

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1. Perawatan (*Maintenance*)

Menurut Ansori dan Mustajib (2013), perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) adalah konsepsi dari semua pekerjaan yang bertujuan agar mesin atau fasilitas dalam kondisi baik seperti semula dengan menjaga dan mempertahankan kualitasnya.

Menurut O'Connor (2001), *Maintenance* adalah suatu kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas yang ada serta memperbaiki. Melakukan penyesuaian atau pengantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi agar sesuai dengan perencanaan yang ada.

Menurut Moubray (1997), *Maintenance* merupakan tindakan untuk memastikan fisik sistem berjalan terus menerus sesuai tujuan sistem tersebut. Menurut Tarigan et al. (2013), faktor produksi yang harus dioptimalkan salah satunya adalah mesin produksi. Nilai *downtime* yang minimum dapat dikatakan bahwa sistem perawatan berjalan dengan optimal seperti semula.

Menurut Kurniawan (2013), perawatan adalah kegiatan didalam suatu sistem produksi dimana fungsinya berupa objek dengan cara pemeliharaan, perbaikan, penggantian, pembersihan, penyetelan dan pemeriksaan. Oleh karena itu, perawatan sangat penting untuk dilakukan guna menjaga stabilitas mesin terhadap produksi perusahaan. Pemeliharaan adalah suatu gabungan dari berbagai kegiatan yang dilakukan untuk menjaga suatu komponen atau memperbaiki hingga dapat berjalan seperti semula.

Pemahaman tentang istilah perawatan terdapat beberapa kegiatan seperti berikut (Kurniawan, 2013):

1. *Inspection* (inspeksi)

Kegiatan pengecekan terhadap fasilitas produksi untuk mengetahui keberadaan atau kondisinya.

2. *Repair* (perbaikan)
Kegiatan terhadap mesin produksi untuk mengembalikan kondisi mesin ketika ada gangguan yang bersifat perbaikan kecil, sehingga dapat beroperasi kembali.
3. *Overhaul* (perbaikan menyeluruh)
Kegiatan *repair* yang memiliki sifat perbaikan besar, sehingga mengganggu kegiatan produksi dan membutuhkan biaya besar.
4. *Replacement* (penggantian)
Kegiatan dalam perawatan dengan cara mengganti komponen mesin yang rusak.

Kegiatan perawatan dilakukan untuk merawat ataupun memperbaiki peralatan perusahaan agar dapat melaksanakan produksi dengan efektif dan efisien sesuai dengan pesanan yang telah direncanakan dengan hasil produk yang berkualitas. Kurang diperhatikannya perawatan (*maintenance*) diantaranya disebabkan oleh banyaknya dana yang dibutuhkan, dan rumitnya tugas perawatan (*maintenance*). Namun bagi kegiatan operasi perusahaan, *maintenance* sudah menjadi dwi fungsi, yaitu pelaksanaan dan kesadaran untuk melakukan pemeliharaan terhadap fasilitas-fasilitas produksi.

2.2. Jenis – jenis Perawatan (*Maintenance*)

Maintenance atau Perawatan dapat dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah:

- a) *Breakdown Maintenance* (Perawatan saat terjadi Kerusakan)

Breakdown Maintenance adalah perawatan yang dilakukan ketika sudah terjadi kerusakan pada mesin atau peralatan kerja sehingga mesin tersebut tidak dapat beroperasi secara normal atau terhentinya operasional secara total dalam kondisi mendadak. *Breakdown*

Maintenance ini harus dihindari karena akan terjadi kerugian akibat berhentinya mesin produksi yang menyebabkan tidak tercapainya kualitas ataupun output produksi.

b) ***Preventive Maintenance*** (Perawatan Pencegahan)

Preventive Maintenance adalah jenis *Maintenance* yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama operasi berlangsung.

Contoh *Preventive maintenance* adalah melakukan penjadwalan untuk pengecekan (*inspection*) dan pembersihan (*cleaning*) atau pergantian suku cadang secara rutin dan berkala. *Preventive Maintenance* terdiri dua jenis, yakni :

1. ***Periodic Maintenance*** (Perawatan berkala)

Periodic Maintenance ini diantaranya adalah perawatan berkala yang terjadwal dalam melakukan pembersihan mesin, inspeksi mesin, meminyaki mesin dan juga pergantian suku cadang yang terjadwal untuk mencegah terjadi kerusakan mesin secara mendadak yang dapat mengganggu kelancaran produksi. *Periodic Maintenance* biasanya dilakukan dalam harian, mingguan, bulanan ataupun tahunan.

2. ***Predictive Maintenance*** (Perawatan Prediktif).

Predictive Maintenance adalah perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi kerusakan total. *Predictive Maintenance* ini akan memprediksi kapan akan terjadinya kerusakan pada komponen tertentu pada mesin dengan cara melakukan analisa tren perilaku mesin/ peralatan kerja. Berbeda dengan *Periodic maintenance* yang dilakukan berdasarkan waktu (*Time Based*), *Predictive Maintenance* lebih menitik beratkan pada kondisi mesin (*Condition Based*).

c) ***Corrective Maintenance*** (Perawatan Korektif)

Corrective Maintenance adalah Perawatan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi penyebab

kerusakan dan kemudian memperbaikinya sehingga Mesin atau peralatan Produksi dapat beroperasi normal kembali. *Corrective Maintenance* biasanya dilakukan pada mesin atau peralatan produksi yang sedang beroperasi secara abnormal (Mesin masih dapat beroperasi tetapi tidak optimal).

2.3. Tujuan Maintenance

Tujuan-tujuan melakukan maintenance diantaranya adalah :

1. Mencegah terjadinya kerusakan berat yang memerlukan biaya perbaikan yang lebih tinggi.
2. Untuk menjamin keselamatan tenaga kerja yang menggunakan mesin yang bersangkutan.
3. Tingkat ketersediaan mesin yang maksimum (berkurangnya *downtime*)
4. Dapat memperpanjang masa pakai mesin atau peralatan kerja.

2.4. **Reliability Centered Maintenance (RCM)**

Bagus atau tidaknya kerja suatu mesin/ komponen sangat bergantung pada keandalan (*reliability*). Konsep keandalan sistem digunakan untuk mengoperasikan mesin secara optimal dan mengantisipasi munculnya kecelakaan ataupun *breakdown*. Keandalan mesin juga bergantung kepada keandalan komponen-komponen penyusun mesin tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan berbagai macam bentuk perawatan. Perawatan pencegahan terdiri dari kegiatan *service*, uji operasi dan inspeksi secara rutin yang terjadwal. Sedangkan perawatan perbaikan disebabkan karena gangguan/ kerusakan pada sistem atau komponen yang tidak terjadwal. Untuk menyusun strategi perawatan itu digunakan metode RCM.

Penerapan metode RCM sudah lama dipakai di industri khususnya industri penerbangan komersial yang sekarang berkembang di berbagai sektor industri. **RCM** pertama diaplikasikan oleh United Airlines untuk mengurangi jumlah tugas maintenance pada pesawat terbang, dengan hasil yang memuaskan yaitu meningkatnya jam terbang pesawat & safety. Walaupun lahir dari perusahaan pesawat, **RCM** dapat diimplementasikan pada industri proses dengan sedikit modifikasi.

Penerapan metode RCM akan memberikan keuntungan, yaitu keselamatan dan integritas lingkungan menjadi lebih diutamakan, prestasi operasional yang meningkat, efektifitas biaya operasi dan perawatan yang lebih rendah, meningkatkan ketersediaan dan reliabilitas peralatan, umur komponen yang lebih lama, basis data yang lebih komprehensif, motivasi individu yang lebih besar, dan kerja sama yang baik diantara bagian-bagian dalam suatu instalasi.

2.4.1. Definisi RCM

Untuk membahas lebih lanjut RCM, maka kita harus tau definisi dari RCM itu sendiri. Dari beberapa sumber, RCM mempunyai beberapa definisi :

- a) Suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dikerjakan untuk menjamin setiap aset fisik tetap bekerja sesuai yang diinginkan atau suatu proses untuk menentukan perawatan yang efektif.
- b) Suatu pendekatan pemeliharaan yang mengkombinasikan praktek dan strategi dari *Preventive Maintenance (PM)* dan *Corective Maintenance (CM)* untuk memaksimalkan umur (*life time*) dan fungsi aset / sistem / *equipment* dengan biaya minimal (*minimum cost*).
- c) Anthony Smith dalam bukunya yang berjudul *Reliability Centered Maintenance* mendefinisikan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* sebagai suatu metode

untuk mengembangkan, memilih dan membuat alternatif strategi perawatan yang didasarkan pada kriteria operasional, ekonomi dan keamanan.

Begitu banyak bentuk definisi RCM dari berbagai sumber, tetapi tujuan utamanya adalah untuk mempertahankan fungsi sistem dengan cara mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode*) dan memprioritaskan kepentingan dari mode kegagalan kemudian memilih tindakan perawatan pencegahan yang efektif dan dapat diterapkan.

Ada 7 prinsip RCM :

1. **Memelihara fungsional sistem**, bukan sekedar memelihara suatu alat agar beroperasi tetapi agar berfungsi sesuai harapan.
2. **Fokus kepada fungsi sistem** daripada suatu komponen tunggal, yaitu apakah sistem masih dapat menjalankan fungsi utama jika suatu komponen mengalami kegagalan.
3. **Berbasis pada kehandalan**, yaitu kemampuan suatu sistem/ *equipment* untuk terus beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan.
4. **Menjaga** agar kehandalan fungsi sistem tetap sesuai dengan kemampuan yang didesain untuk sistem tersebut.
5. **Mengutamakan keselamatan (*safety*)** baru kemudian masalah ekonomi.
6. **Mendefinisikan kegagalan (*failure*)** sebagai kondisi yang tidak memuaskan (*unsatisfactory*) atau tidak memenuhi harapan, sebagai ukurannya adalah berjalannya fungsi sesuai *performance* standar yang ditetapkan.
7. **Harus memberikan hasil-hasil yang nyata / jelas**, Tugas yang dikerjakan harus dapat menurunkan jumlah kegagalan (*failure*) atau paling tidak menurunkan tingkat kerusakan akibat kegagalan.

Menurut Moubray tujuan utama RCM adalah:

1. Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (*maintainability*) baik
2. Untuk memperoleh informasi yang penting dalam melakukan *improvement* pada desain awal yang kurang baik
3. Untuk mengembangkan sistem *maintenance* yang dapat mengembalikan kepada *reliability* dan *safety* seperti awal mula peralatan dari *deteriorasi* yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan
4. Untuk mewujudkan semua tujuan di atas dengan biaya minimum.

Proses *Reliability Centered Maintenance* (RCM) mengklasifikasikan konsekuensi menjadi empat kelompok. Strategi ini dapat dijadikan kerangka kerja untuk melakukan pengambilan keputusan pemeliharaan. Keempat kelompok tersebut adalah sebagai berikut.

- Konsekuensi keselamatan.
Kegagalan yang terjadi dapat menimbulkan konsekuensi melukai atau mengancam jiwa seseorang.
- Konsekuensi operasi.
Kegagalan yang terjadi tidak berdampak pada keamanan ataupun mematikan sistem dan dampaknya tergolong kecil.
- Konsekuensi non operasi.
Kegagalan yang terjadi tidak berdampak pada keamanan ataupun mematikan sistem dan dampaknya tergolong kecil.
- Konsekuensi kegagalan tersembunyi.
Kegagalan yang terjadi ini tidak di ketahui oleh operator.

Penerapan Lima jenis *Maintenance Task* tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Condition-Direct Task*

Jenis penugasan pemeliharaan ini mengarah kepada tes diagnose secara berkala atau inspeksi yang mana membandingkan kondisi material yang sudah ada sebelumnya (bisa juga dengan melihat pada performansi dari sebuah item yang sudah standar) dan dilanjutkan dengan menambah langkah berikutnya. Adapun tujuan dari *Condition-Direct Task* ini adalah untuk mengetahui kegagalan potensial yang bisa dicegah (diperbaiki terlebih dahulu) sebelum terjadinya kegagalan yang aktual.

2. *Time-Direct Life-Renewal Task.*

Time-Direct Life-Renewal Task bertugas untuk memperbaiki ataupun mengganti sebuah item tersebut mencapai suatu waktu dimana probabilitas kegagalan menjadi semakin besar (misalnya saja adalah peningkatan dari probabilitas kegagalan yang dikenal dengan istilah *wear out*). Dalam penugasan pemeliharaan jenis kedua ini, ada dua macam penugasan, *restoration* dan *replacement*. Pada *restoration*, sebuah item yang sudah mencapai tingkat *wear out* harus diganti dengan item yang baru. Sedangkan pada *replacement*, sebuah masih bisa diperbaiki dengan cara-cara tertentu sehingga nantinya bisa digunakan kembali.

3. *Failure Finding Task*

Penugasan pemeliharaan *failure finding* ini digunakan untuk mengevaluasi kondisi dimana kegagalan yang terjadi tersembunyi dari operator.

4. *Servicing Task.*

Servicing Task memiliki tugas untuk menambah barang atau bahan yang akan habis digunakan pada saat beroperasi normal.

5. *Lubrication Task*

Lubrication task ini spesifik dalam hal melumasi dan pemberian minyak (lubrikasi) secara rutin. Selain itu juga bisa diterapkan aplikasi pelumasan atau lubrikasi pada permukaan stasioner untuk memberikan perlindungan dari lingkungan luar. Penugasan pemeliharaan ini tidak membutuhkan justifikasi yang luas namun dilakukan evaluasi.

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu teknik yang dipakai untuk mengembangkan *Preventive Maintenance*. Hal ini didasarkan pada prinsip bahwa keandalan dari peralatan dan struktur dari kinerja yang akan dicapai adalah fungsi dari perencanaan dan kualitas pembentukan *preventive maintenance* yang efektif. Perencanaan tersebut juga meliputi komponen pengganti yang telah diprediksikan dan direkomendasikan (Alghofari et,al.,2006)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan sebuah proses teknik logika untuk menentukan tugas-tugas pemeliharaan yang akan menjamin sebuah perencanaan sistem keandalan dengan kondisi pengoperasian yang khusus. Penekanan terbesar pada *Reliability Centered Maintenance (RCM)* adalah menyadari bahwa konsekuensi atau risiko dari kegagalan adalah jauh lebih penting dari pada karakteristik teknik itu sendiri. Pada kenyataannya perawatan proaktif tidak hanya menghindari kegagalan tetapi lebih cenderung untuk menghindari risiko atau mengurangi kegagalan (Alghofari et,al.,2006).

2.4.2. Tahapan-tahapan Dalam Penyusunan RCM

2.4.2.1. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi
Pemilihan sistem dapat didasarkan pada beberapa aspek kriteria yaitu :

1. Sistem yang mendapat perhatian yang tinggi karena berkaitan dengan masalah keselamatan (*safety*) dan lingkungan.
2. Sistem yang memiliki *preventive maintenance* dan/ atau biaya *preventive maintenance* yang tinggi.
3. Sistem yang memiliki tindakan *corrective maintenance* dan/ atau biaya *corrective maintenance* yang banyak.
4. Sistem yang memiliki kontribusi yang besar atas terjadinya *full* atau *partial outage* (atau *shutdown*)

Pengumpulan informasi berfungsi untuk mendapatkan gambaran dan pengertian yang lebih mendalam mengenai sistem dan bagaimana sistem bekerja.

2.4.2.2. Definisi Batasan Sistem

Definisi batas sistem (*system boundary definition*) digunakan untuk mendefinisikan batasan-batasan suatu sistem yang akan dianalisis dengan RCM, berisi tentang apa yang harus dimasukkan dan yang tidak dimasukkan ke dalam sistem sehingga semua fungsi dapat diketahui dengan jelas. Perumusan *system boundary definition* yang baik dan benar dapat menjamin keakuratan proses analisis system.

2.4.2.3. Deskripsi Sistem dan Diagram Blok Fungsional.

Deskripsi sistem dan diagram blok merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut, maka dibuat tahapan identifikasi detail dari sistem yang meliputi:

1. Deskripsi sistem, langkah ini diperlukan untuk mengetahui komponen yang terdapat didalam sistem tersebut dan bagaimana komponen tersebut beroperasi.
2. Blok diagram fungsi, yaitu pembuatan diagram fungsi dengan menggunakan *Functional Flow Block Diagram* (FFBD). FFBD merupakan diagram aliran fungsional suatu sistem yang dibuat berdasarkan urutan waktu dan langkah demi langkah.
3. Hubungan *input/output* sistem, pada tahap ini akan digambarkan *input/output* pada sistem dan hubungan diantara *input* dari subsistem satu dengan yang lainnya. penggambaran *input/output* sistem menggunakan model diagram *Integration Definition For Function Modelling* (IDFFM).
4. *System Work Breakdown Structure* (SWBS), pada tahap ini akan digambarkan himpunan daftar peralatan untuk setiap bagian-bagian fungsi subsistem.

2.4.2.4. Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsional

Fungsi sistem adalah kinerja yang diharapkan oleh sistem untuk dapat beroperasi. Kegagalan fungsional didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu komponen/ sistem untuk

memenuhi standar prestasi (*performance standard*) yang diharapkan.

2.5. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

FMEA adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure mode*). Suatu mode kegagalan adalah apa saja yang termasuk dalam kecacatan, kondisi diluar spesifikasi yang ditetapkan atau perubahan dalam produk yang menyebabkan terganggunya fungsi dari produk.

Mode kegagalan (*failure mode*) merupakan suatu keadaan yang dapat menyebabkan kegagalan fungsional. Mode kegagalan yang terjadi akan dilihat apakah memberikan efek kegagalan pada tingkat lokal, sistem, dan plant. Efek kegagalan pada tingkat lokal akan menyebabkan komponen tidak dapat memenuhi fungsinya dengan baik.

Efek kegagalan pada tingkat sistem akan menyebabkan fungsi dari sistem terganggu atau tidak bekerja. Sedangkan efek kegagalan pada tingkatan plant atau fasilitas akan menyebabkan kegagalan pada fasilitas atau peralatan. (Asisco, dkk; 2012)

Dalam FMEA, dapat dilakukan perhitungan *Risk Priority Number (RPN)* untuk menentukan tingkat prioritas dari suatu kegagalan. RPN merupakan hubungan antara tiga buah variabel yaitu *Severity* (Keparahan), *Occurrence* (Frekuensi Kejadian), dan *Detection D* (Deteksi Kegagalan) yang menunjukkan tingkat resiko yang mengarah pada tindakan perbaikan. *Risk Priority Number* ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$RPN = S \times O \times D$$

Dimana :

S = *Saverity*

O = *Occurrence*

D = *Detection*

Nilai RPN menunjukkan tingkat *potential failure*, semakin tinggi nilai RPN komponen mesin semakin bermasalah.

Saverity adalah tahapan pertama untuk menganalisa resiko penilaian dari tingkat parahnya efek yang ditimbulkan dengan nilai rangking dimulai dari nilai terendah 1 hingga nilai tertinggi 10. Penilaian didasarkan pada kerusakan dan menyebabkan *downtime* produksi yang semakin besar begitu juga dengan nilainya. Rincian kireteria *saverity* terdapat pada lampiran 1.

Occurance adalah frekuensi kejadian terjadinya kesalahan. Nilai rangking dimulai dari 1 nilai rendah hingga nilai tertinggi 10. Penilaian didasarkan pada waktu lamanya kerusakan mesin yang semakin parah dan semakin besar juga nilai *occurance*. Rincian kireteria *occurance* terdapat pada lampiran 2.

Detection adalah mendeteksi kesalahan yang mungkin terjadi dan akan terjadi. Nilai rangking dimulai dari 1 nilai terendah hingga nilai tertinggi 10. Penilaian dari deteksi kerusakan jika kerusakan tidak dapat terdeteksi maka nilai deteksi semakin besar. Rincian kireteria *detection* terdapat pada lampiran 3.

2.5.1. Pemilihan Tindakan

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses analisa RCM. Proses ini akan menentukan tindakan yang tepat untuk mode kerusakan tertentu. Dalam pelaksanaannya pemilihan tindakan dapat dilakukan dengan empat cara yaitu:

1. *Time Directed* (TD).

Suatu tindakan yang bertujuan melakukan pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan peralatan yang didasarkan pada waktu atau umur komponen.

2. *Condition Directed* (CD).

Suatu tindakan yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara memeriksa alat. Apabila dalam pemeriksaan ditemukan gejala kerusakan peralatan maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.

3. *Failure Finding* (FF).

Suatu tindakan yang bertujuan untuk menemukan kerusakan peralatan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.

2.6. Keandalan

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diinginkan sepanjang suatu periode waktu tertentu bilamana digunakan pada kondisi – kondisi pengoperasian yang telah ditentukan. Atau dalam perkataan yang lebih singkat, keandalan merupakan probabilitas dari ketidakkagalan terhadap waktu.

Tingkat keandalan atau *reliability* adalah peluang suatu mesin atau komponen agar dapat beroperasi sesuai dengan yang diinginkan pada periode tertentu pada kondisi normal yang telah ditetapkan. *Preventive maintenance* dapat menjadi salah satu cara untuk meningkatkan keandalan dengan cara mengurangi jumlah kerusakan atau *breakdown* yang terjadi. Pada sub bab 2.7. *Mean Time To Failure* adalah cara perhitungan nilai *reliability* untuk distribusi yang sesuai dengan data (Ebeling, 1997, hal. 190).

2.7. *Mean Time To Failure* (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) merupakan nilai rata-rata waktu yang akan datang dari sebuah sistem (komponen). Untuk sistem yang dapat di reparasi, maka *MTTF* adalah masa kerja satu komponen saat pertama kali digunakan atau

dihidupkan sampai unit tersebut akan rusak kembali atau perlu di periksa kembali.

Time To Failure dari suatu komponen dikatakan memiliki distribusi lognormal bila $y = \ln T$.

Mean Time To Failure dari distribusi lognormal (Putra, 2010) :

$$MTTF = t_{med} \exp\left(\frac{s^2}{2}\right)$$

Dan fungsi keandalan :

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)$$

2.8. Perhitungan waktu interval penganti komponen

Metode *Age Replacement* dalam metode ini interval waktu dimana perawatan pencegahan terjadi bergantung pada umur dari prawatan. Jika terjadi kerusakan (*failure*), maka dilakukan di pada saat waktu pengantian pencegahan berikutnya. Jika sudah sampai masa akhir usia pakai belum terjadi kerusakan maka akan tetap diganti, namun bila kerusakan terjadi sebelum usia pakai tersebut selesai maka unit pengganti berikutnya tetap akan diganti sampai usia pakainya habis. Tujuan yang ingin dicapai adalah mencari interval perawatan (t_p) optimal yang meminimasi total biaya perawatan/unit waktu $C(t_p)$.

Dimana:

$$C(t_p) = \frac{C_p \times R(t) + C_f (1 - R(T_p))}{(t + T_p) \times R(t) + (M(t)) + T_f \times (1 - R(t))}$$

t = interval waktu pengantian

t_f = waktu yang terjadi karena penggantian kerusakan

T_p = waktu yang terjadi karena kegiatan penggantian pencegahan

C_p = biaya pada siklus pengantian pencegahan

C_f = biaya pada siklus penggantian akibat kerusakan
 $f(t)$ = fungsi kepadatan probabilitas yang terjadi pada saat t
 $R(t)$ = nilai *reliability* pada saat t
 $M(t)$ = waktu rata-rata terjadinya suatu kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan pada saat t .

