C_f \times [1-R(t)] \dots \dots \dots (2-9)$

Kerangka Pemikiran. Seperti yang telah diketahui bahwa persediaan bahan baku dipengaruhi oleh faktor-faktor antara lain: distribusi waktu rata-rata *breakdown*. Dengan menemukan penjadwalan penggantian komponen yang tepat akan menjamin kelancaran proses produksi yaitu dengan menganalisis komponen O-ring mesin Tube Splicing dan motor mesin tube Curing yang dilakukan oleh perusahaan.

METODE

Pendekatan yang digunakan dalam penyelesaian masalah penelitian ini dengan metode deskriptif. Pemilihan metode deskriptif ini karena peneliti tidak hanya memberikan gambaran terhadap fenomena-fenomena yang ada, tetapi juga menerangkan hubungan, membuat prediksi, serta mendapatkan makna dan implikasi dari suatu masalah yang ingin dipecahkan. Pendekatan penyelesaian masalah perlu dilakukan dengan cara yang bertahap dan berurutan. Langkah awal bersifat kualitatif dan umum, kemudian langkah berikutnya bersifat kuantitatif dan spesifik. Penelitian ini merupakan jenis penelitian studi kasus untuk penyelesaian suatu masalah, yang dilakukan secara intensif dan terinci juga mendalam terhadap obyek organisasi perusahaan. Penelitian ini dibatasi untuk membahas pemeliharaan O-Ring Mesin *Tube Splicing* dan Motor Mesin *Tube Curing* untuk meminimalkan terjadinya downtime dan kegagalan mesin pada PT Gajah Tunggal Tbk.

Teknik Analisis Data. Pengolahan data dilakukan menggunakan bantuan *software Weibull* untuk analisis keandalan dengan langkah-langkah seperti dalam Gambar 5.



Gambar 5. Proses Analisis *reliability* dan MTTF menggunakan *software Weibull 9++*
 Sumber: Peneliti, 2014

Data *downtime* dikonversikan menjadi data waktu antar kegagalan

Penerapan Distribusi pada Keandalan. Pada distribusi Weibull terdapat parameter skala(θ) dan parameter bentuk(β). Misalkan $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ adalah sejumlah data waktu antarkerusakan sistem yang disusun menurut urutan terkecil, untuk setiap $t_i (i=1,2,3, \dots, n)$ berlaku hubungan sebagai berikut:

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \dots\dots\dots(3-1)$$

Keterangan : $t_i =$ *time to failure* atau *time to repair* yang ke - i ; i = urutan sejumlah data waktu antar kerusakan sistem yang disusun menurut urutan terkecil; n = banyaknya data Dengan menggunakan persamaan garis:

$$y_i = a + bx_i \dots\dots\dots(3-2)$$

Dimana :

$$x_i = \ln t_i \dots\dots\dots(3-3)$$

$$y_i = \ln \ln \left[\frac{1}{1 - F(t_i)} \right] \dots\dots\dots(3-4)$$

Setelah itu dengan menggunakan persamaan *least square* untuk mencari nilai a dan b :

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \dots\dots\dots(3-5)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} \dots\dots\dots(3-6)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots\dots\dots(3-7)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \dots\dots\dots(d)$$

Dengan kedua konstanta a dan b maka parameter distribusi Weibull dapat ditentukan :

$$\beta = b \dots\dots\dots(3-8)$$

$$\theta = e^{-\frac{a}{b}} \dots\dots\dots(3-9)$$

Selanjutnya apabila telah diperoleh parameter-parameter weibull dari data pengamatan yang diambil, maka parameter tersebut akan menunjukkan suatu pemodelan dari karakteristik fungsi-fungsi distribusi pada konsep keandalan. Fungsi-fungsi distribusi Weibull pada konsep keandalan adalah sebagai berikut :

a) Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} ; \text{ dimana. } \theta > 0, \beta > 0 \text{ dan } t \geq 0 \dots\dots\dots(3-10)$$

b) Fungsi kepadatan peluang kerusakan

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots(3-11)$$

c) Fungsi Keandalan.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots(3-12)$$

d) Fungsi Distribusi Kerusakan

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots(3-13)$$

e) Waktu rata-rata antar kerusakan

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots(3-14)$$

Pendistribusian data waktu antar kegagalan menggunakan program bantu *Weibull* dengan metode *Rank Regression*, dengan membandingkan *Goodness of Fit*, *Plot Fit* dan *Likelihood Function Value* untuk mendapatkan distribusi probabilitas yang paling sesuai untuk data waktu antar kegagalan yang dimaksud.

Menghitung Biaya Penggantian Komponen. Biaya *Corrective Maintenance* adalah biaya yang timbul pada saat terjadi kerusakan yang menyebabkan terhentinya mesin pada saat proses produksi. Perhitungan biaya penggantian komponen secara *corrective* dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$CF = (a+b) \times c + d \dots\dots\dots(3-15)$$

Dimana:

- a = Biaya Tenaga Kerja (Rp/Jam) c = Total waktu penggantian *Corrective* (Jam)
- b = Biaya Kehilangan Produksi (Rp/Jam) d = Harga Komponen/unit (Rp. 000)
- CF = *Cost of Failure*/Biaya penggantian komponen secara korektif

Biaya *preventive maintenance* adalah biaya penggantian suatu komponen yang dibutuhkan sebelum komponen tersebut mengalami kerusakan. Biaya penggantian komponen secara *preventive* dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$CP = (a+b) \times c + d \dots\dots\dots(3-16)$$

Dimana,

- a = Biaya Tenaga Kerja (Rp/Jam) c = Total waktu penggantian *Corrective* (Jam)
- b = Biaya Kehilangan Produksi (Rp/Jam) d = Harga Komponen/unit (Rp. 000)
- CP = *Cost of Preventive*/Biaya penggantian komponen secara *preventif*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan Pola Distribusi Kerusakan Mesin. Dari data kerusakan pada tiap sub unit, kemudian ditentukan pola distribusi kerusakan yang cocok. Dalam proses pemilihan pola distribusi kerusakan, dilakukan dengan menggunakan *software Weibull++9*. Pada tahap awal, dibuat data rentang waktu antar kerusakan pada tiap sub unit. Hasil pemilihan pola distribusi

kerusakan beserta nilai parameternya dari data rentang waktu kerusakan pada Mesin BXS dan BXC ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pemilihan Pola Distribusi

No.	Komponen	Pola Distribusi Kerusakan	Nilai Parameter
1	O-Ring Seal Tube Splicing	<i>3P-Weibull</i>	Beta = 2,008272 Eta (Wk) = 27,287868 Gamma (Wk) = 37,940000
2	Motor Mesin Tube Curing	<i>Gamma</i>	Mu (Wk) = 0,133212 K = 18,467114

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2014

Analisis Keandalan. Setelah pola distribusi kerusakan dan nilai parameternya telah diketahui, kemudian dilakukan perhitungan keandalan pada masing-masing komponen mesin. Dimana data *input* yang dimasukkan adalah nilai parameter tiap komponen dan interval jadwal perawatan preventif sebagai variabel waktu. Kemudian data dimasukkan dalam rumus dan hasilnya berupa nilai keandalan / $R(t)$. Perhitungan tersebut menggunakan *software Weibull++9*. Rekapitulasi hasil perhitungan keandalan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan nilai keandalan

No.	Komponen Mesin	Interval Perawatan (t)	Jadwal Preventif	Nilai Keandalan $R(t)$
1	<i>O-ring Seal Tube Splicing</i>	50 minggu		0,823651
2	Motor Mesin Tube Curing	15 minggu		0,93825

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2014

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel di atas diketahui nilai keandalan untuk komponen *O-ring Seal Tube Splicing* untuk mesin BXS adalah sebesar 0,823651 atau 82,651%. Artinya dengan interval waktu antara jadwal perawatan pertama dengan yang jadwal perawatan kedua sebesar 50 minggu, probabilitas komponen *O-ring Seal Tube Splicing* beroperasi dalam kondisi normal adalah sebesar 82,651%. Pada komponen Motor Mesin Tube Curing nilai keandalan untuk mesin BXC adalah sebesar 0,93825 atau 93,825%. Artinya dengan interval waktu antara jadwal perawatan pertama dengan yang jadwal perawatan kedua sebesar 15 minggu, probabilitas komponen Motor Mesin Tube Curing beroperasi dalam kondisi normal adalah sebesar 93,825%.

Evaluasi Tingkat Keberhasilan Jadwal Perawatan Preventif. Dari hasil perhitungan nilai kendalan, dapat diketahui probabilitas kerusakan / *probability of failure* / $F(t)$, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Evaluasi kesesuaian jadwal perawatan preventif

No.	Komponen Mesin	Interval Jadwal Perawatan Preventif (t)	Nilai Keandalan R(t)	<i>Probability of Failure</i> $F(t) = 1 - R(t)$
1	<i>O-ring Seal Tube Splicing</i>	50 minggu	0,823651	0.176349
2	Motor Mesin Tube Curing	15 minggu	0,93825	0,06175

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2014

Berdasarkan Tabel di atas diketahui nilai *probability of failure* untuk komponen *O-ring Seal Tube Splicing* sebesar 0.176349 atau 17,6349%. Artinya probabilitas komponen *O-ring Seal Tube Splicing* mengalami kerusakan dalam waktu 50 minggu adalah 17,6349%. Dengan kata lain, kemungkinan komponen *O-ring Seal Tube Splicing* pada mesin BXS mengalami kerusakan sebelum jadwal perawatan preventif selanjutnya adalah mungkin terjadi.

Pada komponen Motor Mesin *Tube Curing*, nilai *probability of failure* sebesar 0,06175 atau 6,175%. Artinya probabilitas Motor Mesin *Tube Curing* mengalami kerusakan dalam waktu 15 minggu adalah 6,175%. Dengan kata lain, kecil kemungkinan Motor Mesin *Tube Curing* pada mesin BXC mengalami kerusakan sebelum jadwal perawatan preventif selanjutnya.

Berdasarkan analisis diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa kegiatan perawatan preventif untuk komponen *O-ring Seal Tube Splicing* belum berhasil karena probabilitas komponen mengalami kerusakan sangat tinggi sebelum jadwal preventif selanjutnya dilakukan sehingga jadwal perawatan preventif kurang efektif. Oleh karena itu, untuk mengurangi *probability of failure* maka dibuat usulan perubahan interval jadwal perawatan preventif.

Kegiatan perawatan preventif untuk komponen Motor Mesin *Tube Curing* bisa berhasil karena probabilitas sub unit mengalami kerusakan rendah sebelum jadwal preventif selanjutnya dilakukan sehingga jadwal perawatan preventif cukup efektif. Oleh karena itu, tidak perlu dibuat usulan perubahan interval jadwal perawatan preventif.

Usulan Perubahan Interval Jadwal Perawatan Preventif. Setelah dilakukan perhitungan dan analisis secara rinci, kemudian dibuat usulan perubahan interval jadwal perawatan preventif. Dimana target nilai keandalan ditetapkan sebesar 0,9. Usulan perubahan interval jadwal perawatan preventif ditunjukkan pada Tabel 5.

Berdasarkan perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 5 usulan perubahan jadwal perawatan untuk komponen *O-ring Seal Tube Splicing* mesin BXS adalah 46,838595 minggu (46 - 47 minggu) dari yang sebelumnya 84 minggu. Untuk komponen Motor Mesin *Tube Curing* mesin BXC, jadwal perawatan preventif cukup efektif yaitu 15,618083 minggu (15 – 16 minggu).

Tabel 5. Usulan perubahan jadwal perawatan preventif

No.	Komponen Mesin	Target Keandalan R(t)	Interval Jadwal Perawatan Preventif (t)
1	<i>O-ring Seal</i> Tube Splicing	0,9	46,838595 minggu
2	Motor Mesin Tube Curing	0,9	15,618083 minggu

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2014

Kurva perbandingan nilai keandalan terhadap waktu pada komponen *O-ring Seal* Tube Splicing menunjukkan hubungan antara interval jadwal perawatan preventif dengan nilai keandalan untuk sub komponen *O-ring Seal* Tube Splicing. Semakin tinggi target nilai keandalannya semakin cepat interval jadwal perawatannya.

Kurva perbandingan nilai keandalan terhadap waktu pada komponen Motor Mesin Tube Curing menunjukkan hubungan antara interval jadwal perawatan preventif dengan nilai keandalan untuk sub komponen Motor Mesin Tube Curing. Semakin tinggi target nilai keandalannya semakin cepat interval jadwal perawatannya.

Keandalan dengan *Distribusi Weibull*. Dengan menggunakan Distribusi Weibull didapatkan keandalan komponen *O-Ring Seal* untuk mesin BXS pada plant B dengan interval perawatan pertama dan selanjutnya selang 50 minggu adalah 82,37% dengan kemungkinan untuk mengalami kerusakan sebesar 17,63%. Adapun usulan perubahan interval jadwal perawatan untuk keandalan 90% adalah 47 minggu interval perawatan pertama dengan selanjutnya.

Keandalan komponen Motor Mesin untuk mesin BXC pada plant B dengan interval perawatan pertama dan selanjutnya selang 15 minggu adalah 93,83% dengan kemungkinan untuk mengalami kerusakan sebesar 6,17%. Dimana jadwal ini sudah sesuai dengan target keandalan 90%. Sehingga interval perawatan pertama dan selanjutnya BXC adalah 15 minggu

Efisiensi Biaya setelah perbaikan dilakukan Komponen *O-Ring Seal* Tube Splicing

Biaya *Corrective Maintenance*

Tabel 6. Komponen biaya C1 untuk *O-Ring Cylinder*

No	Jenis Biaya	Jumlah	Biaya Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1	Upah Langsung	7 jam	12.000,00	84.000,00
2	Overhead Pabrik	7 jam	18.000,00	126.000,00
3	Biaya Lost Produksi	3214 pcs	2.000,00	6.428.000,00
4	Biaya Komponen	6 pcs	75.000,00	450.000,00
Total				7.088.000,00

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2014

Biaya Preventive Maintenance**Tabel 7.** Komponen Biaya C2 untuk *O-Ring Cylinder*

No	Jenis Biaya	Jumlah	Satuan	Biaya Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1	Upah Langsung	56	Jam	12.000,00	672.000,00
2	Overhead Pabrik	56	Jam	18.000,00	1.008.000,00
3	Biaya Lost Produksi	3214	Pcs	2.000,00	6.428.000,00
4	Biaya Komponen	1	Pcs	75.000,00	75.000,00
5	Biaya Defect	1306	Pcs	33.550,00	43.816.300,00
Total					51.999.300,00

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2014

Nilai C1 yang merupakan biaya untuk melakukan maintenance/penggantian yang adalah senilai Rp. 7.088.000.- dan C2 yang merupakan biaya bila terjadi breakdown yaitu menggunakan hasil MTTF dalam waktu 62 minggu adalah Rp. 51.999.300,-. Sehingga efisiensi biaya yang didapatkan ketika perawatan dilakukan sesuai dengan jadwal sebesar 85,37%.

Komponen Motor Mesin Tube Curing**Biaya Corrective Maintenance****Tabel 8.** Komponen biaya C1 untuk Motor Mesin

No	Jenis Biaya	Jumlah	Biaya Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1	Upah Langsung	1 jam	12.000,00	84.000,00
2	Overhead Pabrik	1 jam	18.000,00	126.000,00
3	Biaya Lost Produksi	1154 pcs	2.000,00	2.308.000,00
4	Biaya Komponen:			
	-Bearing	1 pcs	30.000,00	30.000,00
	-Kanvas Brake	1 pcs	45.000,00	45.000,00
Total				2.593.000,00

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2014

Nilai C1 yang merupakan biaya untuk melakukan maintenance/penggantian yang adalah senilai Rp 2,593,000.00 dan C2 yang merupakan biaya bila terjadi breakdown yaitu menggunakan hasil MTTF dalam waktu 21 minggu adalah Rp. . 18,168,000.00. Sehingga efisiensi biaya yang didapatkan ketika perawatan dilakukan sesuai dengan jadwal sebesar 85,37%.

Biaya Preventive Maintenance
Tabel 9. Komponen Biaya C2 untuk Motor Mesin

No	Jenis Biaya	Jumlah	Satuan	Biaya Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1	Upah Langsung	2	Jam	12,000.00	24,000.00
2	Overhead Pabrik	2	Jam	18,000.00	36,000.00
3	Biaya Lost	1154	Pcs	2,000.00	2,308,000.00
4	Biaya Efek				2,300,000.00
5	Biaya Komponen: Motor+Brake	1	Pcs	13,500,000.00	13,500,000.00
Total					18,168,000.00

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2014

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut penelitian Siagian, dkk (2013) bahwa dengan menerapkan *preventive maintenance* di PT XYZ diperoleh biaya penggantian kritis sebesar Rp 3.865.506,00 sedangkan biaya *corrective maintenance* sebesar Rp 5.314.127,00. Penurunan biaya yang diperoleh dengan penerapan *preventive maintenance* adalah sebesar 27,25%

Penelitian Prabowo, dkk (2010) mengenai kebijakan dalam penentuan waktu perbaikan pencegahan pada komponen mesin curing dengan menggunakan teknik keandalan menyimpulkan bahwa fungsi keandalan untuk *break detector* sebesar 0,261183, dimana waktu penggantian pencegahan yang optimal adalah 1950 menit dengan biaya pemeliharaan Rp. 182.397. Pengujian keandalannya dilakukan menggunakan metode pendekatan model umur pengganti (*Age replacement*) melalui kriteria meminimalisasi biaya pemeliharaan dengan menggunakan distribusi *weibull* sebagai analisis kerusakan yang dipakai. Pemilihan komponen dilakukan pada besarnya kontribusi biaya penggantian komponen yang rusak ataupun akibat perbaikan yang lain selama satu tahun periode kerja serta telah menyumbang 75% sampai 95%.

Penelitian Ahmad, dkk (2013) yang bertujuan untuk mengenalkan *Preventive Replacement Strategy* untuk menentukan waktu penggantian yang optimal terhadap komponen yang memburuk dari waktu ke waktu. Hasil dari analisis studinya menunjukkan bahwa waktu kegagalan mengikuti distribusi *weibull* dan karenanya waktu penggantian optimum dapat ditentukan.

Menurut Rani, dkk (2014) laju kegagalan mengikuti *weibull*, distribusi dan *hence*, penggantian optimum dapat ditentukan. Waktu ini akan meminimalkan total *downtime* dan meningkatkan proporsi waktu komponen kesanggupan sistem

Dalam penelitian ini pengujian keandalan menggunakan distribusi *weibull* dilakukan terhadap komponen mesin O-ring mesin Tube Splicing dan diperkuat dengan pengujian yang sama terhadap komponen Motor Mesin Tube Curing. Dengan menggunakan Distribusi Weibull didapatkan keandalan komponen *O-Ring Seal* mesin BXS pada plant B selang 50

minggu perawatan pertama dan selanjutnya adalah 82,37% dengan kemungkinan untuk mengalami kerusakan sebesar 17,63%. Adapun usulan perubahan interval jadwal perawatan untuk melakukan pemeliharaan dengan keandalan 90% adalah 47 minggu interval perawatan pertama dengan selanjutnya.

Keandalan komponen Motor Mesin untuk mesin BXC pada plant B dengan selang 15 minggu perawatan pertama dan selanjutnya adalah 93,83% dengan kemungkinan untuk mengalami kerusakan sebesar 6,17%. Dimana jadwal ini sudah sesuai dengan target keandalan 90%. Sehingga interval jadwal pertama dan selanjutnya komponen motor mesin untuk mesin BXC adalah 15 minggu.

Efisiensi biaya pada penerapan *preventive maintenance* dengan Weibull dapat dilihat dari nilai biaya penggantian sebelum rentang waktu MTTF (Mean Time to Failure). Dengan adanya penggabungan jadwal maka terjadi penghematan biaya yaitu 85,37% dari Rp. 257.343.100,- menjadi Rp. 14.286.000,- untuk komponen O-Ring pada mesin Tube Splicing dan 85,73% dari Rp. 18.168.000.00 menjadi Rp 2.593.000.00 untuk motor mesin pada Tube Curing. Dengan adanya penggabungan jadwal ini, biaya dan pekerjaan menjadi lebih efisien dan membantu karyawan dalam mempermudah pekerjaannya untuk proses pergantian komponen sesuai dengan jadwal yang telah disusun.

Penelitian terdahulu menentukan komponen yang diuji berdasarkan besarnya kontribusi biaya komponen yang rusak ataupun akibat perbaikan yang lain selama satu tahun periode kerja. Sedangkan penulis menentukan komponen berdasarkan data dan informasi penggantian komponen yang sering terjadi dalam periode 2 tahun sebelum 2014.

Dari hasil, penelitian ini sangat mendukung penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan, yaitumengenai penghitungan keandalan menggunakan distribusi *weibull* serta peningkatan efisiensi perawatan mesin produksi. Dimana hal ini sangat mempengaruhi keberlangsungan proses produksi perusahaan.

Kelebihan dalam penelitian ini adalah menggunakan program *software weibull 9++* langsung sehingga untuk semua uji yang dilakukan selain perhitungan biaya, diperoleh menggunakan *software weibull*. Kekurangannya dalam penelitian ini adalah perhitungan efisiensi biaya masih secara manual.

PENUTUP

Kesimpulan. Pertama. Keandalan penggantian O-Ring pada mesin Tube Splicing (BXS) dengan distribusi kegagalan weibull di plant B PT. Gajah Tunggal Tbk adalah dalam selang waktu 47 minggu dengan MTTF 51 minggu. Sedangkan untuk penggantian Motor pada mesin Tube Curing (BXC) dengan distribusi kegagalan weibull di plant B PT. Gajah Tunggal Tbk adalah dalam selang waktu 15 minggu dengan MTTF 21 minggu. **Kedua.** Dengan penerapan keandalan hasil distribusi weibull tersebut dapat mengefisiensikan biaya perawatan untuk komponen O-Ring mesin pada mesin Tube Splicing (BXS) dan komponen motor pada mesin Tube Curing (BXC) di B PT Gajah Tunggal. Untuk O-ring Seal pada mesin Tube Splicing efisiensi biaya ketika perawatan dilakukan sesuai jadwal yaitu 85,37%, dan efisiensi biaya untuk motor mesin pada mesin Tube Curing yaitu 85,73%.

Saran. Saran-saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Perlu diadakan pelatihan bagi operator maintenance terutama dalam tata cara penggunaan software weibull untuk dapat menyusun jadwal perawatan yang efektif. (2) Diharapkan bagi pelaksana perawatan preventif agar jadwalperawatan preventif yang ada benar-benar dilaksanakan agar terlihat hasil jadwal perawatan preventif yang telah dilaksanakan dan dapat dilakukan evaluasi terhadap jadwal perawatan preventif yang telah dilakukan. (3) Diharapkan evaluasi terhadap jadwal perawatan preventif berdasarkan tingkat keandalan seperti penelitian ini dapat dilakukan secara periodik sehingga dapat diketahui perkembangan kualitas jadwal perawatan preventif yang dilakukan pada mesin. (4) Disarankan untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut dengan tools lain ataupun software weibull ter up-date agar bisa dihasilkan penelitian dengan hasil yang lebih akurat dengan cara yang mungkin lebih mudah, serta jika memungkinkan perhitungan biaya dilakukan secara otomatis dalam satu software.

DAFTAR RUJUKAN

- Aboura, K., and Agbinya, J. I. 2013. Adaptive maintenance optimization using initial reliability estimates. *Journal of Green Engineering*, 3, 325-345.
- Adnan, A., Kristin, E. M., dan Sugiarto, S. 2013. Taksiran Parameter Distribusi Weibull dengan Menggunakan Metode Momen dan Metode Maksimum Likelihood. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, Lampung
- Ahmad, R., Kamaruddin, S., Mokhtar, M., dan Almanar, I. P. 2006. The Application of Preventive Replacement Strategy on Machine Component in Deteriorating Condition – A Case Study in the Processing Industries. *Proceedings of International Conference on Man-Machine Systems*. Malaysia.
- Assauri, Sofjan., 2008. *Manajemen Produksi dan Operasi, Edisi Revisi*. Lembaga Penerbit FKUI, Jakarta.
- Cassady, C.R. and Kutanuglo, K. 2005. Integrating Preventive Maintenance Planning and Production Scheduling for a Single Machine. *IEEE Transactions on Reliability*, 54 (2), 304-309.
- Das, K. 2007. A Comparative Study of Exponential Distribution Vs Weibull Distribution in Machine Reliability Analysis in A CMS Design. *Computers and Industrial Engineering*, 54, 12–33.
- Das, K., Lashkari, R.S., and Sengupta, S., 2006. Machine reliability and preventive maintenance planning for cellular manufacturing systems. *European Journal of Operational Research*, 183, 162–180.
- Dhillon, B.S. 2002. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. CRC Press. London, New York.
- Duarte, J. and Guedes, S. Carlos. 2007. Optimisation of the preventive maintenance plan of a series components system with Weibull hazard function Optimisation of the preventive maintenance plan of a series components system with Weibull hazard function. *RTA # 3-4, Special Issue*.

- Hazhiah, I.T., Sugito., dan Rahmawti, R.2012. Estimasi Parameter Distribusi Weibull Dua Parameter Menggunakan Metode Bayes. *Media Statistika*. 5, (1), 27-35.
- Heizer, Jay and Barry render. 2001. Pperation Management. SixthEdition. Prentice Hall.
- Lukmandani, A., Santosa, H. dan Maukar, A.L. 2011.Penjadwalan Perawatan di Pt. *Steel Pipe Industry Of Indonesia.Widya Teknik* , 10 (1),103-116.
- Mazzuci, T. A., and Soyer, R. 1996. A Bayesian perspective on some replacement strategies. *Reliability Engineering and System Safety*. 51 (3), 295-303.
- Prabowo, H Agung., Indra Almahdy dan Tri Hamboro.2010. Sistem Pemeliharaan Mesin Pendukung Proses Produksi. (*Studi Kasus Industri Manufaktur Ban*). *Jurnal Sinergi*. 14, (2), 37 – 42.
- Priyanta, Dwi. 2000. *KeandalandanPerawatan*. TeknikSistemPerkapalan ITS. Surabaya.
- Rani, T.C. and Sukumari, C. 2014, Optimum Replacement Time for a Deteriorating System. *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*. 12 (1), 32-33.
- Rishel, T.D. 2006. Using a Maintenance Contribution Model to Predict the Impact of Maintenance on Profitability. *Journal of Information and Optimization Sciences*. 27 (1), 21-34.
- Siagian, D.C., Napitupulu, H., dan Siregar, I. 2013. Usulan Perawatan Mesin Berdasarkan Keandalan Spare Part Sebagai Solusi Penurunan Biaya Perawatan Pada PT. Xyz. *e-Jurnal Teknik Industri FT USU* 3 (5), 47-52.
- Smith, David J. 2001. *Reliability, Maintainability and Risk*. Butterworth-Heinemann. An Imprint of Elsevier Science.
- Sultan, A. Zubair. 2009.Analisis Reliabilitas sebagai Strategi Pencegahan Kerusakan Unit Galvanizing PT. Sermani Steel. *Poli Rekayasa* 4 (2), 85-94.
- Tashtoush, Ghassan., Khalid K.T, Mutaz A.a.A., Mayyas, A.T. 2010. Reliability Analysis of Car Maintenance Scheduling and Performance. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. 4 (4), 388-393.