



MODUL TEKNIK PEMELIHARAAN

UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN
Fakultas Teknik dan Komputer
2022

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Modul mata kuliah Teknik Pemeliharaan (21-3-09-4-6-17-3) ini berhasil disusun dengan semaksimal mungkin. Modul ini disusun mengacu pada silabus mata kuliah yang diberlakukan untuk program S1 yang disajikan pada tiap semester dengan jumlah SKS 3 (Tiga). Modul ini diterbitkan untuk kalangan sendiri pada Program Teknik Mesin FAKULTAS TEKNIK DAN KOMPUTER UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN . Penulis mengucapkan terimakasih atas suport dan masukan yang diberikan teman teman Dosen di Fakultas Teknik dan Komputer Universitas Harapan Medan, selama penyusunan Modul ini.

Modul mata kuliah Elemen Mesin I ini diharapkan bisa membantu mahasiswa dalam memahami materi yang disampaikan Dosen. Dalam diktat ini menyajikan bermacam-macam contoh soal dan latihan soal dalam setiap BAB, yang mana mahasiswa diharapkan bisa memanfaatkan dengan baik untuk memperkuat pemahaman materi setiap BAB. Namun demikian, mahasiswa sebaiknya juga membaca buku-buku referensi yang lain tentang Proses Pengecoran Logam sehingga diperoleh informasi yang lebih lengkap dalam upaya memahami materi perkuliahan.

Bagaimanapun, diktat ini masih diperlukan perbaikan secara bertahap, oleh karena itu mohon kritik dan saran untuk kesempurnaan diktat ini.

Kami menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang membantu penulisan diktat ini. Semoga bermanfaat bagi pembaca.

Medan, Januari 2022

Penulis

(Ir.Junaidi,M.M.,M.T.)
NIDN :0103036301

DAFTAR ISI

- 1. Perawatan (Maintenance).**
- 2. Total Productive Maintenance.**
- 3. Konsep hubungan waktu dalam perawatan.**
- 4. Definisi Keandalan (Reliability).**
- 5. Penentuan komponen kritis.**
- 6. Metode Modularity Design.**
- 7. Distribusi Kerusakan.**
- 8. Critical Review penelitian terdahulu.**

BAB.1 Perawatan (*Maintenance*)

1.1 Definisi perawatan (*Maintenance*)

Menurut (Kurniawan, 2018, p. 2) yang dalam bahasa Indonesia biasa disebut perawatan merupakan sebuah tindakan pemeliharaan, perbaikan, penggantian, pembersihan, penyetelan, dan pemeriksaan kepada objek, objek disini yang dimaksud bisa mesin, material, metode, lingkungan, dan manusia. Hal ini dilakukan agar dapat memperoleh kenyamanan dan keamanan terhadap objek tersebut, dengan tujuan dapat memenuhi kebutuhan manusia, dapat berfungsi dengan baik, dan dapat digunakan hingga jangka waktu yang diinginkan. Selain tujuan tersebut, dilakukannya perawatan juga memiliki keinginan mempunyai sistem yang lebih teratur, rapih, bersih, dan fungsional.

Perawatan adalah fungsi yang memonitor dan memelihara fasilitas pabrik, peralatan, dan fasilitas kerja dengan merancang, mengatur, menangani, dan memeriksa pekerjaan untuk menjamin fungsi dari unit selama waktu operasi (*uptime*) dan meminimisasi selang waktu berhenti (*downtime*) yang diakibatkan oleh adanya kerusakan maupun perbaikan. (Riccardo Manzini, Alberto & Regattieri, Ferrari & Hoang, 2006)

Menurut (Kurniawan, 2018, p. 2) definisi perawatan merupakan suatu kombinasi dari beberapa tindakan yang dilakukan untuk menjaga dan memelihara suatu objek serta memperbaikinya sampai suatu kondisi yang dapat diterima. Aktivitas perawatan memiliki banyak kriteria kegiatannya yang saling terkait antara satu dengan yang lainnya. Kegiatan tersebut harus diatur sedemikian rupa, sehingga dapat menjadi suatu sistem yang mampu mencapai target yang diinginkan.

Menurut (Ating & G. M. R. Sudradjat, 2020, p. 2) perawatan atau *maintenance* merupakan salah satu fungsi utama usaha, dimana fungsi-fungsi lainnya seperti pemasaran, produksi, keuangan, dan sumber daya

manusia. Fungsi perawatan perlu dijalankan secara baik, karena dengan dijalankannya fungsi tersebut fasilitas-fasilitas produksi akan terjaga kondisinya. Perawatan terhadap peralatan dan mesin menjadi sangat penting dalam menunjang beroprasinya suatu industri, sehingga perlu mendapatkan perhatian yang sangat besar. Oleh karena itu aktivitas perawatan merupakan bagian yang sangat vital dari suatu industri untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi. Contoh kegiatan perawatan ialah melakukan inspeksi mesin sudah dilubrikasi atau belum, apakah ada komponen atau *part* yang rusak sehingga harus digantikan komponen lainnya, kegiatan perawatan ini diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh (prima, 2010) pada komponen mesin Kompresor.

1.2 Pemahaman istilah perawatan

Pelaksanaan perawatan industri, membutuhkan Komunikasi yang jelas diantara konseptor dengan pelaksana perawatan. Terdapat beberapa istilah perawatan, yang seringkali kita dengar, dan perlu kiranya dipahami secara detail, antara lain : (Kurniawan, 2018, p. 4)

1.2.1 *Inspection* (inspeksi)

Inspeksi adalah aktivitas pengecekan untuk mengetahui keberadaan atau kondisi dari fasilitas produksi. Inspeksi biasanya berupa aktivitas yang membutuhkan panca indra dan Analisis yang kuat dari setiap pelaksanaan, bahkan ada pula yang melakukan dengan menggunakan alat bantu, sehingga kesimpulan yang dihasilkan dapat mendekati kondisi nyata (akurat)

1.2.2 *Repair* (perbaikan)

Repair adalah aktivitas yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi mesin yang mengalami gangguan, sehingga tidak dapat beroperasi sebelum terjadi gangguan tersebut, gimana prosesnya hanya dilakukan untuk perbaikan yang sifatnya kecil (perbaikan setempat). Biasanya *repair* tidak terlalu banyak mengganggu kontinuitas proses produksi.

1.2.3 Overhaul (Perbaikan Menyeluruh)

Overhaul adalah aktivitas perbaikan menyeluruh. Aktivitas ini memiliki makna yang sama dengan *repair*, hanya saja ruang lingkupnya lebih besar. Perawatan ini dilakukan apabila kondisi mesin atau fasilitas berada dalam keadaan rusak parah, sementara kemampuan untuk mengganti dengan yang baru tidak ada. *Overhaul*, biasanya dapat mengganggu kegiatan produksi dan membutuhkan biaya yang besar. Contoh kegiatan, turun mesin pada mobil, dilakukan jika kondisi mesin rusak parah.

1.2.4 Replacement (penggantian)

Replacement adalah aktivitas penggantian mesin atau komponen. Biasanya mesin yang memiliki kondisi lebih baik akan menggantikan mesin sebelumnya. *Replacement* dilakukan jika kondisi alat sudah tidak dapat memungkinkan lagi untuk beroperasi, atau sudah melewati umur ekonomis penggunaan. *Replacement* membutuhkan investasi yang besar bagi perusahaan, sehingga alternatif, ini biasanya menjadi pilihan terakhir setelah *repair* dan *overhaul*.

1.2.5 Tujuan perawatan

Menurut (Kurniawan, 2018, p. 1) secara umum manajemen perawatan industri memiliki tujuan :

1.2.5.1 Mengatasi segala permasalahan, yang berkenaan dengan kontinuitas aktivitas produksi.

1.2.5.2 Memperpanjang umur pengoperasian peralatan dan fasilitas industri.

1.2.5.3 Meminimasi *Downtime*, yaitu waktu selama proses produksi terhenti (waktu menunggu) yang dapat mengganggu kontinuitas proses produksi.

1.2.5.4 Meningkatkan efisiensi sumber daya produksi.

1.2.5.5 Meningkatkan profesionalisme personil departemen perawatan industri.

1.2.5.6 Meningkatkan nilai tambah produk, sehingga perusahaan dapat bersaing dipasar global.

1.2.5.7 Membantu para pengambil keputusan, sehingga dapat memilih solusi optimal terhadap kebijakan perawatan fasilitas industri.

1.2.5.8 Melakukan perencanaan terhadap perawatan preventif, sehingga memudahkan dalam proses pengontrolan aktivitas perawatan.

1.2.5.9 Mereduksi biaya perbaikan dan biaya yang timbul dari terhentinya proses karena permasalahan keandalan mesin.

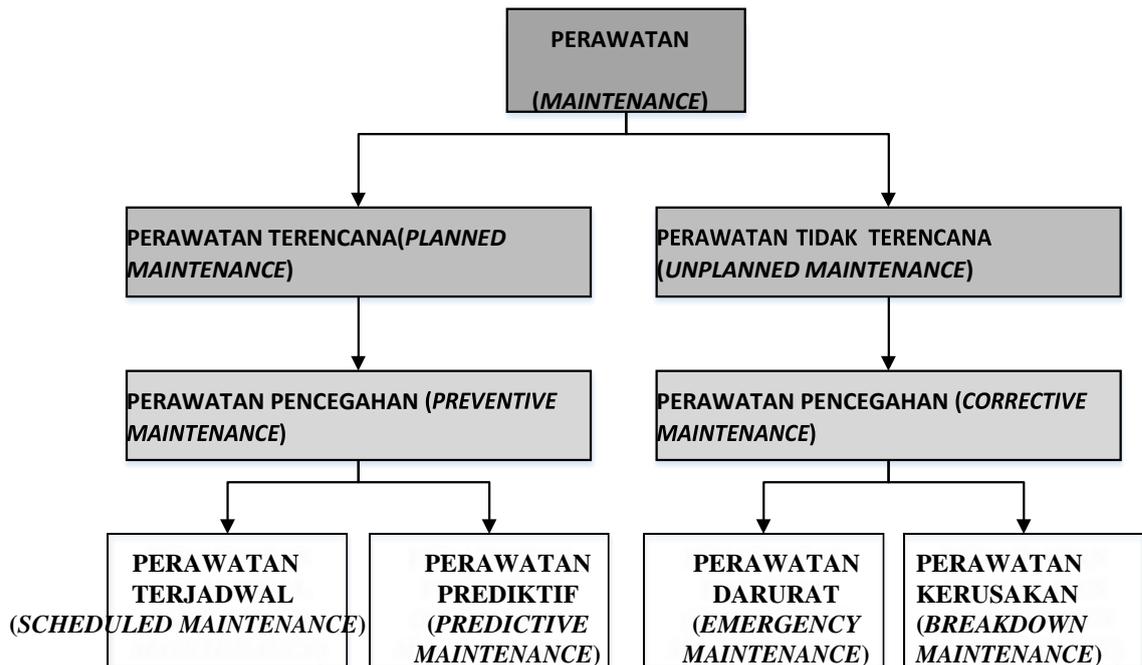
Dilihat dari perkembangan industri, memungkinkan mesin-mesin produksi akan melakukan serangkaian tugas yang panjang dan kompleks, artinya dituntut adanya pelaksanaan pekerjaan perawatan yang baik dan terarah. Pekerjaan perawatan lebih diarahkan untuk menjaga kontinuitas sistem, sehingga sistem akan meningkatkan produktivitasnya.

Menurut (Ating & G. M. R. Sudradjat, 2020, p. 22) perawatan memiliki tujuan :

- 1) Menjamin ketersediaan, keandalan fasilitas (mesin dan peralatan) secara ekonomis maupun teknis, sehingga dalam penggunaannya dapat dilaksanakan seoptimal mungkin.
- 2) Memperpanjang masa pakai fasilitas.
- 3) Menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan dalam keadaan *emergency*.
- 4) Menjamin keselamatan kerja, keamanan dalam penggunaannya.

1.2.6 Bentuk kebijakan perawatan

Menurut (Ating & G. M. R. Sudradjat, 2020, p. 23) Dalam pelaksanaannya industri mengenal dua bentuk kebijakan dasar dari program perawatan yang umum dikenal, yaitu perawatan kerusakan (*Corrective Maintenance*) dan perawatan pencegahan (*Preventive Maintenance*) seperti gambar bagan dibawah ini :



Gambar 2. 1 Bentuk kebijakan perawatan

Sumber : Manajemen perawatan mesin industri oleh Ir. Ating Sudradjat, M.T dan Griffani M. R. S.ST.,M.T. tahun 2020 halaman 23

1.2.6.1 Perawatan perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Perawatan perbaikan merupakan bentuk perawatan yang paling tua dimana merupakan tindakan yang diperlukan terutama perbaikan, penggantian, atau rekondisi fasilitas peralatan setelah terjadi kegagalan atau kerusakan agar setidaknya kembali ke kondisi minimum yang dapat diterima, yang terdiri dari:

1.2.6.1.1 Perawatan darurat (*Emergency Maintenance*)

Merupakan tindakan perbaikan harus dilakukan secepat mungkin agar fasilitas atau peralatan dapat dioperasikan kembali untuk kepentingan operasional produksi.

1.2.6.1.2 Perawatan kerusakan (*Break Down Maintenance*)

Perawatan kerusakan dapat diartikan sebagai kebijakan perawatan dengan cara mesin atau peralatan dioperasikan hingga rusak, kemudian baru diperbaiki atau diganti. Kebijakan ini merupakan strategi yang sangat kasar dan kurang baik karena dapat menimbulkan biaya tinggi, kehilangan kesempatan untuk mengambil keuntungan

bagi perusahaan karena diakibatkan terhentinya mesin, keselamatan kerja tidak terjamin, kondisi mesin tidak diketahui dan tidak ada perencanaan waktu, tenaga kerja maupun biaya yang baik.

Metode ini dikenal juga sebagai perawatan yang didasarkan pada kerusakan (*failure based maintenance*). Kebijakan perawatan ini kurang sesuai untuk mesin-mesin dengan tingkat kritis yang tinggi atau mempunyai harga yang mahal, dan hanya sesuai untuk mesin- mesin yang sederhana di mana tidak memerlukan perawatan secara intensif.

Keuntungan dari kebijakan perawatan kerusakan:

1.2.6.1.2.1 Murah dan tidak perlu melakukan perawatan. Cocok untuk mesin atau peralatan yang murah dan sederhana, dan atau modular.

Adapun kerugiannya adalah:

- 1) Kasar dan berbahaya.
- 2) Menimbulkan kerugian yang besar bila ditetapkan pada mesin yang mahal, kompleks dan dituntut tingkat keselamatan tinggi.
- 3) Tidak bisa menyiapkan sumber daya manusia.

Rumus total biaya / total cost sebagai berikut :

T. biaya kerugian tidak produksi = total biaya kerugian tidak produksi komponen kipas kondensor pada tanggal 25 Januari 2016 + total biaya kerugian tidak produksi *komponen nozzle* pada tanggal 31 Januari 2016 + + total biaya kerugian tidak produksi komponen gasket/*packing* pada tanggal 29 Desember 2019

TC awal = (T. biaya kerugian tidak produksi + T. Biaya operator menganggur) + (T. biaya

perbaikan + T. biaya penggantian

+ T. biaya pengiriman penggantian) + T. biaya mekanik

TC perbulan
$$= \frac{\text{Total Cost}}{\text{Jumlah bulan pengamat}}$$

2.Perawatan pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Perawatan pencegahan adalah merupakan perawatan yang di lakukan sebelum terjadi kerusakan mesin. Kebijakan ini cukup baik dapat mencegah berhentinya mesin yang tidak direncanakan, Literatur pertama mengenai perawatan pencegahan ini diterbitkan pada tahun 1925, tentang sistem pemeriksaan secara teratur terhadap kendaraan yang dimulai pada tahun 1930 di pabrik baja USA Diperkenalkan di Jepang pada tahun 1951 dari ESSO oleh Toa full co.

Bila suatu sistem manufaktur menggunakan mesin-mesin yang bersitat kritis dan tidak mempunyai cadangan, serta jadwal produksi yang ketat sehingga berhentinya sistem akan mengakibatkan kerugian yang besar maka aspek perawatan menjadi sangat kritis sehingga kebijakan perawatan pencegahan menjadi pilihan. Teknik perawatan yang digunakan bisa berupa perawatan pencegahan yang berbasis waktu atau perawatan terprediksi.

Keuntungan kebijakan perawatan pencegahan terutama akan menjamin keandalan dari sistem tersebut, menjamin keselamatan bagi permakai, umur pakai mesin menjadi lebih panjang, *downtime* proses produksi dapat diminimalkan. Sedangkan kerugian yang terjadi pada saat waktu operasi akan banyak terbuang, kemungkinan akan terjadi *human error* dalam proses *assembling* atau lainnya.

Kebijakan perawatan pencegahan umumnya dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin, ciri dari kebijakan ini terlihat dari dilakukannya inspeksi secara periodik dan adanya perencanaan yang sistematis, adapun aktivitas utama dari kebijakan ini lebih menitikberatkan pada inspeksi secara periodik dan pemulihan kondisi mesin secara terencana akibat adanya kemunduran fungsi. Dengan demikian pengertian perawatan pencegahan, merupakan kegiatan pendeteksian secara cepat terhadap mesin atau peralatan yang tidak normal sebelum terjadi kerusakan atau kerugian

Pelaksanaan kegiatan perawatan pencegahan bisa dilakukan secara *On-line* artinya sistem dalam kondisi jalan dan ada pula beberapa kegiatan perawatan pencegahan yang harus dilakukan dalam kondisi berhenti (*Offline*).

Program perawatan pencegahan harus dimulai dengan melakukan sosialisasi, ke semua bagian terkait (produksi, *maintenance*, manajemen, dll) untuk memperkenalkan program dan meyakinkan manfaatnya. Sedangkan parameter keberhasilan program diukur dari ongkos-ongkos yang terjadi, persentase *down time* dan bisa pula diukur dari *Ratio* antara *Planned Work Order* dan *Emergency Work Order*.

Tujuan perawatan pencegahan diarahkan untuk memaksimalkan *availability*, dan meminimalkan ongkos melalui peningkatan *reliability*. Dengan lingkup kegiatan bisa hanya mencakup area *process* (*operation, utility, main process*, dll) atau bisa diperluas ke area lain seperti *building office* dan fasilitas umum.

Secara kualitatif kriteria penentuan fasilitas yang masuk dalam program perawatan pencegahan dilihat dari:

- Apakah kerusakan alat berdampak pada *safety*?
- Apakah kerusakan alat dapat menyebabkan *system down*?
- Apakah *repair cost*-nya tinggi dan lama?
- Ketersediaan *spare part* dari fasilitas tersebut.
- Kondisi kerja dari fasilitas tersebut.
- Elemen dasar perawatan pencegahan
- terdiri dari :
- Inspeksi :

Inspeksi berkala terhadap sistem atau item untuk menentukan pelaksanaan perbaikan atau servis dan membandingkan karakteristik fisik sistem dengan standar.

- *Servicing* :

Pembersihan, pelumasan, *charging*, dll., terhadap sistem atau item secara berkala untuk mencegah terjadinya kegagalan.

- Kalibrasi :

Dilakukan untuk menentukan nilai karakteristik item dengan perbandingan dengan standar.

➤ Pengujian (*testing*):

Pengujian atau pemeriksaan dilakukan untuk menentukan rencana perbaikan atau servis dan mendeteksi terjadinya degradasi.

➤ Keselarasan (*Alignment*) :

Membuat perubahan tertentu terhadap elemen variabel item dengan tujuan mencapai kinerja yang optimal.

➤ Penyesuaian (*Adjustment*) :

Menyesuaikan unsur-unsur variabel untuk mencapai kinerja sistem yang optimal.

➤ Instalasi dan Penggantian :

Dilakukan secara periodik terhadap sistem atau item yang *life cycle*-nya terbatas.

Perawatan pencegahan terdiri dari perawatan terjadwal (*scheduled maintenance*) dan perawatan prediksi (*predictive maintenance*) *Preventive maintenance* dibedakan atas dua kegiatan (Assauri, 1993), yaitu:

➤ *Routine Maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin, sebagai contoh adalah kegiatan pembersihan fasilitas dan peralatan, pemberian minyak pelumas atau pengecekan oli, serta pengecekan bahan bakar dan sebagainya.

➤ *Periodic Maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala. Perawatan berkala dilakukan berdasarkan lamanya jam kerja mesin produk tersebut sebagai jadwal kegiatan misalnya setiap seratus jam sekali.

Tujuan *Preventive Maintenance* yakni menekan *downtime* (mesin jarang rusak), meningkatkan *life expectancy* peralatan, menekan *overtime cost*, menekan jumlah “*large scale repair*”, memperkecil

repair cost, memperkecil jumlah produk yang cacat, serta meningkatkan kondisi keselamatan kerja. Terdapat tiga keputusan dalam penerapan *Preventive Maintenance*, yakni penentuan jumlah *sparepart* yang harus tersedia, penentuan seberapa sering harus dilakukan *Preventive Maintenance* pada sekelompok mesin, serta perencanaan dan pengendalian *Preventive Maintenance* project dalam skala integrasi.

Menurut Smith and Hinchcliffe (2004) Terdapat empat kategori dalam *Preventive Maintenance*. Keempat kategori tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) *Time-Directed* (TD) adalah perawatan yang diarahkan secara langsung pada pencegahan kegagalan atau kerusakan.
- 2) *Condition-Directed* (CD) adalah perawatan yang diarahkan pada deteksi kegagalan atau gejala-gejala kerusakan.
- 3) *Failure-Finding* (FF) adalah perawatan yang diarahkan pada penemuan kegagalan tersembunyi.
- 4) *Run to Failure* (RTF) adalah perawatan yang didasarkan pada pertimbangan untuk menjalankan komponen hingga rusak karena pilihan lain tidak memungkinkan atau tidak menguntungkan dari segi ekonomi.

A. Perawatan terjadwal (*Scheduled Maintenance*)

Perawatan terjadwal merupakan bagian dari perawatan pencegahan, perawatan ini bertujuan mencegah terjadi kerusakan dan perawatannya dilakukan secara periodik dalam rentang waktu tertentu, strategi perawatan ini disebut juga sebagai perawatan berdasarkan waktu (*time based maintenance*).

Kebijakan perawatan ini cukup baik dalam mencegah terhentinya mesin yang tidak direncanakan, Rentang waktu

perawatan ditentukan berdasarkan pengalaman, data masa lalu atau rekomendasi dari pabrik pembuat mesin yang bersangkutan.

Kekurangannya, jika rentang waktu perawatan terlalu pendek akan mengganggu aktivitas produksi dan dapat meningkatkan kesalahan yang timbul karena kekurangcermatan teknisi dalam memasang kembali komponen yang diperbaiki serta kemungkinan adanya kontaminan yang masuk ke dalam sistem. Jika rentang waktu perawatan terlalu panjang kemungkinan mesin akan mengalami kerusakan sebelum tiba waktu perawatan, selain itu jika kondisi mesin atau komponen mesin atau peralatan masih baik dan menurut jadwal harus sudah diganti atau diperbaiki akan menimbulkan kerugian.

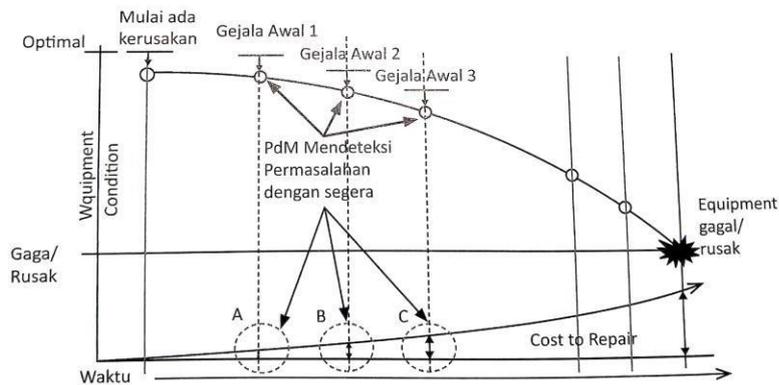
B. Perawatan prediktif (*Predictive Maintenance*)

Perawatan prediksi ini pun merupakan bagian perawatan pencegahan. Perawatan prediktif ini dapat diartikan sebagai strategi perawatan dimana pelaksanaannya didasarkan kondisi mesin itu sendiri, Untuk menentukan kondisi mesin dilakukan tindakan pemeriksaan atau monitoring secara rutin, jika terdapat tanda atau gejala kerusakan segera diambil tindakan perbaikan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, jika tidak terdapat gejala kerusakan segera pula diketahui.

Metode penentuan kondisi sistem atau mesin dilakukan melalui inspeksi atau pemeriksaan atau monitoring secara rutin, jika :

- a. Terdapat tanda gejala kerusakan segera diadakan tindakan perbaikan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.
- b. Tidak terdapat gejala kerusakan, monitoring terus berlanjut supaya jika terjadi gejala kerusakan segera diketahui sedini mungkin.

Sehingga cara kerja perawatan prediksi akan terlihat seperti gambar 2.2 dibawah ini :



Gambar 2. 2 cara kerja perawatan produksi

Sumber : Manajemen perawatan mesin industri oleh Ir. Ating Sudradjat, M.T danGriffani M. R. S.ST.,M.T. tahun 2020 halaman 29

1.2.7 Jadwal Maintenance

Menurut (Kurniawan, 2018, p. 34) Kegiatan *preventive maintenance* akan berjalan secara optimal jika perusahaan memiliki perencanaan perawatan yang baik. Perawatan rutin dan periodik harus dijadwalkan dengan baik. Perawatan tersebut harus berdasarkan penilaian yang akurat dari kondisi peralatan dengan pertimbangan prioritas dan ketersediaan sumber daya pada saat dibutuhkan. Perencanaan perawatan yang efektif dan efisien memerlukan kerjasama dari semua departemen yang terlibat. berikut merupakan beberapa tipe perawatan antara lain :

➤ Rencana perawatan tahunan

Pemeliharaan yang mencakup pemeliharaan total atau sering dikenal dengan *overhaul*. Pemeliharaan jangka panjang ini memerlukan persiapan yang matang dalam satu tahun ke depan dengan melihat riwayat mesin pada tiap bulannya. Hal yang perlu diperhatikan adalah waktu pelaksanaan *overhaul* tersebut karena tentunya peralatan produksi tidak dapat berproduksi sama sekali pada saat itu sehingga diperlukan kecepatan dan ketepatan dalam pelaksanaan *overhaul*.

➤ Rencana perawatan bulanan

Pemeliharaan peralatan produksi bulanan yang disusun dari jadwal pemeliharaan tahunan yang dalam penyusunannya harus

disesuaikan dengan jadwal produksi pada bulan yang bersangkutan sehingga tidak terjadi bentrokan.

➤ **Rencana perawatan mingguan**

Jadwal pemeliharaan peralatan produksi mingguan yang berupa pelumasan pada waktu peralatan yang akan dipakai atau setelah digunakan produksi. Pemeliharaan ini dapat dilakukan oleh operator dari peralatan produksi tersebut dengan memberikan petunjuk-petunjuk pemeliharaan terlebih dahulu kepada operator tersebut

➤ **Rencana perawatan besar**

Perencanaan perawatan yang efektif tidak dapat dicapai tanpa adanya pemahaman yang pasti tentang kondisi peralatan tersebut. Hal ini sedikit agak rumit untuk dilakukan, akan tetapi sangat bermanfaat bagi standar perencanaan perawatan.

1.2.8 Definisi *Breakdown*

Breakdown dapat didefinisikan sebagai berhentinya mesin pada saat produksi yang melibatkan *engineering* dalam proses perbaikannya, atau dengan kata lain ketika suatu mesin atau peralatan tidak dapat melakukan fungsinya lagi dengan baik, maka mesin atau peralatan tersebut dapat dikatakan mengalami kerusakan atau *breakdown*.

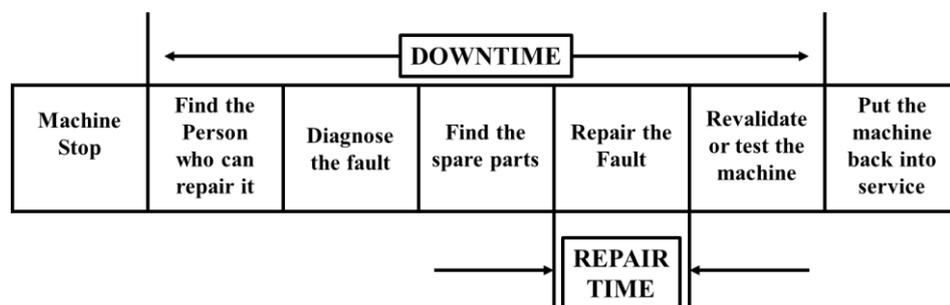
Breakdown terjadi apabila suatu mesin atau peralatan mengalami kerusakan dimana kerusakan ini akan mempengaruhi kemampuan kinerja mesin secara keseluruhan dan menyebabkan terjadinya penurunan hasil proses dan juga akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan. *Breakdown* pada mesin dan peralatan produksi biasanya disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut :

- Gesekan, umur mesin, kelonggaran, kebocoran
- Debu, kotoran, bahan baku.
- Karat, perubahan bentuk, cacat, retak.
- Suhu, getaran, dan faktor kimia.
- Kelemahan rancangan.
- Kurang perawatan pencegahan.

- Kesalahan operasional.
- Perbaikan sementara sebelumnya tidak sempurna.
- Kualitas *sparepart* (komponen) yang rendah
- Dan faktor – faktor lainnya.

1.2.9 Definisi Downtime

(Gaspersz, 1998) Pada dasarnya *downtime* didefinisikan sebagai waktu suatu komponen sistem tidak dapat digunakan (tidak berada dalam kondisi yang baik), sehingga membuat fungsi sistem tidak berjalan. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen sistem berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting. Menurut (Hadi, 2015, p. 116) *Downtime* adalah jumlah total waktu dimana aset tidak bekerja karena kegagalan fungsi, sejak saat berhenti sampai saat kembali bekerja lagi secara penuh.



Gambar 2. 3 Downtime

Downtime seperti yang didefinisikan diatas dapat sangat bervariasi untuk kejadian yang berbeda-beda dari kegagalan yang sama. Konsekuensi-konsekuensi yang serius biasanya disebabkan oleh waktu *outages* yang lama.

Pembahasan berikut akan difokuskan pada proses pembuatan keputusan penggantian komponen sistem yang meminimumkan *downtime*, sehingga tujuan utama dari manajemen sistem perawatan untuk memperpendek periode kerusakan sampai batas minimum dapat dicapai. Penentuan tindakan *preventif* yang optimum dengan meminimumkan

downtime akan dikemukakan berdasarkan interval waktu penggantian (*replacement interval*). Tujuan untuk menentukan penggantian komponen yang optimum berdasarkan interval waktu, t_p , diantara penggantian *preventif* dengan menggunakan kriteria meminimumkan total *downtime* per unit waktu.

Beberapa unsur di dalam konsep *downtime*:

1.2.9.1 *Maintenance delay*

Maintenance delay merupakan waktu yang diperlukan untuk menunggu ketersediaannya sumber daya *maintenance* yang akan melakukan proses perbaikan. Sumber daya *maintenance* dapat berupa teknisi, peralatan bantu, alat pengetesan dan komponen pengganti.

1.2.9.2 *Supply delay*

Supply delay merupakan waktu yang dibutuhkan oleh *personel maintenance* untuk memperoleh komponen yang diperlukan dalam melakukan proses perbaikan. *Supply delay* terdiri dari *lead time* administrasi, *lead time* produksi, dan waktu transportasi komponen ke lokasi perbaikan.

1.2.9.3 *Access time*

Access time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh akses ke komponen yang mengalami kerusakan.

1.2.9.4 *Diagnosis time*

Diagnosis time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan yang terjadi serta mempersiapkan langkah-langkah yang diperlukan untuk memperbaiki kerusakan.

1.2.9.5 *Repair atau replacement time*

Repair atau replacement time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki mesin agar mampu menjalankan fungsinya kembali dengan baik setelah mengetahui permasalahan dan mengakses ke komponen yang rusak.

1.2.9.6

Verification and alignment

Verification and alignment merupakan waktu yang digunakan untuk memastikan bahwa fungsi dari suatu mesin atau peralatantelah kembali seperti kondisi semula.

1.2.10 Biaya Perawatan

(A. Sudradjat, 2011, p. 92) Bentuk dari biaya ini diklasifikasikan sebagai biaya perawatan dan perbaikan. Biaya / ongkos perawatan dalam undang-undang perpajakan didefinisikan sebagai pengeluaran atau belanja untuk perbaikan dan pemulihan dari kinerja peralatan, dalam hal ini masih mencakup pemotongan biaya, Akan tetapi biaya perawatan dalam kenyataannya di lapangan meliputi banyak faktor dan tidaklah mudah. Apabila suatu instalasi sistem baru dan mulai dioperasikan sistem tersebut saat awal pengoperasian tidak terlalu penting untuk diperhatikan, dan biasanya kerusakan yang terjadi diakibatkan oleh kesalahan desain atau manufaktur, Dalam banyak kasus, penggantian *spare parts* atau perbaikan kecil atau modifikasi umumnya akibat dari kurang baiknya spesifikasi peralatan tersebut, dan oleh karenanya untuk setiap peralatan baru perlu mempunyai anggaran biaya sendiri. Namun dalam prakteknya, ongkos yang terjadi sering digunakan untuk melakukan perbaikan. Dan apabila peralatan melewati periode kegagalan awal (*spontaneous failure periode*), dan bila memasuki periode kegagalan pemakaian (*wear lailure periode*), diperbaiki atau modifikasi kadangkala menerapkan sistem pelaporan penggunaan ongkos tetap (*fixed asset account*) termasuk laporan seluruh biaya perbaikan dengan anggapan bahwa semua perbaikan kecil dan modifikasi kecil termasuk ke dalam biaya perbaikan. Pertimbangannya, dapat dipahami bahwa cakupan dari biaya perawatan memungkinkan akan terjadi perubahan

Klasifikasi Biaya Perawatan Biaya perawatan dan perbaikan secara finansial dapat diklasifikasikan sebagai "Ongkos Pengeluaran" (*expenses- ex penditure*) dan secara umum diklasifikasikan kedalam biaya material, biaya buruh, biaya pembayaran perbaikan dan sebagainya. Dari sudut

Pandang kontrol anggaran perbaikan, ongkos perawatan dapat di klasifikasikan meliputi:

➤ Klasifikasi berdasarkan pekerjaan:

Pekerjaan mekanik, pekerjaan listrik, pemipaan, pekerjaan instrumentasi, pekerjaan sipil dan arsitek, kendaraan dan lain-lain,

➤ Klasifikasi berdasarkan ukuran dari pekerjaan:

Pekerjaan besar, bermacam-macam pekerjaan kecil dan lain-lain.

➤ Klasifikasi berdasarkan kegunaannya seperti:

- Kegagalan perawatan pencegahan seperti pengecekan pelumas dan pelumasan
- Kesalahan pengukuran seperti pengukuran inspeksi
- Kesalahan restorasi seperti perbaikan, *overhaul* dan peningkatan kinerja

➤ Klasifikasi berdasarkan perencanaan:

Perawatan *breakdown*, perawatan *preventif*, dan perawatan korektif,

➤ Klasifikasi berdasarkan item biaya

Biaya ini diklasifikasikan untuk biaya pembelian material, biaya buruh dalam perusahaan dan ongkos yang harus dikeluarkan diluarongkos-ongkos perbaikan, tetapi biaya material tidak hanya dalam bentuk satu laporan keuangan.

Dengan demikian pola perawatan yang optimal perlu dicari supaya antara biaya perawatan dan biaya kerusakan bisa seimbang pada total *cost* yang paling minimal. *Preventive Cost* merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang memang sudah dijadwalkan Sedangkan menyebabkan mesin produksi terhenti pada waktu produksi sedang berjalan.

BAB.II.Total Productive Maintenance

Menurut Fajar Kurniawan (Kurniawan, 2018, p. 11) *Total Productive Maintenance* atau biasa disebut dengan TPM merupakan suatu aktivitas perawatan yang mengikutsertakan semua elemen dari perusahaan, yang bertujuan untuk mencapai *zero breakdown*, *zero defect*, dan *zero*

accident. TPM bisa diartikan dengan hubungan kerjasama antara perawatan dan manajemen organisasi secara menyeluruh, melibatkan semua orang mulai dari manajemen tertinggi sampai operator lantai produksi untuk meningkatkan produksi, mengurangi biaya produksi, memperpanjang umur peralatan. TPM dikembangkan pertama kali di Jepang pada tahun 1971 yang bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan peralatan, dan memantapkan sistem perawatan preventif yang dirancang untuk keseluruhan peralatan dengan mengimplementasikan suatu aturan dan memberikan motivasi kepada seluruh bagian yang berada di perusahaan tersebut. TPM merupakan pengembangan baru yang berawal dari pemeliharaan preventif. Digunakan untuk maksimalisasi efektivitas peralatan melalui keterlibatan karyawan. Pemeliharaan secara otonom oleh operator dengan melakukan kegiatan kelompok kecil untuk meningkatkan kehandalan peralatan, pemeliharaan dan produktivitas.

BAB.III.Konsep hubungan waktu dalam perawatan

Menurut Jr. Parton (1995) dalam (Santoso & Chairul, n.d.) ada beberapa istilah dalam *maintenance* yang sering digunakan. Keterangan istilah tersebut antara lain:

a) Up Time

Waktu (*period of time*) dimana mesin / peralatan ada dalam kondisi baik yang dapat melakukan fungsi seperti seharusnya (melakukan fungsi dalam kondisi yang ditetapkan dan dengan *maintenance* yang ditetapkan pula).

b) Downtime Mesin

Downtime mesin adalah suatu kondisi dimana mesin/peralatan tidak dapat melakukan fungsinya. *Downtime* mesin dapat dihitung mulai dari berhentinya mesin/ peralatan sampai dengan berjalan kembali sesuai fungsinya setelah ada upaya perbaikan.

c) Operating Time

Waktu (*period of time*) dimana mesin melakukan fungsi seperti seharusnya.

$OPERATING TIME < UPTIME$

d) *Standby Time*

Waktu (*period of time*) dimana mesin berada dalam kondisi untuk dapat berfungsi seperti seharusnya, tetapi mesin tidak dioperasikan.

$Up Time = Operating Time + Standby Time$

e) *Maintenance Time*

Waktu dimana kegiatan *maintenance* dilakukan termasuk *delay* yang terjadi selama pelaksanaan kegiatan.

f) *Active Maintenance Time*

Bagian dari *maintenance time*, dimana kegiatan/ pekerjaan *maintenance* benar-benar dilakukan.

g) *Logistic Time*

Waktu dalam *downtime*, dimana kegiatan *maintenance* belum dapat dimulai karena alasan logistik.

h) *Administrative Time*

Waktu dalam *downtime*, dimana kegiatan *maintenance* belum dapat dimulai karena alasan administratif.

i) *Corrective Maintenance Time*

Waktu dalam aktif *maintenance time*, dimana dilakukan kegiatan *corrective maintenance*.

j) *Preventive Maintenance Time*

Waktu dalam aktif *maintenance time*, dimana dilakukan kegiatan *preventive maintenance*.

BAB.IV.Definisi Keandalan (*Reliability*)

Perawatan komponen atau peralatan tidak bisa lepas dari pembahasan mengenai keandalan (*reliability*). Selain keandalan merupakan salah satu ukuran keberhasilan sistem perawatan juga keandalan digunakan untuk menentukan penjadwalan perawatan sendiri. Akhir-akhir

ini konsep keandalan digunakan juga pada berbagai industri, misalnya dalam penentuan jumlah suku cadang dalam kegiatan perawatan. Ukuran keberhasilan suatu tindakan perawatan (*maintenance*) dapat dinyatakan dengan tingkat *reliability*.

Menurut (Ebeling, 1997, p5) dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem dapat beroperasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan pada suatu kondisi tertentu dan waktu yang telah ditentukan.

Menurut Birolini (Birolini, 2017) *reliability* dapat didefinisikan sebagai karakteristik probabilitas suatu sistem dapat melakukan fungsinyadalam kondisi tertentu dan waktu yang telah ditentukan. Secara umum *reliability* dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem atau produk dapat beroperasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan pada suatu kondisi tertentu dan waktu yang telah ditentukan, Tujuan utama daristudi keandalan adalah untuk memberikan informasi sebagai basis untuk mengambil keputusan.

Selain itu teori *reliability* dapat digunakan untuk memprediksi kapan suatu komponen pada suatu mesin akan mengalami kerusakan, sehingga dapat menentukan kapan harus dilakukan perawatan, pergantian dan penyediaan komponen.

Terdapat 4 elemen yang signifikan dengan konsep *reliability*, antara lain:

1) *Probability* (peluang)

Setiap komponen memiliki umur atau waktu yang berbeda antara satu dengan yang lainnya sehingga terdapat sekelompok komponen yang memiliki rata-rata kualitas atau ketahanan tertentu. Jadi untuk mengidentifikasi distribusi frekuensi dari komponen dapat dilakukan dengan cara melakukan estimasi hidup dari komponen agar diketahui umur pemakaiannya sudah berapa lama.

2) *Performance* (kinerja)

Kehandalan merupakan suatu karakteristik yang harus dimiliki suatu sistem, dimana suatu sistem yang andal harus dapat

menunjukkan performansi yang memuaskan jika dilakukan pengoperasian.

3) *Time* (waktu)

Reliability atau kehandalan suatu sistem dapat dinyatakan dalam suatu periode waktu tertentu karena merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu sistem. Peluang suatu *item* untuk digunakan selama satu tahun berbeda dengan peluang *item* yang digunakan dalam sepuluh tahun. Biasanya faktor waktu berkaitan dengan kondisi tertentu, seperti jangka waktu mesin selesai diperbaiki sampai mesin rusak kembali (*mean time to failue*) dan jangka waktu mesin mulai rusak sampai mesin tersebut diperbaiki (*mean time torepair*).

4) *Condition* (Kondisi)

Perlakuan yang diterima oleh suatu sistem dalam menjalankan fungsinya dalam arti bahwa dua buah sistem dengan tingkat mutu yang sama dapat memberikan tingkat kehandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya. Misalnya kondisi temperatur, keadaan atmosfer dan tingkat kebisingan di mana sistem di operasikan.

Kriteria yang sangat berkaitan dengan *reliability* adalah *failure*. *Failure* adalah suatu titik waktu dimana sistem tidak lagi dapat berfungsi dengan baik (proper). Sedangkan variabel yang sangat penting yang berkaitan dengan *reliability* adalah waktu (*time*). Waktu digunakan untuk menyatakan *rate of failure* (ROF) dan sebagian besar fenomena *reliability* dapat dipahami melalui *rate of failure*nya. Sehingga *reliability* sebagai fungsi dari waktu (*failure rate*).

Keandalan dari suatu sistem seringkali dinyatakan dalam bentuk angka yang menyatakan ekspektasi masa pakainya. Rata-rata waktu kerusakan disebut dengan *Mean Time To Failure* (MTTF). Hanya dipergunakan pada komponen atau peralatan yang sekali mengalami

kerusakan harus diganti dengan komponen atau peralatan yang masih barudan baik. Untuk komponen yang diperbaiki saja dan ada kemungkinan fail lagi maka waktu antar kerusakannya disebut MTBF (*Mean Time Between Failure*).

2.2.1 Konsep Perawatan (*Maintainability*)

Perawatan (*maintainability*) didefinisikan sebagai probabilitas bahwa komponen atau sistem yang rusak akan diperbaiki kembali pada kondisi yang telah ditentukan selama jangka waktu tertentu, ketika dilakukan pemeliharaan sesuai dengan prosedur yang ada (Ebeling, 1997, p. 6)

Maintainability sangat berhubungan dengan *availability*, karena *maintainability* mempengaruhi tingkat *availability* secara langsung. Dalam memperbaiki kerusakan dan menyelesaikan *preventive maintenance* biasanya waktu yang ada diambil dari sistem *available state* yang ada. Jaditerdapat hubungan yang sangat erat antara *reliability* dengan *maintainability*, dimana yang satu mempengaruhi yang lainnya dan kedua-duanya mempengaruhi *availability* dan *cost* yang ada. (Taylor, 2011, p. 164)

$$\text{System Availability} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \dots\dots\dots (6)$$

2.2.2 Konsep Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan (*availability*) didefinisikan sebagai probabilitas bahwa komponen atau sistem beroperasi sesuai dengan fungsi yang diperlukan pada titik waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasi yang telah ditetapkan (Ebeling, 1997, p. 6)

(A. Sudradjat, 2011, p. 88) *Availability* adalah probabilitas suatu komponen atau sistem yang dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya dalam keadaan normal apabila tindakan pencegahan dan pemeriksaan dilakukan. *Availability* total meliputi penggantian, pencegahan dan pemeriksaan dalam arti *availability* merupakan proporsi waktu teoritis yang tersedia untuk komponen dalam sistem dapat beroperasi dengan baik.

$$\text{Availability} = \frac{\text{Waktu total} - \text{Downtime}}{\text{Waktu total}} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

Waktu total adalah seluruh waktu yang digunakan untuk beroperasi, sedangkan *downtime* meliputi seluruh jadwal dan nonjadwal *downtime*, tetapi bukan waktu *idle*.

2.2.3 Laju Kerusakan (*Failure Rate*)

Menurut (Ebeling, 1997, p. 29) Laju kerusakan adalah kecepatan suatu mesin atau komponen mencapai kondisi tidak beroperasi atau rusak yang dinyatakan dalam persamaan berikut.

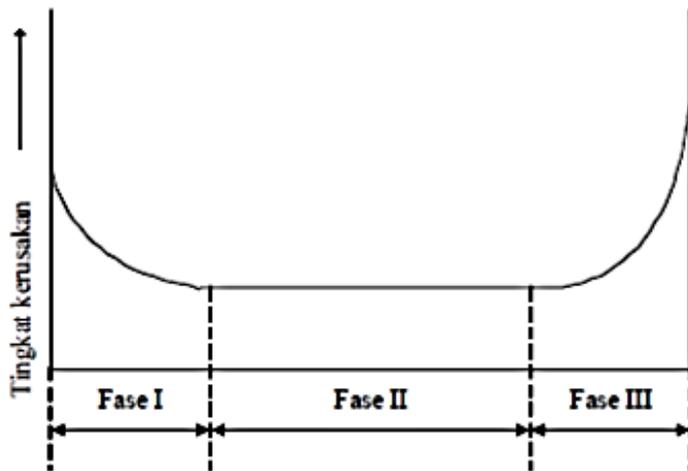
$$\lambda (t) = \frac{f (t)}{R (t)} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan : $f(t)$ merupakan distribusi dari suatu kumpulan data

$R(t)$ merupakan fungsi reliabilitas.

Laju kegagalan dalam beberapa kasus dapat ditunjukkan sebagai penambahan atau *increasing failure rate* (IFR), sebagai penurunan atau *decreasing failure rate* (DFR), dan sebagai konstan atau *constant failure rate* (CFR), pada saat fungsi laju kegagalan $\lambda(t)$ adalah fungsi penambahan, penurunan atau konstan. Konsep laju kegagalan dilatarbelakangi oleh banyak komponen atau sistem rekayasa yang ternyata menunjukkan perilaku $\lambda(t)$ mengikuti *bathub curve*.

Menurut (Ebeling, 1997, p. 31), kurva *bathub* memiliki tiga area dengan karakteristik tertentu dari kegagalan atau kerusakan pada produk, mesin ataupun fasilitas sehubungan dengan waktu dapat digambarkan seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Bathtub curve

(Sumber: Charles Ebeling, 1997)

Dari gambar di atas kita dapat membaginya ke dalam tiga fase yaitu:

1. Fase I:

Kerusakan awal (*burn-in / early failures / wear in region*) Wilayah dimana mesin baru mulai digunakan. Pada wilayah ini resiko kerusakan berada pada tingkat yang menurun. Terdapat beberapa alasan yang menyebabkan terjadinya kerusakan awal ini, diantaranya yaitu pengecekan yang tidak sesuai, pengendalian kualitas yang tidak terpenuhi, material di bawah standar, ketidaksempurnaan perancangan, kesalahan dalam pemasangan dan *set up*, kurangnya kemampuan pekerja dan *Quality Control* yang tidak memenuhi syarat.

2. Fase II:

Kerusakan acak (*Random Failure*) Daerah ini ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Fase ini sering juga disebut *Usefull Life Period*. Pada wilayah ini kerusakan sulit diprediksi dan cenderung terjadi secara acak. Contoh penyebab kerusakan pada wilayah ini adalah kesalahan

dalam operasional mesin oleh pekerja ataupun perubahan kondisi mesin secara tiba-tiba.

3. Fase III:

Keausan (*wareout*), merupakan wilayah dimana umur ekonomis dari mesin telah habis dan melewati batas yang diizinkan. Pada fase ini resiko kerusakan akan meningkat (*increasing hazard rate*). Penyebab kerusakan pada wilayah ini umumnya adalah kurangnya perawatan, karena telah dipakai terlalu lama sehingga terjadi karat, keausan, gesekan atau perubahan pada fisik mesin tersebut. Pada wilayah ini *preventive maintenance* sangat diperlukan untuk menurunkan tingkat kerusakan yang terjadi.

2.2.4 Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR)

Menurut (A. Sudrajat, 2011, p. 89) MTTF (*Mean Time to Failure*), adalah waktu rata-rata terjadinya kerusakan dari suatu peralatan atau mesin atau bisa juga dikatakan sebagai waktu kemampuan mesin dan peralatan untuk beroperasi. MTTF ini umumnya digunakan untuk mengetahui berapa lama mesin dapat dioperasikan sampai tidak dapat digunakan lagi. Dengan mengukur rata-rata kelebihan waktu yang digunakan dalam penjadwalan produksi tanpa terjadi gangguan.

$$MTTF = \frac{\text{Waktu total} - \text{Downtime} - \text{waktu yang tidak dimanfaatkan}}{\text{Jumlah kerusakan}} \quad (9)$$

Sedangkan MTTR (*Mean Time to Repair*) merupakan waktu rata-rata yang digunakan untuk melakukan perbaikan. rata-rata untuk memperbaiki peralatan atau mesin agar dapat beroperasi kembali, meliputi waktu pemberitahuan, waktu pemindahan, waktu diagnosa, waktu memperbaiki, waktu tunggu (untuk suku cadang), waktu perakitan kembali, dan waktu pengetesan. MTTR juga mengukur berapa lama operasi akan keluar dari produksi, yang mengindikasikan efek pada perawatan laju produksi.

$$MTTR = \frac{\text{total waktu terhentinya mesin akibat kerusakan (tidak terjadwal)}}{\text{Jumlah kerusakan}} \quad (10)$$

(Ega, zhafran & alhilman, Judi & atmaji, 2018, p. 4)

2.2.5 Mean Time Between Failure (MTBF)

Mean time between failure (Torell & Avelar, 2010) adalah ukuran dasar dari keandalan sistem. *Mean time between failure* merupakan wakturata-rata yang dibutuhkan oleh sistem untuk bekerja tanpa mengalami kegagalan dalam periode tertentu. *Mean time between failure* biasanya direpresentasikan dalam satuan jam. Semakin tinggi jumlah *Mean time between failure*, semakin tinggi keandalan suatu sistem atau produk. Bagi produsen, nilai *Mean time between failure* ini sangat penting dalam proses pengambilan keputusan.

karena dari nilai *Mean time between failure* ini maka dapat diketahui masa hidup suatu sistem atau produk. Pengambilan keputusan ini menyangkut pemilihan produk yang nantinya akan digunakan untuk mendukung suatu sistem yang ada. Nilai *Mean time between failure* dapat dihitung atau diukur dengan membagi antara total waktu masa optimal dengan jumlah kerusakan yang terjadi. Berikut persamaan untuk menghitung nilai *Mean time between failure* :

$$\text{MTBF} = \frac{\sum t_{\text{UpTime}}}{n} \dots\dots\dots (14)$$

MTBF = *Mean Time Between Failure*

tUpTime = Waktu optimal

n = Jumlah kerusakan yang terjadi

Berdasarkan formulanya, *Mean Time Between Failure* dapat diperoleh dengan membagi masa optimal suatu perangkat atau sistem dengan jumlah kerusakan yang pernah terjadi.

(Ega, zhafran & alhilman, Judi & atmaji, 2018)

BAB.V.Penentuan komponen kritis

Komponen kritis adalah kondisi suatu komponen yang berpotensi mengalami kerusakan yang berpengaruh pada keandalan operasional unit sistem. Penilaian komponen kritis dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan *critical analysis* dengan menggunakan empat kriteria yaitu :

1. Frekuensi kerusakan tinggi

Frekuensi kerusakan yang tinggi pada suatu komponen jika tidak segera dilakukan tindakan perbaikan dapat merambat ke komponen utama yang berpotensi menimbulkan unit tidak dapat beroperasi (*breakdown*).

2. Dampak kerusakan pada sistem

Apabila terjadi kerusakan pada komponen akan menyebabkan sistem tidak berfungsi maksimal atau gagal melaksanakan fungsinya.

3. Pembongkaran dan pemasangannya sulit

Penggantian terhadap komponen yang rusak harus dilakukan pembongkaran, komponen diperbaiki atau diganti yang baru, lalu dilakukan pemasangan kembali. Faktor yang mempengaruhi kriteria ini antara lain :

- 1) Posisi komponen
- 2) Alat yang digunakan untuk pembongkaran
- 3) Waktu yang diperlukan
- 4) Mekanik yang berpengalaman
- 5) Biaya jasa

4. Harga komponen mahal

Harga komponen disebut mahal apabila harga komponen tersebut di atas harga rata-rata seluruh komponen yang ada pada satu mesin.

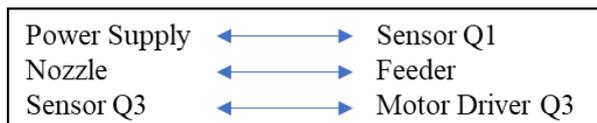
Menurut (Martasari et al., 2017) Pemilihan subsistem kritis bertujuan untuk memfokuskan cakupan penelitian dalam menentukan subsistem yang memiliki dampak tertinggi bagi kelangsungan produksi, sehingga subsistem tersebut dapat diprioritaskan oleh perusahaan agar dapat menentukan strategi perawatan dari subsistem / komponen terpilih untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi atau kerusakan

BAB.VI.Metode *Modularity Design*

(Gershenson et al., 1999, p. 13) *Modularity Design* adalah suatu konsep yang biasa digunakan pada proses medesain suatu produk dan konsep ini akan diadaptasi ke dalam sistem *maintenance*. Modularisasi adalah melakukan pengelompokan produk dalam bentuk suatu unit yang berbeda berdasarkan fungsinya untuk memudahkan pemindahan dan penggantian. Dengan sistem yang modular, sistem dapat menghasilkan teknik yang menguntungkan dan solusi dalam perekonomian pabrik. Pengembangan modular hanya dimulai ketika awalnya dipahami sebagai sebuah produk individu atau ukuran jarak dan pada pengembangan ini diharapkan akan menghasilkan sejumlah besar varian.

1) *Modularity Design* berdasarkan Hubungan Sebab-Akibat

Menurut (Silalahi et al., n.d., p. 4) Pada proses modularity berbasis hubungan sebab-akibat disini, penggabungan komponen-komponen yang berhubungan ini merupakan penggabungan terhadap komponen yang memiliki sifat hubungan dua arah dari satu komponen terhadap komponen lainnya yang bersangkutan. Melalui penafsiran yang didapatkan dari gambar diatas maka akan diperoleh hubungan sebab-akibat yang bersifat dua arah pada beberapa komponen. Pada gambar 2 dibawah ini akan digambarkan beberapa contoh hubungan yang memiliki hubungan sebab-akibat bersifat dua arah.



Gambar 2. 5 Hubungan sebab-akibat bersifat dua arah

Apabila dilihat dari hubungan dari komponen diatas, maka komponen-komponen akan dapat dikelompokkan menjadi :

- Modul I : Power Supply - Sensor Q1
- Modul II : Nozzle - Feeder
- Modul III : Sensor Q3 – Motor Driver Q3

Keuntungan modularisasi pada sistem *maintenance* adalah

1. Rancangan peralatan yang baru lebih mudah.
2. Mengurangi biaya dan waktu pelatihan tenaga kerja perawatan.
3. Kemudahan dalam perawatan.
4. Penurunan waktu perawatan.
5. Kebutuhan kemampuan (*skill*) yang rendah untuk memindahkan unit yang modular.
6. Penurunan kegagalan peralatan.
7. Isolasi.
8. Pemindahan dari unit yang gagal menjadi lebih mudah

Rumus total biaya / total *cost* sebagai berikut :

T. biaya kerugian tidak produksi= (TBTP 1 x JPM 1) + (TBTP 2 x JPM2) + (TBTP 3 x JPM 3) + (TBTP 4x JPM 4)

TBTP 1= Total Biaya kerugian tidak Produksi Modul 1JPM 1= jumlah pemeriksaan modul 1

TBTP 2= Total Biaya kerugian tidak Produksi Modul 2JPM 2 = jumlah pemeriksaan modul 2

TBTP 3= Total Biaya kerugian tidak Produksi Modul 3JPM 3 = jumlah pemeriksaan modul 3

TBTP 4= Total Biaya kerugian tidak Produksi Modul 4JPM 4 = jumlah pemeriksaan modul 4

T. Biaya operator menganggur = (TBOM 1 x JPM 1)+(TBOM 2 x JPM 2)+ (TBOM 3 x JPM 3)+(TBOM 4 x JPM 4)

TBOM 1= Total Biaya Operator menganggur modul 1JPM 1= jumlah pemeriksaan modul 1

TBOM 2= Total Biaya Operator menganggur modul 2JPM 2= jumlah pemeriksaan modul 2

TBOM 3= Total Biaya Operator menganggur modul 3JPM 3= jumlah pemeriksaan modul 3

TBOM 4= Total Biaya Operator menganggur modul 4

JPM 4= jumlah pemeriksaan modul 4

T. B. perbaikan/penggantian = ((TBP 1 + TBK 1) + (TBP 2 + TBK 2) + (TBP 3 + TBK 3) + (TBP 4 + TBK 4))

TBP 1= Total Biaya Perbaikan/penggantian modul 1
TBK 1 = Total Biaya kirim modul 1

TBP 2= Total Biaya Perbaikan/penggantian modul 2
TBK 2 = Total Biaya kirim modul 2

TBP 3= Total Biaya Perbaikan/penggantian modul 3
TBK 3 = Total Biaya kirim modul 3

TBP 4= Total Biaya Perbaikan/penggantian modul 4
TBK 4 = Total Biaya kirim modul 4

T. biaya mekanik= (TBMPH 1 x MTTR 1) + (TBMPH 2 x MTTR 2)
+ (TBMPH 3 x MTTR 3) + (TBMPH 4 x MTTR 4)

TBMPH 1= Total biaya mekanik perjam modul 1
MTTR 1 = Mean

Time To Repair modul 1
TBMPH 2 = Total biaya Mekanik perjam modul 2

MTTR 2= Mean Time To Repair modul 2
TBMPH 3= Total biaya mekanik perjam modul 3
MTTR 3 = Mean Time To Repair modul 3

TBMPH 4= Total biaya mekanik perjam modul 4
MTTR 4 = Mean Time To Repair modul 4

TC awal= (A + B) + (C + D + E) + F

A= T. biaya kerugian tidak produksi
B = T. Biaya operator

menganggur
C= T. biaya perbaikan

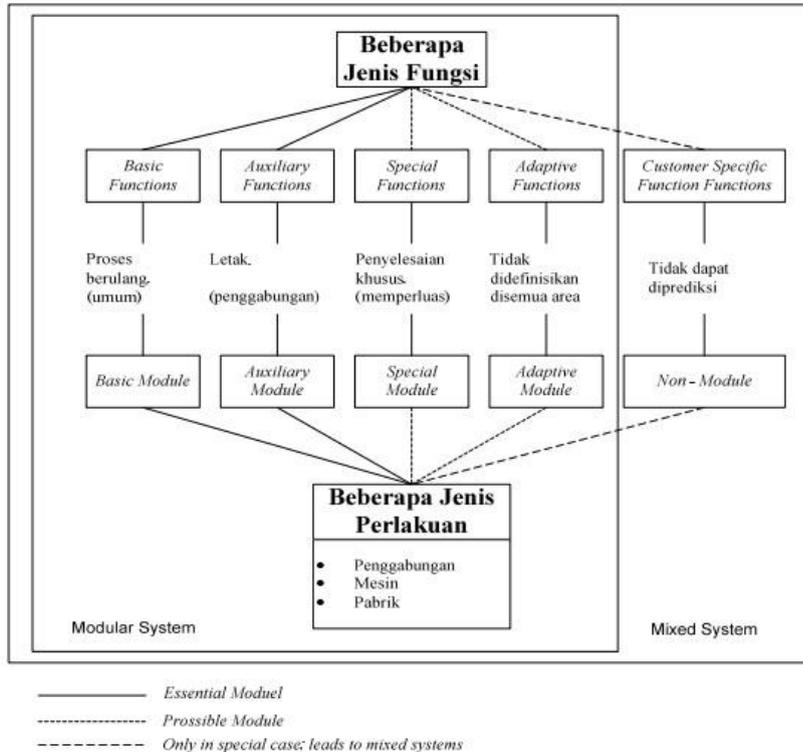
D= T. biaya penggantian

E= T. biaya pengiriman penggantian
F = T. biaya mekanik

TC perbulan = $\frac{TC\ awal}{Jumlah\ bulan\ pengamatan}$

2) *Modularity Design* berdasarkan Hubungan fungsi dasar

Berikut merupakan bagan yang akan menjelaskan beberapa tipe modul dan fungsinya.



Gambar 2. 6 Fungsi dan Tipe Modul pada Sistem Modular dan *Mixed* Sistem

Pengertian dari fungsi dan tipe modul pada sistem modular dan *mixed* sistem (G. Pahl, 2017, p. 496) :

a) *Basic Function* : dasar dari tiap sistem.

Basic function tidak berupa variabel. Fungsi ini dapat memenuhi kebutuhan fungsi lainnya atau berkombinasi. Fungsi ini diterapkan pada *basic module* yang dapat berupa beberapa ukuran, tahapan dan tahapan akhir. *Basic module* bersifat “penting”

b) *Auxiliary Function*

dilakukan dengan menempatkan atau menyatukan beberapa *auxiliary module* yang tersimpan dalam langkah *basic module* dan kadang- kadang bersifat “penting”.

c) *Special Function*

melengkapi dan menspesifikais tugas dari *sub-function* yang tidak muncul pada beberapa jenis *functions*. Fungsi ini dikerjakan pada *special modules* dan mempunyai tipe “kemungkinan”.

d) Adaptive Function

perlu dilakukan untuk adaptasi terhadap sistem lainnya dan kondisi yang marjinal. Fungsi ini dilakukan dengan *adaptive module* dengan dimensi yang berubah-ubah dan dimungkinkan untuk keadaan yang tidak terduga. *Adaptive modules* termasuk tipe yang “penting” atau tipe “kemungkin”.

e) Customer-specific Function

Tidak disediakan dalam sistem modular karena akan terjadi perbaikan dan pengembangan yang berkali-kali. Sistem seperti ini dikerjakan oleh *non-modules* yang harus didesain secara individual untuk tugas yang spesifik. Dan pada saat sistem ini digunakan maka berupa gabungan dari beberapa modul dan non-modul.

Terdapat 6 macam kemungkinan hubungan atau modular antara kesamaan dan ketergantungan antara komponen yaitu :

- 1) Komponen yang satu dengan komponen yang saling bergantung.
Terjadi pada saat 2 komponen yang saling bergantung karena desain fisik, spesifikasi dalam atributnya. Contoh : *Gear* yang berpasangan dengan *shaft*. *Gear* dan *shaft* adalah 2 komponen yang berbeda, akan tetapi ukuran diameter lubang dari *gear* dan diameter dari *shaft* saling berhubungan erat.
- 2) Komponen yang satu dengan komponen yang sama. Hubungan ini tidak digunakan karena tidak mengikat desain yang masih sama sehingga pada saat satu berubah yang lain berubah dengan bentuk yang sama.
- 3) Komponen dengan proses yang saling bergantung.
Desain produk bergantung pada proses daur hidup. Apabila proses yang sama menghasilkan dua komponen yang berbeda, komponen tersebut harus dikelompokkan dalam modul yang sama sehingga

dapat dilakukan pada proses yang sama dan meminimalisasi efek terhadap komponen yang lain. Contoh : *dial tuner* dan tombol *power* pada *stereo*, dua komponen yang sama sekali tidak terkait tetapi menjalani proses manufaktur yang sama.

- 4) Komponen dengan proses yang sama. Pengelompokkan komponen yang mengalami proses siklus kehidupan yang sama dalam satu modul untuk mengurangi dampak dari perubahan produk.
Contoh : 2 komponen serat gelas dari sepeda motor yaitu spatbor depan dan belakang.
- 5) Proses dengan proses yang saling bergantung dan
- 6) Proses dengan proses yang sama, Kedua proses ini tidak mempengaruhi desain produk secara langsung karena mengesampingkan interaksi antara komponen dan tidak termasuk kedalam ukuran modularitas dan metodologi desain.

Diketahui *modularity* dalam perawatan berarti modul-modul yang digunakan, diterapkan dengan tanpa adanya perubahan dalam konsep dasar dari peralatan. Dan modul (*modules*) adalah berupa unit yang dapat dideskripsikan secara fungsional dan secara esensial independen (tidak terkait) Operator juga mendapatkan keuntungan dengan sistem modular yaitu :

- 1) Waktu pengiriman yang lebih pendek.
- 2) Memiliki beberapa kemungkinan dalam perubahan dan kemudahan dalam *maintenance*.
- 3) Memiliki komponen cadangan yang siap.
- 4) Memiliki jangkauan dan perubahan fungsi yang lebih luas.
- 5) Dapat menghilangkan faktor kegagalan pada produksi.

Keuntungan modularisasi pada sistem *maintenance* adalah

1. Rancangan peralatan yang baru lebih mudah.
2. Mengurangi biaya dan waktu pelatihan tenaga kerja perawatan.
3. Kemudahan dalam perawatan.
4. Penurunan waktu peraw

5. Kebutuhan kemampuan (*skill*) yang rendah untuk memindahkan unit yang modular.
6. Penurunan kegagalan peralatan.
7. Isolasi.
8. Pindahan dari unit yang gagal menjadi lebih mudah

Rumus total biaya / total cost sebagai berikut :

T. biaya kerugian tidak produksi= (TBTP 1 x JPM 1) + (TBTP 2 x JPM 2) + (TBTP 3 x JPM 3)

TBTP 1= Total Biaya kerugian tidak Produksi Modul 1
JPM 1= jumlah pemeriksaan modul 1

TBTP 2= Total Biaya kerugian tidak Produksi Modul 2
JPM 2 = jumlah pemeriksaan modul 2

TBTP 3= Total Biaya kerugian tidak Produksi Modul 3
JPM 3 = jumlah pemeriksaan modul 3

T. Biaya operator mengganggu= (TBOM 1 x JPM 1) + (TBOM 2 x JPM 2) + (TBOM 3 x JPM 3)

TBOM 1= Total Biaya Operator mengganggu modul 1
JPM 1= jumlah pemeriksaan modul 1

TBOM 2= Total Biaya Operator mengganggu modul 2
JPM 2 = jumlah pemeriksaan modul 2

TBOM 3= Total Biaya Operator mengganggu modul 3
JPM 3 = jumlah pemeriksaan modul 3

T. B. perbaikan/penggantian = ((TBP 1 + TBK 1) + (TBP 2 + TBK 2)+(TBP 3 + TBK 3))

TBP 1 = Total Biaya Perbaikan/penggantian modul 1

TBK 1 = Total Biaya kirim modul 1

TBP 2 = Total Biaya Perbaikan/penggantian modul 2

TBK 2 = Total Biaya kirim modul 2

TBP 3 = Total Biaya Perbaikan/penggantian modul 3

TBK 3 = Total Biaya kirim modul 3

T. biaya mekanik= (TBMPH 1 x MTTR 1) + (TBMPH 2 x MTTR 2)

+ (TBMPH 3 x MTTR 3)

TBMPH 1= Total biaya mekanik perjam modul 1 MTTR 1= *Mean Time To*

Repair modul 1 TBMPH 2= Total biaya Mekanik perjam modul 2 MTTR 2=

Mean Time To Repair modul 2 TBMPH 3= Total biaya mekanik perjam modul

3 MTTR 3= *Mean Time To Repair* modul 3

TC awal= (A + B) + (C + D + E) + F

A= T. biaya kerugian tidak produksi B= T. Biaya operator

menganggur C= T. biaya perbaikan

D= T. biaya penggantian

E= T. biaya pengiriman penggantian F= T. biaya mekanik

TC perbulan =
$$\frac{TC\ awal}{Jumlah\ bulan\ pengamatan}$$

BAB.VII.Distribusi Kerusakan

Distribusi kerusakan menurut (Ebeling, 1997), adalah informasi dasar mengenai umur pakai suatu peralatan dalam suatu populasi distribusi yang sering digunakan adalah Eksponensial, lognormal, normal, dan weibull. (Ebeling, 1997), juga menegaskan bahwa distribusi kerusakan inidapat memenuhi berbagai fase kerusakan jika sampelnya tergolong kecil maka penaksiran parameter distribusi dilakukan dengan metode kuadrat terkecil (*Least Squares Curve Fitting*).

Data yang digunakan dalam perhitungan dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu data diskrit dan data kontinyu. Data diskrit adalah data yang berupa atribut (seperti baik atau buruk, tolak atau terima), atau kejadian (seperti kecelakaan, kelahiran). Sedangkan data kontinyu adalah yang merupakan data hasil perhitungan kuantitas (Johan, 2004, p. 101). Karena data waktu kerusakan merupakan hasil pengukuran maka data yang digunakan dalam perhitungan kerusakan adalah data kontinyu, sehingga

distribusi yang sesuai dengan data kontinyu yaitu distribusi eksponensial, lognormal, normal, dan weibull.

Distribusi Eksponensial

Menurut (Amitava, 2008, p. 184), sebaran eksponensial memainkan peranan penting baik didalam teori antrian dan masalah keandalan. Waktu antara kedatangan di dalam fasilitas pelayanan, dan waktu hingga menacapai kegagalan suku cadang komponen dan sistem kelistrikan, sering dimodelkan dengan baik dengan sebaran eksponensial. Parameter yang digunakan dalam sebaran distribusi eksponensial menggunakan parameter tunggal yaitu parameter λ , dengan λ bisa diartikan sebagai jumlah nilai tengah kejadian per satuan "waktu".

Index of fit distribusi exponential.

$$r_{\text{exponential}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

keterangan :

$$x_i = t_i$$

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

Pendugaan parameter distribusi *exponential* dengan regresi linier dengan menggunakan metode *least square curve fitting*, nilai konstanta b dapat diperoleh melalui persamaan (Ebeling, 1997, p. 367):

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

sehingga parameter distribusi *exponential* dapat ditentukan sebagai berikut

$$\lambda = b$$

Mean time to repair (MTTR) distribusi exponential

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad -$$

Mean time to failure (MTTF) distribusi exponential

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad -$$

Distribusi Lognormal

Sebaran lognormal digunakan dalam berbagai penerapan. Sebaran tersebut berlaku di dalam kasus-kasus suatu transformasi log alam akan menghasilkan sebuah sebaran normal. Peubah acak kontinu X mempunyai sebaran lognormal bila peubah acak $Y = \ln(X)$ mempunyai suatu sebaran normal dengan nilai tengah μ dan simpangan baku σ . (Amitava, 2008, p. 188). Distribusi Lognormal merupakan dua para parameter, yaitu s yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan t_{med} sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini memiliki berbagai macam bentuk sehingga sering dijumpai data yang sesuai dengan distribusi weibull, juga sesuai dengan data dalam distribusi lognormal.

Index of fit distribusi lognormal.

$$r_{lognormal} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n z_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2]}}$$

keterangan :

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] > \text{diperoleh dari tabel } \Phi(Z) \text{ dilampiran}$$

Pendugaan parameter distribusi *lognormal* dengan regresi linear dengan menggunakan metode *least square curve fitting*, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh, maka berlaku hubungan sebagai berikut (Ebeling 1997, p378):

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

$$F(t) = \Phi(z)$$

$$Z = \Phi^{-1}[F(t)]$$

$$\frac{Z}{s} = \frac{\ln t - \ln t_{med}}{s}$$

Sehingga parameter distribusi *lognormal* dapat ditentukan sebagai berikut: $S = 1$ dan t

$$S = e^{-sa}$$

Mean time to repair (MTTR) distribusi lognormal

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}}$$

Mean time to failure (MTTF) distribusi lognormal

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}}$$

Distribusi Normal

Menurut (Johan, 2004, p. 120), distribusi *normal* atau yang grafiknya disebut kurva *normal* berbentuk lonceng. Yang menggambarkan dengan cukup baik banyak gejala yang muncul di alam, industri dan penelitian. Pengukuran fisik di bidang seperti percobaan meteorologi, penelitian curah hujan, dan pengukuran suku cadang yang diproduksi sering dengan baik dapat diterangkan dengan menggunakan distribusi normal. Disamping itu *error* dalam pengukuran ilmiah dapat dihipotesiskan dengan sangat baik oleh distribusi normal. Persamaan matematika distribusi peluang peubah normal kontinu bergantung pada dua parameter yaitu μ (nilai tengah) dan σ (standard deviasi) (Amitava, 2008, p. 180).

Index of fit distribusi normal.

$$r_{normal} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n z_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2]}}$$

keterangan :

$x_i = t_i$

$z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$ > diperoleh dari tabel $\Phi(Z)$ dilampiran

Pendugaan parameter distribusi normal dengan regresi linear dengan menggunakan metode *least square curve fitting*, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh, maka berlaku hubungan sebagai berikut (Ebeling 1997, p367) :

$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$

$F(t) = \Phi(z)$

$Z_i = \Phi^{-1}[F(t)]$

$$Z_i = \frac{t_i - \mu}{\sigma} = \left(\frac{t_i - \mu}{\sigma} \right)$$

Sehingga parameter distribusi normal dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{\sigma}{b} = 1$$

$$\mu = -a\sigma$$

$$\frac{\mu}{b} = -\frac{a}{b}$$

Mean time to repair (MTTR) distribusi normal

$$MTTR = t_{med.} e^{\frac{s^2}{2}}$$

Mean time to failure (MTTF) distribusi normal

$$MTTR = \mu$$

Distribusi Weibull

Teknologi modern telah memungkinkan orang untuk merancang berbagai sistem rumit yang operasinya, atau mungkin keselamatannya, tergantung pada keandalan dari berbagai komponen yang membangun sistem tersebut. Misalnya sebuah sekering akan terbakar atau alatpengendali panas akan gagal. Komponen yang identik yang dikenakan pada kondisi lingkungan yang identik akan gagal pada saat yang berbeda dan tak terduga. Distribusi weibull pertama kali diperkenalkan oleh fisikawan Swedia Waloddi Weibull pada tahun 1939. Seperti distribusi eksponensial, weibull juga dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan keandalan dan pengujian umur (*life testing*) seperti waktu sampai rusak atau panjang umur suatu komponen, diukur dari suatu waktu tertentusampai rusak. Misalkan waktu sampai rusak tersebut kita nyatakan denganpeubah acak kontinyu T dengan fungsi padat peluang $f(t)$, bila $f(t)$ distribusi weibull (Amitava, 2008, p. 186). Distribusi weibull menghasilkan analisakegagalan yang akurat dan prediksi resiko dengan sampel yang sangat kecil menggunakan sebuah plot grafik yang *simple* dan berguna.

Index of fit distribusi weibull.

$$r_{weibull} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

keterangan :

$$x_i = t_i$$

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

Pendugaan parameter distribusi weibull dengan regresi linear

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\theta}^\beta}$$

Bisa ditulis dalam bentuk :

$$\frac{1}{1 - F(t_i)} = \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta$$

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] = \beta (\ln t) - \beta (\ln \theta)$$

persamaan diatas dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan garis lurus :

$$y_i = a + b \cdot x_i$$

Dimana :

$$x_i = \ln(t_i)$$

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

$F(t_i)$ dihitung dengan menggunakan *median rank*, yaitu : $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

Dimana :

I = data waktu ke - t

n = jumlah data kerusakan persamaan $y_i = a + b \cdot x_i$

menggambarkan garis lurus dengan gradien b dan konstanta a. nilai b sebagai gradien lurus menentukan kemiringan garis, maka b disebut parameter bentuk (β). Setelah itu dengan menggunakan metode *least*

square curve fitting, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh melalui persamaan :

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

Sehingga parameter distribusi weibull dapat ditentukan sebagai berikut :

$$B = b$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)}$$

Mean time to repair (MTTR) distribusi weibull

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Nilai $\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ diperoleh dari

$$\Gamma(x) = \text{tabel fungsi gamma}$$

Mean time to failure (MTTF) distribusi weibull

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Nilai $\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ diperoleh dari

$$\Gamma(x) = \text{tabel fungsi gamma (Ebeling, 1997, p. 59)}$$

Index Of Fit

Setelah dilakukan pengujian pola distribusi kerusakan komponen mesin yaitu distribusi normal, lognormal, eksponensial, dan weibull terhadap masing-masing komponen kritis mesin maka didapatkan Hasil perhitungan *index of fit* yang terpilih adalah hasil *index of fit* yang paling besar dari beberapa pengujian distribusi. *index of fit* (r) menunjukkan hubungan linier antara dua peubah acak xi dan yi semakin besar nilai r menandakan hubungan linier antara xi dan yi semakin besar

BAB.VIII.Critical Review penelitian terdahulu

Berikut ini merupakan hasil *review* penelitian terdahulu mengenai penerapan *maintenance*:

Tabel 2. 1 hasil *review* penelitian terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun	Metode	Obyek Penelitian	Hasil
1	Agustinus Silalahi, Ronald Sukwadi, dan Trifenaus Prabu Hidayat	2008	<i>Modularity Design</i> (Silalahi et al., n.d.)	<i>PT. X</i> , adalah perusahaan yang memproduksi <i>PCB (Printed Circuit Board)</i>	membahas tentang Permasalahan yang adadi perusahaan adalah perawatan mesin yang sering kali tidak teratur menunggu sampai mesin mengalami kondisi kerusakan berat hingga tidak dapat beroperasi kembali sehingga menimbulkan biaya <i>downtime</i> yang diakibatkan mesin tidak beroperasi atau rusak. Untuk mengatasi masalah tersebut diusulkan perencanaan perawatan dengan menggunakan Metode <i>Modularity design</i> , baik sistem perawatan yang preventif maupun korektif dengan menggunakan analisa biaya terendah.
2	Willyanto Anggono, Julianingsih, dan Linawati	2005	<i>Modularity Design</i> (Anggono, n.d.)	Perusahaan Tepung Ikan	Tujuan penelitian ini adalah mengelompokan komponen - komponen mesin pembuat tepung ikan berdasarkan <i>modularity design</i> sehingga dapat meminimalkan biaya penggantian komponen mesin pembuat tepung ikan. Membandingkan total biaya antara <i>corrective maintenance</i> , <i>preventive maintenance</i> , dan <i>preventive maintenance</i>

					<p>dengan <i>modularity</i> sehingga menghasilkan :</p> <p>Tabel 13. Perbandingan Total Biaya Antara Penggantian <i>Corrective</i>, <i>Preventive</i> dengan <i>Modularity</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Penggantian</th> <th>Total Biaya (Rp)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Corrective</i></td> <td>53.393.251,6</td> </tr> <tr> <td><i>Preventive</i></td> <td>49.476.717,7</td> </tr> <tr> <td><i>Preventive</i> dengan <i>modularity</i> (istirahat <i>shift</i>)</td> <td>39.266.097,9</td> </tr> <tr> <td><i>Preventive</i> dengan <i>modularity</i> (bukan istirahat <i>shift</i>)</td> <td>40.394.706,1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Dari Tabel 13 dapat dilihat bahwa penggantian <i>preventive</i> dengan <i>modularity</i> (istirahat <i>shift</i>) menghasilkan <i>total cost</i> yang paling kecil jika dibandingkan dengan yang lain.</p> <p>Penggantian <i>preventive</i> dengan <i>modularity</i> (istirahat <i>shift</i>) menghasilkan <i>total cost</i> yang paling kecil (Rp. 39.266.097,9) jika dibandingkan dengan penggantian <i>corrective</i>, <i>preventive</i>, dan <i>preventive</i> dengan <i>modularity</i> (bukan istirahat <i>shift</i>). Maka dari itu dalam membuat jadwal penggantian komponen digunakan sistem <i>preventive maintenance</i> dengan <i>modularity</i> yang dilakukan pada waktu istirahat <i>shift</i>.</p>	Penggantian	Total Biaya (Rp)	<i>Corrective</i>	53.393.251,6	<i>Preventive</i>	49.476.717,7	<i>Preventive</i> dengan <i>modularity</i> (istirahat <i>shift</i>)	39.266.097,9	<i>Preventive</i> dengan <i>modularity</i> (bukan istirahat <i>shift</i>)	40.394.706,1
Penggantian	Total Biaya (Rp)														
<i>Corrective</i>	53.393.251,6														
<i>Preventive</i>	49.476.717,7														
<i>Preventive</i> dengan <i>modularity</i> (istirahat <i>shift</i>)	39.266.097,9														
<i>Preventive</i> dengan <i>modularity</i> (bukan istirahat <i>shift</i>)	40.394.706,1														
3	Paulus Tarigan, Elisabeth Ginting, Ikhsan Siregar	2013	<i>Preventive Maintenance Dengan Modularity Design</i> (Tarigan et al., 2013)	PT. RXZ	<p>Hasil yang didapatkan adalah biaya perawatan mesin dengan menggunakan <i>preventive modularity maintenance</i> menghasilkan total biaya perawatan yang lebih kecil yaitu sebesar Rp 49.902.964 dibandingkan dengan biaya perawatan <i>breakdown</i> yang total biaya perawatannya mencapai Rp 55.071.518. Persentase perbandingan <i>modularity design</i> lebih kecil 9,38% dari <i>breakdown maintenance</i> sehingga metode ini tepat digunakan oleh perusahaan.</p>										

4	Hariyanto, Sri Rahayuning sih, Heribertus Budi Santoso	2017	<i>Preventive Maintenance System</i> Dengan <i>Modularity Design</i> (hariyanto, Rahayunin gsih & Santoso, 2017)	PT. Surya Pamenang	Dalam penelitian ini, <i>modularity design</i> dicoba diterapkan dalam kegiatan <i>preventive maintenance</i> penggantian <i>Blade Coating Machine</i> . Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penerapan <i>preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i> dapat menurunkan biaya sebesar 24,31% dari keadaan awal (<i>corrective maintenance</i>).
5	Nilda Tri Putri, Taufik, dan Filly Satria Buana	2020	Penjadwalan <i>Preventive Maintenance</i> berbasis <i>Modularity design</i> (Putri, 2020)	<i>Limestone Crusher Machine</i>	Dalam jurnal ini menjelaskan tentang permasalahan kebijakan metode <i>Preventive Maintenance</i> menggunakan <i>modularity design</i> . Metode perancangan <i>modularity</i> mempertimbangkan keterkaitan antar komponen mesin sehingga dapat dikelompokkan menjadi modul perawatan baru. Metode ini dapat membantu perusahaan dalam mengurangi biaya pemeliharaan dan mengoptimalkan waktu perbaikan yang dapat menghentikan aktivitas produksi dengan perawatan preventif sehingga keandalan dan produktivitas alat berat akan meningkat. Penghematan terjadi setelah pemeliharaan preventif menggunakan <i>modularity design</i> sebesar Rp 417.643.637

6	Seong-Jong Joo	2007	Penjadwalan <i>preventive maintenance</i> berbasis <i>modularity design</i> : Pendekatan dinamis (Joo, 2009)	Aircraft Life Cycle	Dalam penelitian ini, peneliti menjelelaskan tentang <i>Modularity design</i> memberikan berbagai keuntungan diantaranya kemudahan layanan. Alih-alih memperbaiki, menjadikan komponen dalam bentuk modul yang hanya diganti saat <i>Failure</i> atau membutuhkan pemeliharaan. Namun, untuk mengganti modul, perlu dilakukan persediaan modul cadangan yang sesuai dengan biaya yang relatif tinggi. Tujuan dari masalah ini adalah meminimalkan perbedaan antara waktu untuk <i>preventive maintenance</i> dan waktu perbaikan konvensional. Penelitian ini dapat digunakan untuk pemecahan masalah serupa untuk berbagai sistem seperti dirgantara kendaraan, alat berat, dan alat kesehatan.
7	D. Ernawati, E. Pudji, Y. Ngatilah, dan R. Handoyo	2018	<i>Preventive maintenance</i> dengan pendekatan <i>modularity design</i> (D Ernawati, E Pudji, Y Ngatilah, 2018)	PT. X	Dalam penelitian ini, peneliti mengusulkan metode <i>preventive maintenance</i> berbasis <i>Modularity design</i> mampu memberikan solusi untuk masalah yang ada. Penjadwalan perawatan alat berat yang tepat dapat mencegah kerusakan fatal pada komponen alat berat sehingga dapat meminimalkan biaya perbaikan dan penggantian komponen mesin. Dengan demikian komponen dapat melakukan aktivitas nilai lebih produktif dibandingkan dengan metode sebelumnya. Hasil

					penelitian ini dapat memberikan peningkatan efisiensi perusahaan sebesar 18,99 % dari total biaya perbaikan sebelumnya.
8	Vincent Hernandez-Chover, Liedo Castellet-viciano, dan Francesc Hernandez-Sancho	2020	<i>Preventive maintenance versus biaya perbaikan corrective maintenance</i> (Hernández-chover et al., 2020)	pengolahan air limbah	Dalam penelitian ini peneliti mengangkat topik permasalahan pengelolaan air limbah, dalam proses nya pengolahan air limbah berdampak pada keausan komponen mesin. Keausan ini memengaruhi semua peralatan ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil dan, akibatnya, meningkatkan kemungkinan kerusakan. Perbaikan yang mendadak menyebabkan penghentian seketika di proses pengolahan air limbah, dengan konsekuensi lingkungan, sosial dan ekonomi. Hasil yang didapat memungkinkan operator untuk mengoptimalkan monitorisasi peralatan dan tugas review, sehingga meminimalkan biaya operasional, jumlah perbaikan dan akibatnya risiko tumpahan ke lingkungan. kebijakan pemeliharaan untuk diterapkan di IPAL.

BABI

