Bab 2
Landasan Teori

2.1. Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan didefinisikan sebagai suatu tindakan yang dibutuhkan untuk mencapai suatu hasil yang dapat mengembalikan atau mempertahankan *item* pada kondisi yang selalu berfungsi. Tujuan dari perawatan adalah memperpanjang umur pakai peralatan, menjamin tingkat ketersediaan yang optimal dari fasilitas produksi, menjamin bahwa suatu sistem produksi dapat berlangsung secara fungsional. Perawatan dapat didefinisikan juga sebagai tindakan yang penting untuk menahan kerusakan suatu item atau peralatan yang berada didalam, atau memperbaiki kembali sesuai kondisi yang sudah ditetapkan (B.S. Dhillon, 2006)

Peranan perawatan akan sangat diperlukan apabila mesin mulai mengalami gangguan atau tidak dapat dioperasikan lagi. Masalah perawatan sering diabaikan karena jarangnya pemeliharaan mesin yang dilakukan oleh operator dan baru dirasakan apabila mesin mulai mengalami gangguan dalam pengoperasiannya, sehingga kelancaran produksi akan terganggu.

Perawatan mungkin sering diabaikan yang sebenarnya dapat berpengaruh besar terhadap produksi. Jika mesin sudah rusak atau mungkin tidak dapat dioperasikan sama sekali, baru perawatan dilakukan maka produksi terhambat karena mesin sedang dalam perbaikan sehingga produksi tidak dapat berjalan. Maka dari itu, perawatan mesin yang teratur dapat melancarkan proses produksi sehingga tidak ada waktu untuk membuang waktu hanya untuk perawatan mesin saja.

Pada umumnya perawatan yang dilakukan memiliki tujuan sebagai berikut :

- Untuk memperpanjang usia pakai peralatan.
- Untuk menjamin hasil sesuai dengan standar.
- Untuk menjamin kesiapan operasi atau siap pakainya peralatan.

- Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan peralatan.

2.2. Perawatan Pencegahan (*Preventive maintenance*)

Preventive maintenance merupakan kegiatan pemeriksaan dan pengamatan secara berkala terhadap kekuatan mesin dan telah direncanakan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu untuk memperpanjang kemampuan berfungsinya suatu peralatan. *Preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara terencana sebelum kerusakan terjadi, dimana tujuannya adalah untuk meminimasi kemungkinan terjadinya *downtime* atau kerusakan yang tidak direncanakan, diakibatkan oleh kerusakan mesin (Ebeling, 1997, hal 189).

Perawatan ini bertujuan untuk mencegah kerusakan, menemukan penyebab kerusakan atau berkurangnya tingkat keandalan peralatan dan menemukan kerusakan tersembunyi. *Preventive maintenance* umumnya dilakukan berdasarkan data kerusakan dimasa lalu. Dengan dilaksanakan *preventive maintenance* secara teratur maka kejadian-kejadian yang tidak terduga yang dapat mengganggu kelancaran proses produksi diharapkan dapat diminimasi

2.3. Perawatan Korektif (*Corrective maintenance*)

Perawatan korektif (*corrective maintenance*) adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan yang ditemukan selama masa waktu *preventive maintenance* Sofyan (1987: 90). Tindakan yang dapat diambil adalah berupa penggantian komponen (*Corrective replacement*), perbaikan kecil (*repair*), dan perbaikan besar (*overhaul*). Kegiatan pemeliharaan ini merupakan perbaikan yang dilakukan setelah mesin atau sistem mengalami kerusakan atau tidak dapat berfungsi dengan baik. Perawatan perbaikan ini lebih cenderung suatu tindakan yang tidak terjadwal.

Perawatan korektif yang dilakukan meliputi antara lain:

- Perbaikan-perbaikan yang dilakukan untuk menghilangkan bagian-bagian yang kurang ekonomis dari mesin atau mengurangi frekuensi terjadinya kerusakan tersebut
- Melakukan perbaikan setelah jangka waktu tertentu

2.4. Elemen-Elemen Yang Berpengaruh Terhadap Perawatan

Dalam melakukan perawatan terhadap suatu sistem atau peralatan/mesin, terdapat beberapa elemen yang harus diperhatikan.

2.4.1. Elemen Waktu Dalam Pemeliharaan

Dalam kegiatan produksi terdapat berbagai elemen waktu yang dapat dibedakan masing-masing sebagai berikut:

1. Waktu Operasi (*Up Time*) : Waktu dimana mesin berfungsi dengan baik dan dipergunakan oleh sistem untuk melakukan kegiatan.
2. Waktu Delay (*Delay Time*) : Waktu dimana mesin berfungsi dengan baik tetapi tidak digunakan oleh sistem.
3. Waktu Rintangan (*Down Time*) : Waktu dimana sistem tidak dapat digunakan akibat adanya kerusakan yang terjadi, waktu ini dapat dibagi menjadi:
   a. *Downtime* akibat penggantian pencegahan:
      - Waktu pembongkaran.
      - Waktu menyiapkan komponen.
      - Waktu pemasangan.
   b. *Downtime* akibat penggantian kerusakan
      - Waktu pembongkaran.
      - Waktu menemukan kerusakan.
      - Waktu menunggu komponen pengganti.
      - Waktu pemasangan komponen.
      - Waktu pengujian.

2.4.2. Elemen Biaya Dalam Pemeliharaan

Biaya pemeliharaan dapat berupa biaya langsung maupun tidak langsung.

1. Biaya langsung, meliputi:
   - Biaya tenaga kerja pemeliharaan.
   - Biaya pembelian komponen penggantian.
2. Biaya tidak langsung, meliputi:
   - Biaya akibat keuntungan yang hilang.

2.5. Distribusi Selang Waktu Kerusakan

Distribusi selang waktu kerusakan digunakan untuk mendapatkan nilai kemungkinan terjadinya kerusakan pada suatu waktu tertentu (fungsi kegagalan) dan nilai kemungkinan mesin dari beroperasi sampai waktu tertentu (fungsi keandalan).

Suatu hal yang didapat dari distribusi selang waktu kerusakan adalah perilaku sistem dari suatu keadaan ke keadaan lainnya. Dan ini bermanfaat dalam pemilihan kebijakan perawatan dan ongkos perbaikan serta mempengaruhi ekspektasi panjang siklus kerusakan

2.6. Kaidah Perawatan

Kaidah perawatan merupakan patokan dalam melaksanakan kegiatan perawatan, yaitu sebagai bahan untuk melakukan analisa awal terhadap mesin atau sistem yang akan dirawat. Patokan-patokan tersebut meliputi patokan tentang apa yang dimaksud dengan perawatan mesin, kelayakan sistem, kemampuan operasional, kesiapan sistem (*Availability*), keandalan sistem (*Reliability*) dan penggunaan sumber daya.

1. Perawatan Sistem

   Perawatan adalah kegiatan yang dilakukan untuk menjamin agar sistem selalu dalam keadaan siap pakai (*Serviceable*) atau memulihkan kembali kondisi sistem ke dalam kondisi siap pakai.

2. Kelayakan Sistem

   Kelayakan sistem adalah kemampuan terancang pada suatu sistem untuk melaksanakan fungsinya secara aman dan dalam batas-batas kondisi operasional yang telah ditetapkan, ditentukan oleh besaran konfigurasi, standar kontruksi, spesifikasi performansi dan spesifikasi teknis.

3. Kemampuan Operasional

   Kemampuan operasional adalah kemampuan yang dimiliki oleh mesin/sistem untuk melakukan bermacam-macam operasi sesuai dengan yang diharapkan atau diperlukan.

4. Kesiapan (*Availability*)

   Kesiapan (*availability*) adalah keadaan siap suatu mesin/peralatan baik dalam jumlah (kuantitas) maupun kualitas sesuai dengan kebutuhan yang digunakan untuk melaksanakan proses operasi. Kesiapan (*availability*) tersebut dapat digunakan untuk menilai keberhasilan atau efektifitas dari kegiatan perawatan yang telah dilakukan.

5. Keandalan (*Reliability*)

   Keandalan (*reliability*) adalah kemungkinan suatu sistem atau peralatan mampu melaksanakan misi atau fungsi tertentu pada kondisi tertentu tanpa adanya kegagalan.

6. Penggunaan Sumber Daya

   Kriteria efisiensi erat kaitannya dengan penggunaan sumber daya seefisien mungkin, sehingga setiap kegiatan perawatan yang tidak menimbulkan dampak positif baik terhadap kesiapan sistem maupun kesiapan operasional yang dinilai tidak efisien harus dihindari atau bahkan dikurangi seminimal mungkin.

2.7. Fungsi Inspeksi Dalam Perawatan

Tenaga kerja atau karyawan yang melakukan kegiatan pemeriksaan (inspeksi) bertanggungjawab untuk membuat keputusan pelaksanaan berbagai jenis kegiatan yang harus dilakukan menyangkut semua peralatan dan fasilitas yang ada di perusahaan.

Tujuan dari kegiatan inspeksi adalah:

1. Menjamin tercapainya efisiensi dalam produksi.
2. Menentukan kebijaksanaan terhadap peralatan yang digunakan sehingga utilitas mesin dapat meningkat.
3. Menentukan kemungkinan-kemungkinan kapan peralatan akan di reparasi atau di *overhaul*.
4. Mengurangi tingkat kerusakan mesin atau peralatan.

Filosofi dalam menghitung frekuensi atau interval pemerikasaan adalah maksimasi proporsi waktu sehingga mesin/peralatan/sistem selalu berada dalam kondisi yang baik dan siap pakai yaitu dengan mengoptimalisasi ketersediaan (*availability*) sistem untuk beroperasi.

2.8. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan adalah suatu penerapan perancangan pada komponen sehingga komponen dapat melaksanakan fungsinya dengan baik, tanpa kegagalan, sesuai rancangan atau proses yang dibuat. Keandalan merupakan probabilitas bahwa suatu sistem mempunyai performansi sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam selang waktu dan kondisi operasi tertentu. Secara umum keandalan merupakan ukuran kemampuan suatu komponen beroperasi secara terus menerus tanpa adanya kerusakan, tindakan perawatan pencegahan yang dilakukan dapat meningkatkan keandalan sistem. Fokus utama dari perancangan sistem keandalan adalah karakteristik kekuatan tekanan komponen. Bagian-bagian komponen dirancang dan dihasilkan untuk bekerja dengan cara yang spesifik ketika beroperasi dibawah kondisi normal. Jika kekuatan ditambahkan akan memaksakan beban elektrik, karena berhubungan dengan variasi, getaran, goncangan, kelembaban dan semacamnya, kemudian kegagalan yang tak terduga akan terjadi dan sistem keandalan menjadi kurang diantisipasi. Selain itu juga, jika komponen digunakan melewati batas normal maka kelelahan akan terjadi, komponen yang gagal akan menjadi lebih banyak dari yang diharapkan. Bagaimanapun juga

kondisi-kondisi tekanan akan mengakibatkan penurunan keandalan, menyebabkan peningkatan kebutuhan pemeliharaan dan dibawah kondisi tekanan akan menimbulkan biaya yang mahal sebagai hasil atas kelebihan perancangan.

Analisis kekuatan tekanan sering digunakan untuk mengevaluasi probabilitas dari pengidentifikasikan situasi dimana nilai dari tekanan terlalu besar atau kekuatan lebih kecil dari pada nilai normal. Seperti analisis pemenuhan yang ditunjukkan oleh langkah-langkah berikut:

1. Untuk menyeleksi komponen, menentukan nominal penekanan seperti fungsi beban temperatur/suhu, getaran, guncangan, perlengkapan fisik, waktu dan lainnya.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat tekanan maksimum, seperti faktor penekanan konsentrasi, faktor beban statis dan dinamis, penekanan terhadap hasil pabrikasi dan perlakuan panas, faktor penekanan lingkungan dan lainnya.
3. Mengidentifikasi penekanan komponen kritis dan mengkalkulasi arti setiap penekanan kritis yang dapat direnggangkan secara maksimal dan menghilangkan penekanannya.
4. Menentukan distribusi penekanan kritis untuk masa penggunaan komponen yang sudah ditetapkan. Menganalisa parameter distribusi dan mengidentifikasi batas keamanan. Mengaplikasikan distribusi dengan asumsi distribusi normal, *poisson, gamma,* log normal dan lainnya.
5. Untuk setiap komponen kritis perancangan batas keamanan tidak cukup, tindakan korektif juga harus dilakukan, ini akan sesuai dengan isi setiap komponen bagian pengganti, beberapa pemborosan yang harus bertambah atau melengkapi perancangan unsur sistem yang menjadi masalah.

Model komputerisasi keandalan dapat digunakan untuk memfasilitasi pemenuhan analisis kekuatan tekanan. Perbedaan faktor keandalan atau batasan faktor dengan distribusi yang lebih spesifik dapat diterapkan pada beberapa elemen diagram blok keandalan. Penyebab dan dampaknya dievaluasi dan rata-rata kerusakan

masing-masing komponen dapat disesuaikan untuk mencerminkan efek dari tekanan komponen yang terlibat.

Model keandalan dengan perbaikan sempurna digunakan untuk alokasi kebutuhan awal, konduktansi dari analisis tekanan, prediksi keandalan dan penilaian terakhir untuk memberikan konfigurasi sistem. Hasil dari beberapa aktivitas menyediakan kunci masuk yang diperlukan untuk sebuah perancangan pemeliharaan. Hasil dari alokasi keandalan digunakan dalam pemenuhan alokasi pemeliharaan penekanan. Analisis kekuatan dapat membantu beberapa titik keburukan atau ancaman dalam sistem, dimana penekanan yang lebih besar membutuhkan pemeliharaan dan dukungan.

Untuk memperoleh nilai rata-rata waktu antar kerusakan yang lebih akurat sebaiknya digunakan rumus:

$$MTBF = \frac{\text{Jumlah Waktu Antar Kerusakan}}{\text{Banyaknya Kerusakan } (f_i)} \quad \text{.....(2.1.)}$$

2.9. Fungsi Distribusi Statistik

Ada beberapa fungsi distribusi statistik yang digunakan untuk menguraikan kerusakan peralatan. Adapun fungsi distribusi tersebut adalah sebagai berikut:

- Fungsi Distribusi Normal dan Lognomal
- Fungsi Distribusi *Eksponensial*
- Fungsi Distribusi *Weibull*

2.9.1. Fungsi Distribusi Normal

Distribusi normal mempunyai laju kerusakan yang naik sejak bertambahnya umur alat, yang berarti probabilitas kerusakan alat atau komponen naik sesuai dengan bertambahnya umur komponen tersebut. Distribusi normal mempunyai dua parameter yaitu rata-rata dan standar deviasi ($-\infty < \infty$).

Adapun fungsi-fungsi distribusi normal dinyatakan sebagai berikut :

Fungsi kepadatan kerusakan :

$$f_{(t)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi t\sigma_n}} exp\ -\frac{\ln t-\mu_n\ ^2}{2{\sigma_n}^2} \quad \text{.....(2.2.)}$$

Dimana:

π = 3,14

μ = rata-rata

σ = simpangan baku (variansi)

exp = 2,71828

t = data ke-i

ln = logaritma natural (berbasis "*e*" = 2,71828)

(referensi *reliability and maintainability engineering*, Charles E. Ebeling dan *maintainability, maintenance, and reliability for engineers*, B.S. Dhillon).

2.9.2. Fungsi Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal adalah distribusi probabilitas sebuah peubah (variabel) acak yang logaritmanya tersebar secara normal.

$$f_X(x;\mu,\sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{(\ln x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x > 0 \qquad \text{.....(2.3.)}$$

Dimana:

π = 3,14

μ = rata-rata

σ = simpangan baku (variansi)

exp = 2,71828

x = data ke-i

(*referensi reliability and maintainability engineering,* Charles E. Ebeling dan *maintainability, maintenance, and reliability for engineers*, B.S. Dhillon)

2.9.3. Fungsi Distribusi *Weibull*

Distribusi ini merupakan distribusi yang paling sering digunakan untuk menganalisis data kerusakan, karena distribusi *weibull* dapat memenuhi beberapa

periode kerusakan yang terjadi, yaitu periode awal (*early failure*), periode normal dan periode pengausan (*wear out*).

Periode tersebut tergantung dari nilai parameter bentuk fungsi distribusi *weibull*. Distribusi *weibull* mempunyai laju kerusakan menurun untuk β <1, laju kerusakan konstan untuk β =1 dan laju kerusakan naik untuk β >1.

Fungsi-fungsi distribusi *weibull* adalah sebagai berikut:

Fungsi kepadatan kerusakan

$$f_{(t)} = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} . e^{\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right]} \quad \text{.....(2.4.)}$$

Dimana untuk t > 0

α = Parameter skala dengan α > 0

β = Parameter bentuk dengan β > 0

e = 2,71878

t = Data jumlah waktu kerusakan

Fungsi distribusi kumulatif

$$F_{(t)} = 1 - R_{(t)}$$
$$= 1 - e^{\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right]} \quad \text{.....(2.5.)}$$

Dimana:

$R_{(t)}$ = Data Fungsi Keandalan

Fungsi keandalannya

$$R_{(t)} = e^{\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right]} \quad \text{.....(2.6.)}$$

Dimana:

e = 2,71878

t = Data jumlah waktu kerusakan

α dan β = Bentuk parameter distribusi

Fungsi laju kerusakannya adalah:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad \alpha > 0,\ \beta > 0,\ t \geq 0 \qquad \text{(2.7.)}$$

Dimana:

α dan β = Bentuk parameter distribusi

t = Data jumlah waktu kerusakan

Adapun langkah-langkah perhitungan untuk menentukan nilai-nilai parameter distribusi *weibull* dua parameter adalah sebagai berikut:

a. Untuk menaksir parameter α dan parameter β, dapat dilakukan dengan cara pendekatan Linear Regresi. Misalkan t_1, t_2, t_3,....,t_n adalah sejumlah data waktu antar kerusakan sistem yang telah disusun menurut urutan terkecil, untuk setiap t_i (i = 1, 2, 3,.....n) berlaku hubungan berikut:

   $X_i = \ln t_i$ .....(2.8.)

   $$Y_i = \ln\left[\ln\frac{1}{1-F(t_i)}\right] \qquad \text{(2.9.)}$$

   Dimana:

   $$F_{(ti)} = \frac{i-0.5}{N} \qquad \text{(2.10.)}$$

   i = data

   N= jumlah data

   ln = logaritma natural (berbasis "*e*" = 2,71828)

b. Setelah itu dengan menggunkan metode *Least Square*, nilai konstanta α dan β dapat diperoleh sebagai berikut:

   $$b = \frac{N\sum X_i.Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{N\sum X_i^2 - \left(\sum X_i\right)^2} \qquad \text{(2.11.)}$$

   $$a = \frac{\sum Y_i}{N} - b\frac{\sum X_i}{N} \qquad \text{(2.11.)}$$

c. Dengan diketahui nilai kedua konstanta a dan b, maka parameter distribusi *weibull* dapat ditentukan yaitu:

$\alpha = e^{-\alpha/\beta}$ .....(2.12.)

$\beta = b$ .....(2.13.)

d. Dengan metode diatas yang digabungkan dengan metode pengujian distribusi kerusakan maka akan didapat nilai parameter fungsi kerusakan.

Setelah diketahui nilai-nilai parameter distribusinya, maka perhitungan fungsi distribusi dan ongkos perawatan akan diketahui, kemudian akan didapatkan interval waktu yang optimum untuk melakukan perawatan dan penggantian pencegahan dengan menggunakan waktu perbaikan yang terjadi.

2.10. Pengujian Hipotesis

Hipotesis adalah perumusan sementara mengenai suatu hal yang dibuat untuk menjelaskan dan mengarahkan penelitian selanjutnya. Jika perumusan atau persyaratan dikhususkan mengenai populasi statistik, umumnya mengenai nilai-nilai parameter populasi, maka hipotesa tersebut disebut hipotesis statistik kecuali dinyatakan lain. Langkah untuk memutuskan apakah menerima atau menolak hipotesa tersebut dinamakan pengujian hipotesis. Untuk mengetahui pengujian apa yang dapat digunakan dalam membandingkan keragaman data yang diambil dari mesin-mesin dalam penelitian ini, perlu diketahui distribusi waktu terjadinya kerusakan untuk interval waktu tertentu. Untuk pengujian tersebut dapat digunakan pengujian Chi Kuadrat (*Chi Square*) atau dengan uji *Kolmogorov Smirnov.*

2.10.1. Uji Satu Sampel *Kolmogorov Smirnov*

Untuk mengetahui apakah distribusi sampel yang digunakan sesuai dengan distribusi yang diharapakan, maka perlu dilakukan uji kecocokan distribusi. Tes satu sampel *Kolmogorov Smirnov* adalah suatu *goodness of fit test*, artinya yang diperhatikan adalah tingkat kesesuaian antara distribusi serangkaian harga sampel (skor yang diobservasi) dengan suatu distribusi teorotis tertentu. Tes ini menetapkan apakah skor-skor dalam sampel dapat secara masuk akal dianggap berasal dari suatu populasi dengan distribusi teoritis itu.

Dalam tes ini mencakup perhitungan distribusi frekuensi kumulatif yang akan terjadi dibawah distribusi teoritisnya, serta membandingkan distribusi frekuensi itu dengan distribusi frekuensi hasil observasi. Distribusi teoritis tertentu merupakan representasi dari apa yang diharapkan dibawah H_0. Tes ini menetapkan suatu titik dimana kedua distribusi itu (teoritis dan observasi) memiliki perbedaan terbesar.

Misalkan F_0 (X) = suatu fungsi distribusi frekuensi kumulatif yang sepenuhnya ditentukan, yakni distribusi kumulatif teoritis dibawah H_0. artinya untuk harga N yang sembarang besarnya, harga F_0 (X) adalah proporsi kasus yang diharapkan mempunyai skor yang sama atau kurang dari pada X. Misalkan S_N (X) = distribusi frekuensi kumulatif yang diobservasi dari suatu sampel random dengan N observasi. Dimana X adalah sembarang skor yang mungkin, S_N (X) = k/N, dimana k sama dengan banyaknya observasi yang sama atau kurang dari X. Dibawah hipotesis nol bahwa sampel itu telah ditarik dari distribusi teoritis tertentu, maka diharapkan bahwa untuk setiap harga X, S_N (X) harus jelas mendekati F_0 (X). Artinya dibawah H_0 kita akan mengharapkan selisih antara S_N (X) dan F_0 (X) adalah kecil dan ada dalam batas-batas kesalahan *random*.

Tes *Kolmogorov Smirnov* memusatkan perhatian pada penyimpangan (*deviasi*) terbesar. Harga F_0 (X) - S_N (X) terbesar dinamakan deviasi maksimum.

$$D_{hitung} = Maximum\left|F_0(x) - S_N(x)\right|$$

Adapun langkah-langkah uji distribusi tersebut adalah sebagai berikut:

(a) Hipotesis uji:

H_0 : waktu antar kerusakan mengikuti distribusi harapan

H_1 : waktu antar kerusakan tidak mengikuti distribusi harapan

(b) Uji statistik:

$$D_{hitung} = Maximum\left|F_0(x) - S_N(x)\right|$$

(c) Kriteria penerimaan:

H_0 diterima jika $D_{max} \leq D_{Tabel}$

(d) Kesimpulan

H_0 diterima atau H_1 ditolak artinya sampel mengikuti distribusi harapan.

2.11. Pengujian Kecocokan Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Untuk mengetahui apakah distribusi pengamatan sesuai dengan yang diharapkan, maka perlu untuk mempertimbangkan distribusi menurut pengamatan dengan distribusi menurut nilai-nilai teoritis, dalam hal ini dilakukan pengujian kecocokan distribusi yaitu dengan menggunakan uji statistik yaitu uji distribusi *non-parametrik* (*Uji Kolmogorov-Smirnov*). Pengujian *Kolmogorov-smirnov* digunakan untuk sampel yang berukuran kecil. Dasar pengujian adalah perbedaan harga mutlak terbesar diantara nilai distribusi kumulatif sampel acak (f_0) berukuran (n) dengan nilai distribusi kumulatif teoritis spesial (f_e). Statistik pengujian untuk pengujian *kolmogorov-smirnov* untuk sampel tunggal adalah: $Dn = maks|f_0 - fe|$, hipotesis akan diterima apabila $Dn < D_{tabel}$ dan akan ditolak apabila $Dn > D_{tabel}$.

2.12. Model Penggantian Pencegahan

Tindakan penggantian pencegahan yang saat ini dilakukan hanya jika terjadi kerusakan yang menyebabkan mesin berhenti, tindakan penggantian pencegahan dengan mengacu pada interval waktu tersebut ternyata tidak mengurangi frekuensi kerusakan komponen mesin yang menuntut penggantian dengan komponen yang baru. Dengan melihat kondisi ini, maka akan dilakukan penetapan kebijaksanaan penggantian dengan cara mencari pilihan interval waktu penggantian baru yang diharapkan dapat mencipatkan kuantitas keluaran produk atau jasa yang sebaik-baiknya yaitu yang sesuai dengan permintaan.

Pemecahan masalah diatas akan dilakukan dengan teknik kuantitatif melalui pengambilan model. Terdapat dua konsep model pengembangan matematik yang

berkaitan dengan cara penggantian, yaitu model *Age Replacement* dan model *Block Replacement (Interval Replacement)*.

2.12.1. Model *Age Replacement*

Model *Age Replacement* yaitu dimana interval waktu penggantian komponen dengan meperhatikan umur pemakaian dari komponen tersebut, sehingga dapat menghindari terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasang akan diganti dalam waktu yang relatif singkat, jika terjadi suatu kerusakan model ini akan menyesuaikan kembali jadwalnya setelah penggantian komponen dilakukan, baik akibat terjadinya kerusakan maupun hanya bersifat sebagai perawatan pencegahan.

Model ini cocok diterapkan terhadap komponen yang interval waktu penggantiannya relatif tidak mempengaruhi umur komponen lainnya atau komponen yang penggantiannya sekaligus artinya bahwa model ini berlaku jika ada kerusakan komponen dalam satu set mesin maka hanya satu komponen yang rusak saja yang mengalami penggantian.

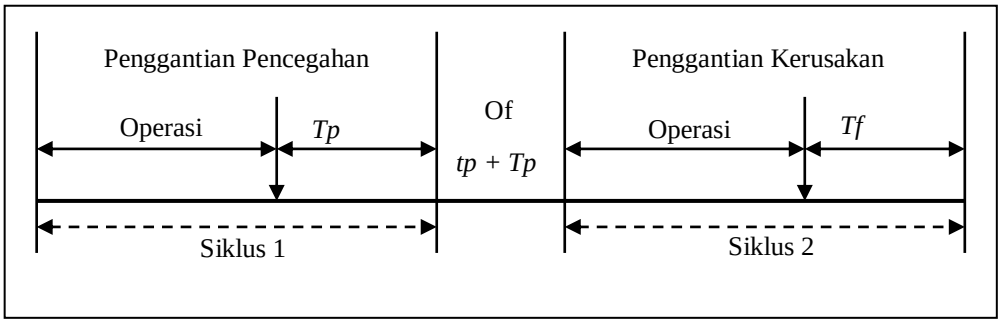
Dalam model *Age Replacement*, intinya pada saat dilakukan penggantian adalah tergantung pada umur komponen, jadi penggantian pencegahan akan dilakukan dengan menetapkan kembali interval waktu penggantian berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan.

Model *Age Replacement* ini mempunyai dua siklus penggantian pencegahan, yaitu:

(a) Siklus 1 atau siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan, ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian sesuai rencana.

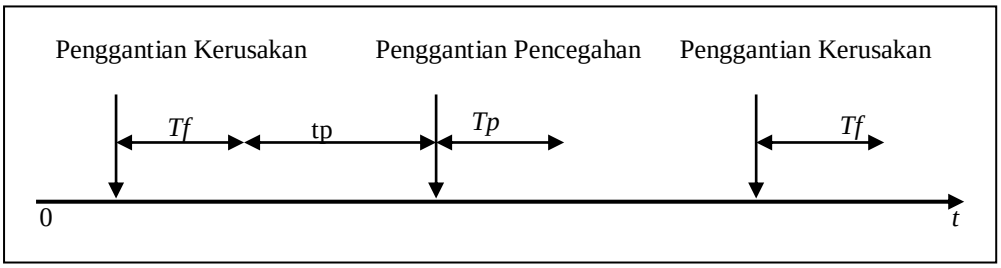
(b) Siklus 2 atau siklus kerusakan yang diakhiri dengan kegiatan kerusakan, ditentukan melalui komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya.

Kedua siklus dari model *Age Replacement* tersebut dapat terlihat jelas pada gambar berikut:



Gambar 2.1. Model *Age Replacement*
Sumber: Jardine, AKS, 1973

Sedangkan kebijakan perawatannya mengikuti kebijakan yang digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.2. Kebijakan Perawatan Penggantian pencegahan

Sumber: Jardine, AKS, 1973

Keterangan:

t_p = Interval waktu penggantian pencegahan per satuan waktu.

T_f = Waktu yang diperlukan untuk penggantian karena kerusakan.

T_p = Waktu yang diperlukan untuk penggantian karena pencegahan.

$f_{(t)}$ = Fungsi distribusi interval waktu antar kerusakan.

Pembentukan model ongkos penggantian pencegahan:

$$C_{(tp)} = \frac{\textit{Ekspektasi}\ \text{ongkos perawatan penggantian n per siklus}}{\textit{Ekspektasi}\ \text{panjang siklus}}$$

$\Rightarrow$ Ekspektasi ongkos perawatan penggantian per siklus

= {ekspektasi ongkos total pada siklus pencegahan x probabilitas terjadinya siklus pencegahan} + {ekspektasi ongkos total pada siklus kerusakan x probabilitas terjadinya siklus kerusakan}

$= \{C_p.R_{(tp)}\} + [C_f.\{1-R_{(tp)}\}]$.....(2.14.)

$\Rightarrow$ Ekspektasi panjang siklus

= {ekspektasi panjang siklus pencegahan x probabilitas terjadinya siklus perencanaan} + {ekspektasi panjang siklus kerusakan x probabilitas terjadinya siklus kerusakan}

$= [\{t_p + T_p\}.R_{(tp)}] + [\{M_{(tp)} + T_f\}.\{1-R_{(tp)}\}]$.....(2.15.)

Adapun formulasi perhitungan model *age replacement* adalah sebagai berikut (*Jardine, 1973*):

$$C_{(tp)} = \frac{C_p.R_{(tp)} + \left[Cf \quad 1 - R_{(tp)} \right]}{\left[t_p + T_p \quad R_{(tp)} \right] + \int_0^{tp} t.f_{(t)}dt + \left[tf \quad 1 - R_{(tp)} \right]} \quad \text{.....(2.16.)}$$

Dari persamaan tersebut akan dicari harga t_p yang memberikan nilai $C_{(tp)}$ yang paling optimum.