

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka serta teori-teori yang melandasi dan mendukung setiap langkah dalam penelitian yang dilaksanakan.

2.1 Perawatan (*Maintenance*)

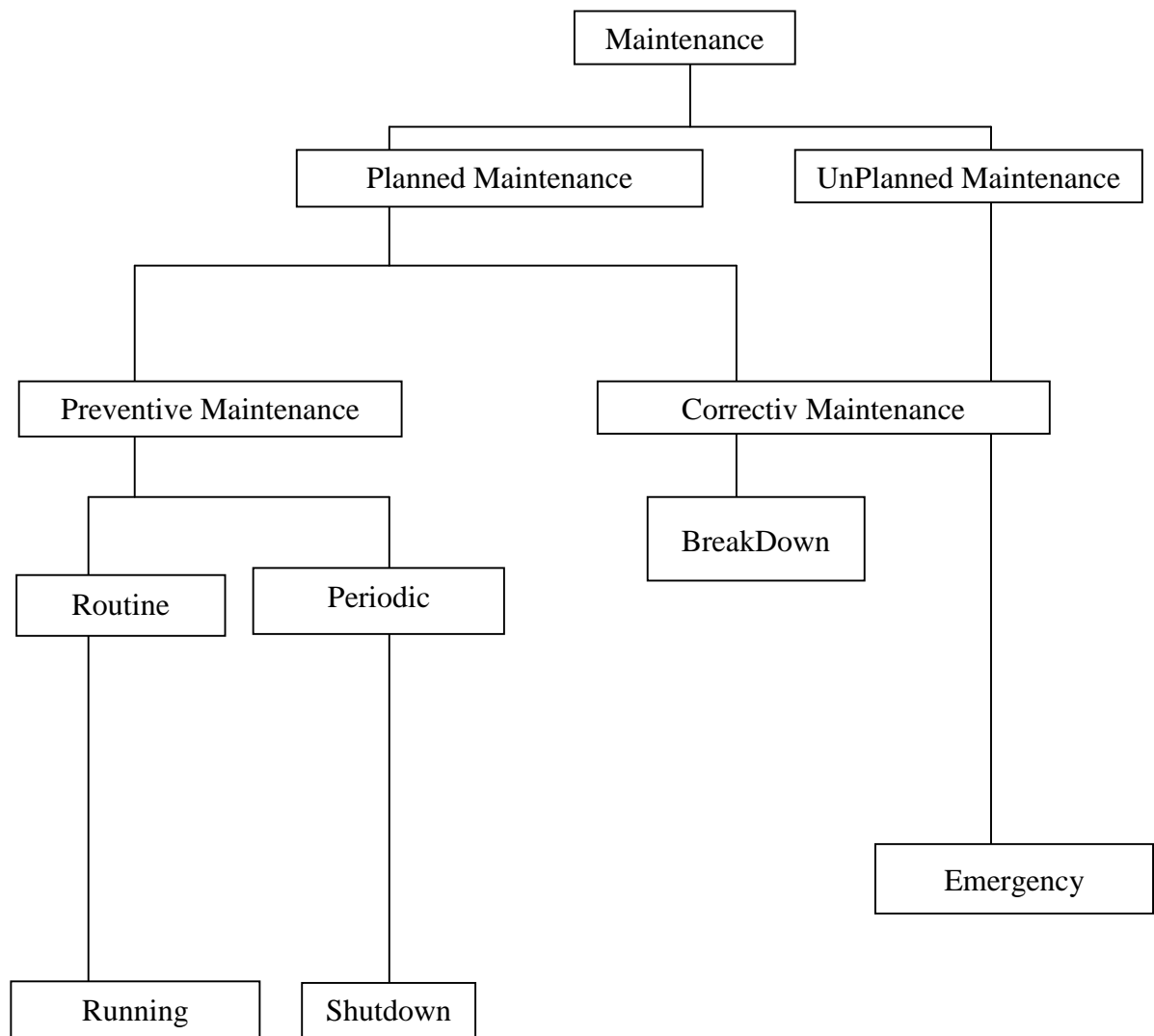
Maintenance merupakan suatu aktifitas yang dilakukan agar peralatan atau item dapat dijalankan sesuai dengan standar performansi semula. *Maintenance* dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan yang dibutuhkan untuk mencapai suatu hasil yang dapat mengembalikan item atau mempertahankan item pada kondisi yang selalu dapat berfungsi (*serviveable*).

Tujuan utama dilakukannya usaha perawatan adalah sebagai berikut :

- a) Memperpanjang umur pakai fasilitas produksi.
- b) Menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan untuk pemakaian darurat.
- c) Menjamin tingkat ketersediaan (*availability*) yang optimum dari fasilitas produksi.
- d) Menjamin keselamatan operator dan pemakai fasilitas.

Pemilihan kegiatan perawatan didasarkan atas sifat dari kerusakan atau kegagalan pada peralatan, apakah bersifat terprediksi atau tidak terprediksi. Selain itu, pemilihan tersebut juga didasari atas biaya yang ditanggung apabila menerapkan salah satu jenis kegiatan perawatan.

Hubungan antara berbagai bentuk perawatan menurut Antony S. Corder (1992); ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.1. Hubungan berbagai bentuk perawatan (Antony S. Corder)

Berikut ini adalah penjelasan dari berbagai jenis kegiatan perawatan pada gambar diatas

✓ Perawatan terencana (*planned maintenance*).

Perawatan terencana dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu :

a) Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Preventive Maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-

kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi.

Dalam prakteknya, *Preventive Maintenance* yang dilakukan oleh suatu perusahaan dibedakan atas :

1) *Routine Maintenance.*

Yaitu kegiatan pemeliharaan terhadap kondisi dasar mesin dan mengganti suku cadang yang aus atau rusak yang dilakukan secara rutin misalnya setiap hari. Contoh pembersihan peralatan, pelumasan atau pengecekan oli, pengecekan bahan bakar, pemanasan mesin-mesin sebelum dipakai berproduksi.

2) *Periodic Maintenance.*

Yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara periodic atau dalam jangka waktu tertentu misalnya satu minggu sekali, dengan cara melakukan inspeksi secara berkala dan berusaha memulihkan bagian mesin yang cacat atau tidak sempurna. Contoh : penyetelan katup-katup pemasukan dan pembuangan, pembongkaran mesin untuk penggantian *bearing*.

3) *Running Maintenance.*

Merupakan pekerjaan perawatan yang dilakukan pada saat fasilitas produksi dalam keadaan bekerja. Perawatani ini termasuk cara perawatan yang direncanakan untuk diterapkan pada peralatan atau pemesinan dalam keadaan operasi. Biasanya diterapkan pada mesin-mesin yang harus terus menerus beroperasi dalam melayani proses produksi. Kegiatan perawatan dilakukan dengan jalan mengawasi secara aktif (*monitoring*). Diharapkan hasil perbaikan yang telah dilakukan secara tepat dan terencana ini dapat menjamin kondisi operasional tanpa adanya gangguan yang mengakibatkan kerusakan.

4) *Shutdown Maintenance.*

Merupakan kegiatan perawatan yang hanya dapat dilaksanakan pada waktu fasilitas produksi sengaja dimatikan atau dihentikan.

b) Perawatan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Corrective Maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan pada peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Macam dari perawatan perbaikan adalah *Breakdown Maintenance* yang merupakan kegiatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan dan untuk memperbaikinya harus disiapkan suku cadang dan perlengkapan lainnya untuk mendukung perawatan tersebut.

Keuntungan perawatan terencana antara lain :

- a) Pengurangan perawatan darurat.
- b) Meningkatkan ketersediaan (*availability*) untuk kegiatan produksi, sehingga mengurangi waktu menganggur pada mesin produksi.
- c) Meningkatkan efisiensi mesin.
- d) Pengurangan pergantian suku cadang, pemeriksaan berkala, dan menjamin pergantian komponen yang rusak sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah.

✓ Perawatan tak terencana.

Merupakan suatu tindakan atau kegiatan perawatan yang mana pelaksanaannya tidak direncanakan sebelumnya dan tidak dikontrol. Perawatan yang tergolong pada perawatan yang tidak terencana adalah *Emergency Maintenance*, yaitu pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang lebih serius.

Akibat dari perawatan tak terencana yaitu :

- a) Ketidakefisienan waktu, tenaga kerja, bahan baku, energi dan sebagainya.
- b) Hasil perawatan kurang memadai.
- c) Biaya perawatan membesar.

d) Mengganggu jalannya proses produksi sehingga menurunkan tingkat produktifitas perusahaan.

Biaya yang timbul akibat waktu perawatan yang tidak semestinya (tak terencana) antara lain :

1. Biaya *overmaintenance*.

Biaya yang diakibatkan perawatan yang dilakukan sebelum waktu yang diharuskan. Alternatif yang dipilih adalah jadwal perawatan harus dimajukan sehingga mengakibatkan frekuensi perawatan dalam suatu periode harus ditambah. Total biaya *overmaintenance* didapatkan dari perkalian antara biaya *overmaintenance* perhari dengan besarnya pemajuan jadwal dari jadwal semula.

2. Biaya *undermaintenance*

Biaya yang diakibatkan perawatan yang dilakukan setelah waktu yang diharuskan. Dalam kenyataannya biaya ini tidak mungkin terjadi, karena jadwal perawatan tidak mungkin diundurkan sehingga melewati batas waktu yang telah ditetapkan. Karena apabila jadwal perawatan diundurkan, maka biaya kegagalan yang akan ditanggung perusahaan akan semakin besar.

2.2 *Shutdown Maintenance (Sdm)*

Merupakan kegiatan perawatan yang hanya dilakukan waktu fasilitas produksi sengaja dihentikan. Jadi *shutdown maintenance* merupakan suatu perencanaan dan penjadwalan pemeliharaan yang memusatkan pada bagaimana memanajementi *shutdown*. Disini berarti bagaimana cara mengkoordinasikan semua sumber daya yang ada yaitu tenaga kerja, peralatan, material dan lain-lain, untuk meminimasi waktu *down (down time)* dan biaya yang dikeluarkan diusahakan seminimal mungkin.

Kegiatan *shutdown* mempunyai dampak serius pada proses produksi yang berlangsung, serta secara teknis berbeda dari praktek perawatan tradisional. Tiga konsep penting yang membedakan kegiatan *shutdown* ini dari yang lain adalah :

1. Jenis pekerjaan yang dieksekusi sepanjang waktu *shutdown*.

2. Pembuatan jadwal untuk daftar kegiatan selama *shutdown*.
3. Kualitas dari perencanaan kerja selama *shutdown*.

2.2.1 Jenis pekerjaan selama *shutdown*

Merupakan hal yang sangat penting bahwa daftar pekerjaan selama *shutdown* itu diupayakan sesingkat mungkin. Membuat daftar pekerjaan yang sesingkat mungkin berarti mengurangi biaya-biaya selama kegiatan perawatan dan memusatkan perhatian kita pada pekerjaan yang hanya akan dilakukan selama *shutdown* berlangsung. Semua pekerjaan yang lain ditunda untuk waktu di luar jadwal *shutdown*.

Aktivitas utama sepanjang *shutdown* haruslah melakukan pencegahan secara alami (termasuk melakukan pemeriksaan peralatan), yang kemudian diikuti dengan pembersihan dan pekerjaan perbaikan. Ketika konsep dasar ini diikuti, hal tersebut akan mengakibatkan penurunan terhadap biaya yang harus dikeluarkan.

2.2.2 Pembuatan jadwal untuk daftar kegiatan selama *shutdown*.

Suatu rencana jangka panjang untuk kegiatan *shutdown* harus digambarkan pada anggaran. Rencana jangka panjang haruslah berisi detail mengenai daftar pekerjaan utama yang harus dilakukan selama masing-masing *shutdown* utama dijadwalkan. Dana harus pula dimasukkan untuk pekerjaan perbaikan yang lebih kecil sepanjang *shutdown*.

Dengan membuat jadwal pekerjaan apa saja yang dilakukan selama masa *shutdown* dan menentukan mana prioritas pekerjaan yang harus dilakukan, akan menyebabkan teknisi atau karyawan yang akan melakukan eksekusi itu tidak mengalami kesulitan. Dengan demikian ketika waktu eksekusi datang, maka seluruh pekerjaan akan fokus pada pekerjaan *maintenance* yang sudah dijadwalkan. Dengan fokus pada pekerjaan yang sudah terjadwal maka periode *shutdown* akan sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan dan tidak akan mengalami *overtime* serta biaya yang dibutuhkan tidak akan mengalami pembengkakan.

2.2.3 Kualitas dari perencanaan kerja selama *shutdown*

Mutu dari waktu perencanaan yang diinvestasikan pada setiap *shutdoen* akan secara langsung mempengaruhi pekerjaan yang akan diselesaikan. Akan ada banyak pekerjaan yang dieksekusi dengan lebih sedikit orang, dengan waktu yang jauh lebih sedikit, mutu perbaikan akan meningkat, dan biaya untuk masing-masing perbaikan akan menurun secara signifikan.

Masing-masing order pekerjaan harus direncanakan sebelum dilaksanakan. Ini meliputi semua pekerjaan pemeliharaan (*maintenance*), pencegahan (*preventive*), pembetulan (*fixing*), dan cek rutin. Pekerjaan yang ditempatkan pada jadwal *shutdown* harus secara penuh direncanakan. Jika ini tidak dilaksanakan, hal tersebut secara efektif akan menempatkan beban pekerjaan pada pekerja bagian eksekusi. Pekerjaan eksekusi akan menjadi lambat dan menciptakan banyak peluang untuk terjadi keterlambatan, kekeliruan, dan kebingungan. Oleh karena itulah para teknisi yang sudah terbiasa bekerja pada pekerjaan yang terencana menjadi sumber informasi yang berharga di dalam proses perencanaan itu. Mereka mampu mengidentifikasi kelemahan didalam paket pekerjaan yang direncanakan, dan dokumen kelemahan tersebut digunakan untuk koreksi jika terjadi kesalahan pada masa yang akan datang.

2.2.4 Tahap-tahap *shutdown maintenance*.

Adapun tahap-tahap dalam pelaksanaan *shutdown maintenance* adalah sebagai berikut :

❖ Tahap identifikasi pekerjaan (*Identifying Needed Work*).

Pada tahap ini kita akan mencoba mengidentifikasikan pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan selama kegiatan *shutdown* berlangsung. Selain itu pada tahap ini juga akan dilakukan pengamatan terhadap sejarah peralatan yang akan *dishutdown* dan akan mendata semua item atau mesin yang akan dieksekusi.

❖ Tahap definisi ruang lingkup pekerjaan (*Defining the Scope of Work*).

Pada tahap ini akan diidentifikasi batasan tentang kegiatan *shutdown*. Selain itu juga menentukan besarnya budget yang diperlukan dan melakukan skala prioritas terhadap pekerjaan yang penting dilakukan. Pada tahap ini juga akan dilakukan penentuan jumlah tenaga kerja atau teknisi yang diperlukan dan membuat jadwal shift yang efisien dan efektif bagi pekerja.

❖ Tahap perencanaan kegiatan *shutdown* (*Planning the Shutdown*).

Pada tahap ini akan ditentukan waktu yang diperlukan untuk kegiatan selama *shutdown*, menentukan material apa saja yang diperlukan dan jumlah yang dibutuhkan, serta mengidentifikasi dan mengkualifikasikan resiko yang terjadi akibat *shutdown* dan bagaimana respon yang harus diberikan untuk menanggapi resiko yang muncul tersebut.

❖ Tahap penjadwalan *shutdown* (*Shutdown Scheduling*).

Pada tahap ini akan dijadwalkan semua pekerjaan yang dilakukan selama *shutdown* berlangsung. Selain itu akan dibuat jadwal yang optimal dengan metode CPM (*Critical Path Method*) serta mengidentifikasi kesiapan material dan peralatan yang dibutuhkan untuk tiap pekerjaan selama *shutdown* berlangsung.

❖ Tahap pelaksanaan (*Execution*).

Pada tahap ini akan dilaksanakan semua kegiatan *shutdown* yang sudah direncanakan. Selain itu juga akan dilaporkan status dari pekerjaan itu secara berkala dan terbaru (*updates*).

❖ Tahap laporan (*Report*)

Pada tahap ini akan dilakukan evaluasi tentang semua kegiatan yang sudah dilaksanakan, termasuk mengevaluasi jadwal dan biaya yang sudah dikeluarkan. Setelah semua kerja sudah selesai dan kualitas pekerjaan sudah dievaluasi, maka dibuatlah laporan terakhir mengenai semua kegiatan yang sudah berlangsung sesuai format yang disepakati (*The Shutdown files*).

2.3 Metode Lintasan Kritis (*Critical Path Method/CPM*).

Metode ini pertama kali digunakan pada proyek konstruksi di perusahaan Du Pont pada tahun 1957. Metode ini menekankan pada ongkos proyek. Dalam metode ini tidak ada pemberlakuan metode statistik untuk mengakomodasikan adanya ketidakpastian. CPM mengasumsikan bahwa umur proyek bisa dipersingkat dengan penambahan sumber daya tenaga kerja, peralatan dan modal untuk kegiatan tertentu. Bila tidak ada ketentuan lain, maka waktu pelaksanaan kegiatan dianggap berada dalam kondisi “normal”. Waktu pelaksanaan pada kondisi normal didefinisikan sebagai waktu normal (T_n). Sedangkan ongkos pelaksanaan kegiatan pada kondisi normal didefinisikan sebagai biaya normal (C_n).

Ada 2 (dua) unsur utama dalam CPM yaitu :

1. Perencanaan.

Proses pemilihan metode kerja yang digunakan untuk pelaksanaan pembangunan suatu proyek haruslah tepat. Pemilihan metode kerja ini dilakukan dengan tujuan agar diperoleh hasil kerja yang optimal dan rencana kerja yang optimal.

2. Penjadwalan

Penentuan waktu operasi proyek dan penyelesaiannya harus dijadwalkan dengan tepat. Penjadwalan hanya dapat dilakukan setelah rencana proyek terdefinisi dengan jelas atau dengan kata lain proyek yang akan dijadwalkan mempunyai gambar kerja/ rencana kerja.

Keuntungan dari metode ini adalah dapat memberikan informasi mengenai program kerja, metode konstruksi, tipe pendataan yang akan dipergunakan, jumlah tenaga kerja yang digunakan untuk setiap kegiatan, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap kegiatan dan perkiraan waktu untuk penyelesaian proyek secara keseluruhan.

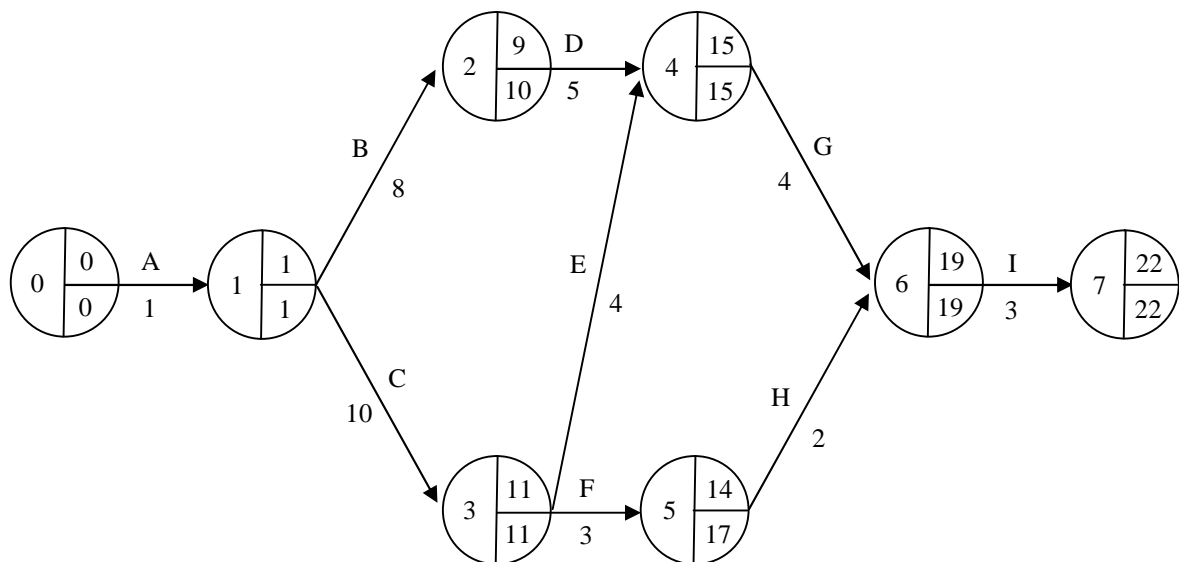
Metode ini merupakan salah satu metode jaringan kerja yang sangat populer digunakan dalam proyek, karena dapat mengidentifikasi lintasan yang

memiliki rangkaian komponen-komponen kegiatan, dengan total jumlah waktu yang terlama dan dapat menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek yang tercepat. Makna dari lintasan kritis sangat penting, karena pada lintasan ini terapat kegiatan-kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat, akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan.

Adapun sifat dan syarat lintasan kritis yaitu :

- ❖ Waktu mulai paling awal dan akhir harus sama ($ES = LS$).
- ❖ Waktu selesai paling awal dan akhir harus sama ($EF = LF$)
- ❖ Kurun waktu kegiatan sama dengan perbedaan waktu selesai paling akhir dengan waktu mulai paling awal ($LF - EF = \text{Durasi}$).
- ❖ Aktifitas-aktifitas pada lintasan kritis mempunyai total float (TF) sama dengan nol.

Contoh perhitungan lintasan kritis dan identifikasinya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2. Contoh perhitungan lintasan kritis

Dari diagram jaringan kerja diatas, maka urutan lintasan kritis yang terbentuk adalah A – C – E – G – I dengan panjang lintasan kritis adalah $1 + 10 + 4 + 4 + 3 = 22$.

Dua metode yang digunakan untuk menggambarkan aktifitas yang berlangsung dalam suatu proyek antara lain :

❖ Aon (*Activity of Node*)

ES	Dur	LS
Activity		
DF	Dummy	LF

Dimana :

ES : *Early Start.*

LS : *Latest Start*

EF : *Early Finish*

LF : *Latest Finish*

Untuk menghitung keempat nilai waktu tersebut, dibutuhkan data daftar *predecessor* (aktifitas yang dilakukan sebelumnya atau aktifitas pendahulu).

Kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut :

$$ES_{\text{Elemen Kerja}} = \text{Max} (LS_{\text{Elemen Kerja Predecessor}}).$$

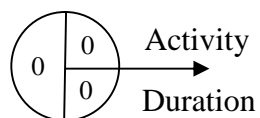
$$LS_{\text{Elemen Kerja}} = ES_{\text{Elemen Kerja}} + \text{Durasi Elemen Kerja}$$

$$EF_{\text{Elemem Kerja}} = LF_{\text{Elemen Kerja}} - \text{Durasi Elemen Kerja}$$

$$LF_{\text{Elemen Kerja}} = \text{Min} (LF_{\text{Elemen Kerja Elemen Kerja Selanjutnya}})$$

Untuk mendapatkan total waktu penyelesaian proyek, maka harus dilihat nilai LF terbesarnya.

❖ AoA (*Activity of Arc*)



Gambar 2.4. Simbol AoA

Perhitungan untuk ES dan EF dalam metode ini sama dengan perhitungan metode AoN diatas. Begitu juga untuk menentukan total waktu penyelesaian proyek dengan melihat LF terbesarnya.

Dari nilai total waktu penyelesaian proyek tersebut akan didapatkan lintasan kritisnya. Dalam lintasan kritis ini, tidak boleh ada aktifitas yang terlambat dan apabila aktifitas dalam lintasan kritis terjadi keterlambatan, maka akan menyebabkan proyek akan mengalami keterlambatan. Dengan kata lain, aktifitas yang ada pada lintasan kritis ini memiliki *total float* (TF) = 0.

2.4 Konsep Keandalan (*Reliability*)

2.4.1 Definisi keandalan

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas komponen, peralatan, mesin, atau sistem tetap beroperasi dengan baik sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam interval waktu dan kondisi tertentu.

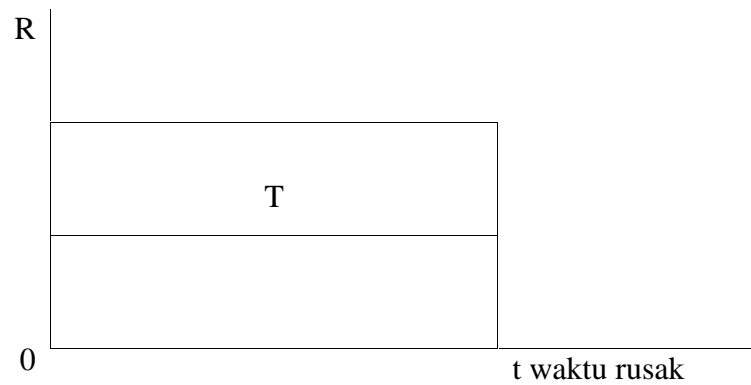
Dalam perhitungan keandalan, kondisi peralatan yang sedang beroperasi dibagi menjadi 2 state yaitu state baik dan state rusak. Untuk menyatakan suatu state, bisa dituliskan sebagai berikut, misal :

X : State system/peralatan yang merupakan variabel random.

X=1 : System/alat dalam fungsi yang baik.

X=2 : System/alat dalam fungsi rusak.

Berdasarkan definisi diatas maka dapat ditarik kesimpulan bahwa variabel penting yang berkaitan dengan keandalan adalah waktu. Dalam hal ini adalah waktu yang ada kaitannya dengan laju kerusakan (*failure rate*). Karena waktu kerusakan merupakan kejadian yang bersifat random maka fenomena kerusakan dapat digambarkan dalam bentuk probabilitas kerusakan yang mengikuti distribusi tertentu seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5. Kedatangan waktu kerusakan

Dimana :

T : Lama peralatan beroperasi

t : Waktu rusak

R : Merupakan variabel random

Kerusakan dapat dinyatakan dengan variabel random T atau dapat pula dinyatakan dengan proses stokastik $x(t)$. Hubungannya adalah :

$$T > t \longleftrightarrow x(t) = 1$$

$$T \leq t \longleftrightarrow x(t) = 0$$

Sehingga diperoleh :

$$P\{x(t) = 1\} = P\{T > t\}$$

$$P\{x(t) = 0\} = P\{T \leq t\}$$

$P\{x(t) = 1\}$: Menyatakan bahwa peralatan tersebut masih beroperasi pada saat t .

$P\{x(t) = 0\}$: Menyatakan fungsi waktu (t)

2.4.2 Fungsi keandalan

Keandalan adalah probabilitas kinerja dari sistem/alat untuk memenuhi fungsi-fungsi yang diharapkan dalam selang waktu tertentu, sedangkan fungsi keandalan adalah suatu fungsi matematis yang menggambarkan

Variabel utama dalam fungsi keandalan adalah waktu terjadinya kerusakan (*time failure*).

Fungsi tersebut dirumuskan sebagai berikut :

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = P(x > t)$$

Dimana :

$R(t)$ merupakan probabilitas peralatan dapat beroperasi hingga waktu t .

Probabilitas suatu peralatan mengalami kerusakan sebelum jangka waktu t disebut sebagai *CDF (Cumulative Distribution Failure)* dengan rumusan :

$$F(t) = P(x \leq t)$$

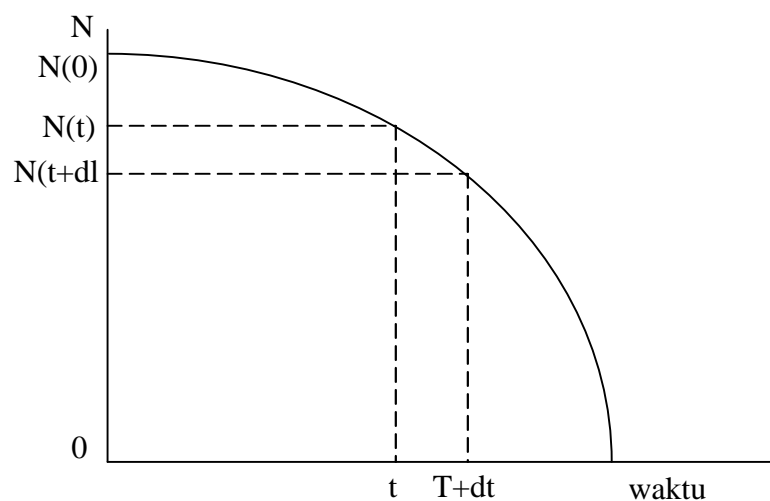
Sehingga dari kedua persamaan diatas dapat dirumuskan bahwa probabilitas keandalan suatu peralatan hingga waktu t dirumuskan sebagai :

$$R(t) = 1 - F(t)$$

2.4.3 Laju kerusakan ($\lambda(t)$)

Laju kerusakan didefenisikan sebagai probabilitas banyaknya komponen yang mengalami kerusakan setiap satuan waktu, bila komponen sejenis dalam jumlah banyak dioperasikan bersama.

Hubungan antar laju kerusakan dan waktu ditunjukkan sebagai berikut. Apabila pada saat $t=0$ dioperasikan sejumlah komponen atau mesin sejenis dalam satu waktu yang sama, bila diamati setiap saat maka banyaknya komponen yang masih beroperasi tiap saat jika diamati akan menunjukkan kurva sebagai berikut :



Gambar 2.6. Jumlah kerusakan komponen terhadap waktu

Dimana :

$N(t)$: banyaknya komponen yang masih beroperasi pada saat t .

$\lambda(t)$: laju kerusakan sesaat yang merupakan proporsi komponen yang rusak tiap satuan waktu pada saat t .

laju kerusakan $\lambda(t)$ dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\lambda(t) &= P\{x < t + \Delta t / x > t\} \\ &= \frac{P\{(x > t) \cap (x < t + \Delta t)\}}{P(x > t)}\end{aligned}$$

Dimana :

$$P\{(x > t) \cap (x < t + \Delta t)\} = P\{x < t + \Delta t\} - P\{x < t\} = f(t) \Delta t$$

$$f(t) = \frac{d}{dt} R(t)$$

$$\lambda(t) = f(t) / R(t)$$

$$= \frac{1}{R(t)} \frac{d}{dt} R(t)$$

$$\lambda(t) dt = \frac{-dR(t)}{R(t)}$$

Dari rumusan diatas dapat dihubungkan antara laju kerusakan terhadap tingkat keandalan sebagai berikut :

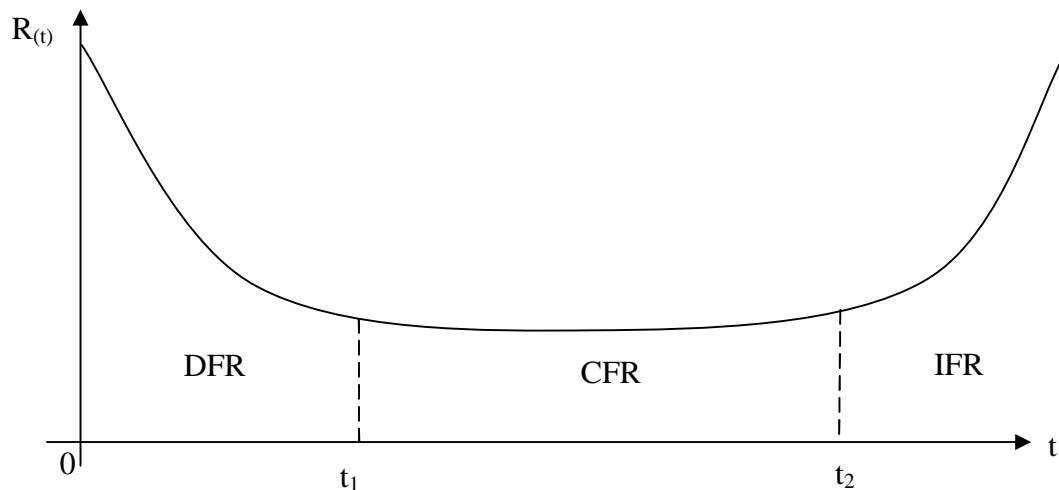
$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln[R(t)] \quad \text{sehingga}$$

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$$

2.4.4 Kurva Bath Tube

Kurva laju kerusakan sesaat pada umumnya dikenal sebagai kurva *Bath Tube* (kurva bak mandi). Kurva *Bath Tube* ini polanya akan berubah-ubah sejalan

dengan bertambahnya waktu.. hal ini dapat dijelaskan pada gambar sebagai berikut (Abdullah Alkaf Kamdi, 1992)



Gambar 2.7. Kurva *Bath Tube*

Pada periode 0 sampai t_1 (permulaan bekerjanya peralatan atau komponen), kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu atau disebut dengan *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan yang terjadi pada periode ini pada umumnya disebabkan oleh kesalahan dalam proses manufaktur atau desain yang kurang sempurna, disamping itu dapat juga disebabkan karena komponen dibawah standart, pemasangan yang tidak tepat dan sebagainya, yang muncul pada awal kehidupan peralatan (*equipment*). Pada periode ini juga dikenal dengan periode pemanasan (*Burn in Periode*).

Pada periode t_1 sampai t_2 laju kerusakan konstan atau tetap yang disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Garis tengah yang mendatar ini mungkin bisa agak lebih panjang atau pendek, tergantung pada *equipment*. Pada periode ini biasanya dikenal dengan nama *useful life periode*. Kerusakan yang terjadi bersifat random yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat dimana bekerjanya peralatan, sehingga periode ini merupakan periode pemakaian peralatan yang normal dan dikarakteristikan secara pendekatan dengan jumlah kerusakan yang konstan tiap satuan waktu.

Pada periode setelah t_2 ini menunjukkan kenaikan laju kerusakan dengan bertambahnya waktu atau disebut dengan *Increasing Failure Rate* (IFR). Hal ini karena proses keausan peralatan atau komponen. Apabila peralatan dan komponen telah memasuki periode ini, maka sebaiknya dilakukan pemeliharaan pencegahan dengan cara penggantian komponen yang aus tersebut untuk mengurangi probabilitas kerusakan yang lebih fatal dimasa yang akan datang.

2.4.5 Mean time to failure (MTTF)

Keandalan untuk suatu sistem seringkali dinyatakan dalam bentuk angka yang menyatakan ekspektasi masa pakai sistem atau alat tersebut, yang dinotasikan dengan $E [T]$ dan sering disebut rata-rata waktu kerusakan atau *mean to failure* (MTTF). MTTF hanya digunakan pada komponen atau alat yang sering sekali mengalami kerusakan dan harus diganti dengan komponen atau alat yang masih baru atau baik. Rata-rata waktu kerusakan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E [T] &= \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \\ &= - \int_0^{\infty} t \frac{dR}{dt} dt = -tR(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \end{aligned}$$

Karena $R(\infty)$ adalah 0, sehingga diperoleh :

$$E [T] = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

2.4.6 Mean Time To Repair (MTTR)

MTTR adalah rata-rata waktu komponen untuk dilakukan perbaikan atau perawatan (*repair*). MTTR didasarkan atas lamanya perbaikan dan penggantian komponen yang mengalami kerusakan (*failure*).

MTTR dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E [T] = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

2.4.7 Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF (rata-rata waktu antar kegagalan) adalah suatu ukuran seberapa keandalan (*reliabel*) suatu produk atau komponen. Karena kebanyakan komponen, mempunyai tingkat kegagalan dalam ribuan atau bahkan sepuluh ribu jam antar kegagalan. Sebagai contoh, suatu mesin bubut mungkin mempunyai rata-rata waktu antar kegagalan 300,000 jam. Perhitungan MTBF dapat digunakan sebagai suatu acuan dasar ketika hendak melakukan perancangan suatu produksi baru. MTBF dapat dikembangkan sebagai hasil dari pengujian intensive berdasar pada pengalaman produk nyata (eksperimen sebelumnya), atau yang diramalkan dengan penelitian faktor yang sudah diketahui. Pabrikan boleh menjadikan MTBF sebagai suatu index suatu keandalan komponen atau produk dan juga dalam beberapa hal seperti untuk memberikan pelanggan suatu jaminan keandalan (*reliability satisfaction*).

MTBF dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$MTBF = MTTF + MTTR$$

2.4.8 Model-model distribusi probabilitas keandalan.

Waktu terjadinya kerusakan tiap peralatan merupakan variabel *random*. Sebelum menghitung nilai probabilitas keandalan suatu mesin atau peralatan maka perlu diketahui secara statistik distribusi kerusakan peralatan tersebut. Berikut ini merupakan beberapa distribusi yang umumnya digunakan dalam menghitung tingkat keandalan suatu peralatan.

a. Distribusi Eksponensial

Digunakan untuk memodelkan laju kerusakan yang konstan untuk sistem yang beroperasi secara kontinyu. Dalam distribusi eksponensial, beberapa persamaan yang digunakan antara lain :

❖ Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi eksponensial adalah :

$$f_{(t)} = \lambda e^{-\lambda t}$$

❖ Fungsi keandalan distribusi eksponensial adalah

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

- ❖ Nilai laju kerusakan :

$$h(t) = \lambda$$

- ❖ MTTF distribusi Eksponensial adalah

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = 1/\lambda$$

b. Distribusi *Weibull*

Distribusi ini paling banyak dipakai dalam teknik penghitungan keandalan. Dalam distribusi *Weibull* dikenal adanya dua parameter yakni parameter bentuk (s) dan parameter skala (y).

Beberapa persamaan yang digunakan antara lain :

- ❖ Fungsi padat (pdf) distribusi *Weibull* adalah :

$$f(t) = \frac{s}{y} \left(\frac{t}{y} \right)^{s-1} e^{-\left(\frac{t}{y} \right)^s}$$

- ❖ Fungsi keandalan distribusi *Weibull* adalah :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{y} \right)^s}$$

- ❖ Nilai laju kerusakan distribusi *Weibull* adalah :

$$h(t) = \frac{s}{y} \left(\frac{t}{y} \right)^{s-1}$$

- ❖ MTTF distribusi *Weibull* adalah

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{y} \right)^s} dt$$

c. Distribusi *lognormal*

Distribusi ini berguna untuk menggambarkan distribusi kerusakan untuk kondisi yang bervariasi. Disini *Time to failure* (t) dari suatu komponen

diasumsikan memiliki distribusi lognormal bila $y=\ln(t)$, mengikuti distribusi normal dengan rata-rata \sim dan variansinya adalah s .

- ❖ Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi lognormal adalah :

$$f_{(t)} = \frac{S}{t \cdot s \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2s^2} [\ln t - t_0]^2\right\}$$

- ❖ Fungsi keandalan distribusi lognormal adalah :

$$R(t) = 1 - W\left[\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t}{\sim}\right)\right]$$

- ❖ Laju kegagalannya adalah :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

- ❖ MTTF distribusi LogNormal adalah :

$$MTTF = \exp(\sim + 0,5 \cdot s^2)$$

2.4.9 Biaya-biaya dalam perawatan

Adalah biaya-biaya yang harus dikeluarkan perusahaan dalam melakukan kegiatan perawatan, antara lain adalah :

- ❖ Biaya tenaga kerja

Merupakan biaya tenaga kerja yang dikeluarkan untuk merawat komponen-komponen mesin agar mesin tetap terjaga kondisinya. Perhitungan biaya ini didasarkan pada besarnya gaji tenaga kerja perbulan dibagi dengan jam kerja efektif tenaga kerja tersebut selama bulan yang bersangkutan. Biaya tenaga kerja untuk melakukan perawatan dan perbaikan dianggap sama.

- ❖ Biaya suku cadang

Merupakan biaya penggantian kerusakan komponen atau pembelian komponen baru.

- ❖ Biaya akibat perawatan

Merupakan pendapatan yang hilang selama mesin atau fasilitas produksi mengalami kegagalan (gabungan dari biaya operasional dan laba perusahaan).

Model matematis perawatan sangat penting sekali dalam mendukung perhitungan usia pakai peralatan dan penentuan waktu optimal peralatan. Dirumuskan bahwa total biaya perawatan merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan, sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} TC &= C_F \cdot f_F + C_M f_M \\ &= C_F \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} f(t) dt \right] + C_M \left[\frac{1}{TM} \right] \\ &= \frac{1}{TM} \left[C_F \int_0^{TM} f(t) dt + C_M \right] \end{aligned}$$

Jika data berdistribusi *Weibull*, maka biaya total perjamnya adalah :

$$TC = \frac{C_F}{y^s} TM^{s-1} + \frac{C_m}{TM}$$

Untuk memperoleh TC minimum maka $\frac{dT_c}{dT_M} = 0$ sehingga diperoleh

$$TM = y^x \left[\frac{C_M}{C_F (s-1)} \right]^{\frac{1}{s}}$$

Dimana :

T_C : Biaya total perawatan

C_F : Biaya perbaikan atau pergantian karena rusaknya komponen untuk setiap siklus

f_F : Frekuensi kegagalan.

C_M : Biaya yang dikeluarkan untuk perawatan persiklus

f_M : Frekuensi perawatan

T_M : Interval waktu perawatan optimal (*preventive maintenance*) dalam satuan jam.

2.5 Penelitian Terdahulu

WAKTU PERAWATAN UNTUK PENCEGAHAN PADA KOMPONEN KRITIS *CYCLONE FEED PUMP* BERDASARKAN KRITERIA MINIMASI *DOWN TIME*

Studi Kasus PT. Newmont Nusa Tenggara

Siti Nandiroh, Indah Pratiwi, Hesthi Widodo

Jurusan Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jurnal Ilmiah Teknik Industri Vol. 5 No. 1, Agustus 2006

Kesimpulan yang dapat diambil dari pengolahan data dan perhitungan-perhitungan yang dilakukan dalam penentuan waktu perawatan pencegahan komponen kritis berdasarkan minimasi *downtime* pada *Cyclone feed pump 2.0.1* di *Process Departement* – PT. Newmont Nusa Tenggara adalah sebagai berikut:

1. Kebijakan perawatan *Cyclone Feed Pump* yang diterapkan perusahaan bersifat *corektive maintenance* yaitu perawatan yang dilakukan apabila komponen apabila benar-benar telah mengalami kerusakan sehingga tidak dapat beroperasi dan berproduksi.
2. Pada *Cyclone Feed Pump 2.0.1* untuk komponen kritis Impeller keandalan dari komponen tersebut adalah 99,61%.
3. Pada *Cyclone Feed Pump 2.0.1* untuk komponen kritis Discharge Pipe keandalan dari komponen Discharge Pipe tersebut adalah 99,55%.
4. Pada *Cyclone Feed Pump 2.0.1* untuk komponen kritis Casing keandalan dari komponen Casing tersebut adalah 99,67%.
5. Pada *Cyclone Feed Pump 2.0.1* untuk komponen kritis Gear Box keandalan dari komponen Gear Box tersebut adalah 99,55%.
6. Jadi dengan kesimpulan diatas PT. Newmont Nusa Tenggara juga sangat memperhatikan tentang perkembangan yang terjadi pada keselamatan kerja karyawan dan mesin yang dioperasikan sehingga dapat menekan terjadinya *breakdown*.

Dari hasil penelitian, dapat diberikan beberapa saran diantaranya :

1. Analisa penggantian komponen dengan perawatan pencegahan yang telah diuraikan sebelumnya, dapat diterapkan untuk komponen mesin lainnya. Untuk itu perlu penanganan yang baik dan sistematis pada setiap terjadinya kerusakan komponen yang akan dianalisis.
2. Dapat menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi agar mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan untuk komponen pengganti (*spare part*) harus tersedia setiap saat.
4. Menjamin keselamatan bagi pekerja serta operator yang mengoperasikan semua unit dan sarana tersebut.