

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kajian literatur sebagai landasan untuk melakukan penelitian

2.1. Kajian Induktif

Penelitian tentang pemeliharaan mesin menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* pernah dilakukan juga oleh Kurniawan dan Rani Rumita pada tahun 2014 yang berjudul *Perencanaan Sistem Perawatan Mesin Urbannbyte dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II)* di departemen produksi PT. Masscom Graphy, Semarang yang bergerak di bidang percetakan koran. Periode data kerusakan yang dipakai yaitu pada bulan April 2013 sampai dengan Maret 2014. Mesin Urbannbyte adalah mesin yang terpilih karena mempunyai frekuensi *breakdown* terbesar dan mempunyai 4 komponen yang memiliki nilai RPN terbesar yaitu *tucker blade* sebesar 160, *electromagnetic cluth* sebesar 150, *bearer* sebesar 128, dan *belt ring* sebesar 120. Berdasar *Logic Tree Analysis* (LTA) komponen *tucker blade*, *electromagnetic cluth*, *bearer*, dan *belt ring* harus dilakukan *scheduled discard task* dan analisis menyebutkan fase laju kerusakan yang cenderung tajam. Biaya perawatan (T_c) dan interval waktu penggantian pada 4 komponen pada mesin Urbannbyte untuk meminimalisir *downtime* yaitu komponen *tucker blade* sebesar Rp 2.433.676 per 61 hari, *electromagnetic cluth* sebesar Rp 2.198.415 per 72 hari, *bearer* sebesar Rp 1.813.811 per 81 hari dan *belt ring* Rp 1.801.597 per 60 hari

Penelitian tentang perawatan mesin juga pernah dilakukan oleh Taufiq Imawan dan Hasan Joko Saputra pada tahun 2010 dengan berfokus kepada

penentuan waktu perawatan pencegahan dan interval waktu pemeriksaan optimal pada komponen kritis rantai transfer pada PT. Pura Barutama Kudus. PT. Pura Barutama Kudus adalah perusahaan yang bergerak di industri percetakan kertas. Produksi akan terganggu dikarenakan adanya kerusakan (*downtime*) sehingga untuk mengatasi masalah ini diperlukan usulan untuk perawatan pencegahan dan interval waktu pemeriksaan secara optimal. Didapatkan mesin Adler IIB yang mempunyai prosentase *downtime* yang paling besar yaitu 30,89 %. Komponen rantai transfer diidentifikasi sebagai komponen yang akan diteliti dengan *downtime* sebesar 13250 menit. Didapatkan hasil interval waktu pemeriksaan pada rantai transfer adalah selama selang waktu 240 jam sekali dengan frekuensi sebesar 3 kali sebulan. Interval waktu pemeriksaan optimal adalah selama selang waktu 16531,2221 menit sejak komponen pertama kali beroperasi setelah dilakukan pergantian. Waktu perbaikan yang optimal adalah maksimal 106,4181 menit setiap kali *shutdown*.

Irawan, Arif, dan Zefry tahun 2014 juga telah melakukan tentang perawatan mesin didalam jurnalnya yang berjudul Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance II*(RCM II) pada Mesin *Blowing OM* di PT. Industri Sandang Nusantara Unit Patal Lawang. PT Industri Sandang Nusantara unit Patal Lawang bergerak di industri benang tipe R 30. Masalah yang sering dihadapi oleh PT Industri Sandang Nusantara ini adalah mesin-mesin yang sudah tua menyebabkan *downtime* yang tinggi. Untuk itu diperlukan usulan kebijakan perawatan yang optimal sehingga mesin dapat beroperasi dengan baik. Pemilihan mesin *Blowing OM* dikarenakan downtime yang tinggi diantara mesin-mesin yang lainnya, dan didapat komponen kritis pada mesin *blowing OM* yaitu *flet belt* dan *spike lattice*. Hasil analisis interval perawatan menunjukkan bahwa jenis kerusakan permukaan karet *felt belt* tidak rata memiliki interval perawatan yang optimal sebesar 510 jam, karet *felt belt* longgar 260 jam, *felt belt* putus 580 jam, kayu *spike lattice* patah 620 jam, dan paku *spike lattice* patah 500 jam. Dari perhitungan total biaya perawatan total biaya perawatan optimal diperoleh hasil dengan jenis kerusakan permukaan karet *felt belt* tidak rata sebesar Rp 7.973.519,82, karet *felt belt* longgar Rp 11.000.673,81, *felt belt* putus sebesar Rp 14.061.553,06, kayu *spike lattice* patah sebesar Rp 19.170.330,63, dan paku *spike lattice* patah sebesar Rp 30.880.512,66. Dengan menggunakan RCM II mendapatkan

penurunan biaya perawatan dari sebelumnya dalam mesin *blowing OM* sebesar 10,27%.

2.2. Kajian Deduktif

2.2.1. Teori Perawatan

Menurut Assauri (2008) *maintenance* merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Adapun tujuannya adalah untuk memelihara kemampuan sistem dan mengendalikan biaya sehingga sistem harus dirancang dan dipelihara untuk mencapai standar mutu dan kinerja yang diharapkan. Pemeliharaan meliputi segala aktifitas yang terlibat dalam penjaagaan peralatan sistem dalam aturan kerja (Dwiningsih, 2007).

Perawatan juga bisa dikatakan sebagai kegiatan yang vital dan mengakibatkan kerugian yang besar apabila tidak pernah dijadualkan bahkan tidak pernah dilakukan. Kegiatan perawatan dilakukan agar produk yang diproduksi bisa diterima oleh konsumen tepat waktu atau tidak banyaknya waktu menganggur yang terjadi karena bahan baku tidak bisa diproses karena kegagalan mesin. Adapun tujuan lain dari kegiatan perawatan adalah sebagai berikut (Assauri, 2008) :

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi kebutuhan produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpanan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut.
4. Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien untuk keseluruhannya.

5. Memperhatikan dan menghindari kegiatan – kegiatan operasi mesin serta peralatan yang dapat membahayakan keselamatan kerja.
6. Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi – fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan atau *return investment* yang sebaik mungkin dan total biaya serendah mungkin.

2.2.2. Jenis - jenis Perawatan

Jenis –jenis perawatan dibawah ini adalah 2 jenis perawatan yang berdasar penempatan perlakuan waktunya (Higgins, 1995) :

a. *Preventive Maintenance vs Breakdown Maintenance*

Perawatan preventif sudah lama disadari sebagai kepentingan yang ekstrim dalam pengurangan biaya perawatan dan pembenahan keandalan dari suatu peralatan.

Dua hal penting yang mengontrol tingkat dari *preventive maintenance* adalah :

1. Pengeluaran dari program dibandingkan penghitungan pengurangan yang berhati-hati dalam biaya perbaikan total dan pengembangan performa peralatan
2. Prosentase penggunaan dari peralatan yang dirawat

Jika biaya dari persiapan untuk inspeksi perawatan preventif pada pokoknya sama dengan biaya perbaikan setelah kegagalan dengan inspeksi perawatan preventif, justifikasinya kecil. Jika dalam hal lain, kerusakan dapat menghasilkan kerusakan berat untuk peralatan dan biaya yang lebih untuk memperbaikinya, penjadwalan waktu inspeksi seharusnya dipertimbangkan.

Sistem pemeliharaan mesin sangat dibutuhkan perusahaan untuk menentukan pola pemeliharaan mesin yang tepat untuk meminimalisir terjadinya *downtime* yang berimbas pada terhentinya suatu produksi yang tidak terprediksi serta dikeluarkannya biaya tambahan untuk segera memperbaiki mesin bahkan untuk membeli komponen mesin yang rusak yang tidak selalu bisa di *order* dengan cepat.

b. Jenis – jenis perawatan

Menurut Corder (1988) perawatan dibagi menjadi 2 aktivitas yaitu terencana dan tidak terencana. Hanya ada satu perawatan tidak terencana yaitu perawatan darurat yaitu perawatan yang dilakukan untuk dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang serius, misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk alasan keselamatan kerja.

Perawatan terencana dibagi menjadi dua aktivitas utama yaitu pencegahan dan korektif yang telah didefinisikan jelas dalam BS3811.

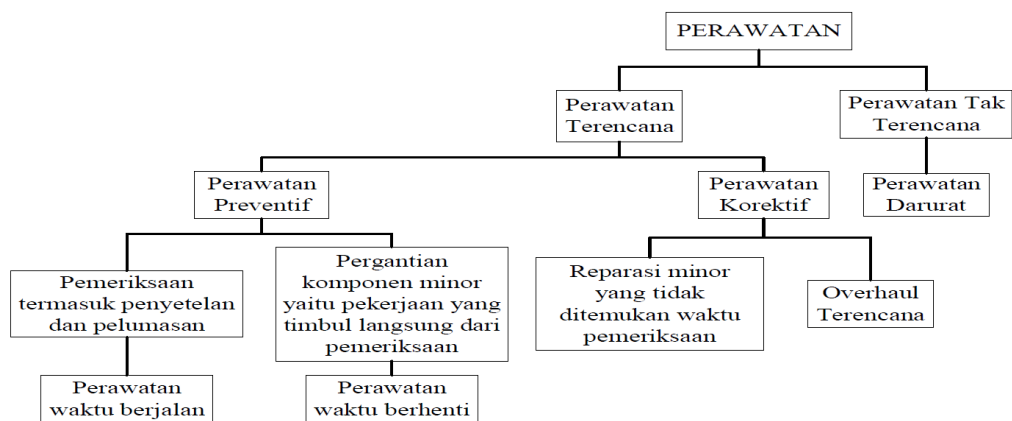
a. Perawatan pencegahan

Perawatan terencana mempunyai bagian utama yaitu berdasar aktivitas “lihat,dengar, dan rasakan” dan penyetelan minor pada selang waktu yang telah ditentukan serta penggantian komponen minor yang ditemukan perlu diganti pada saat pemeriksaan.

b. Perawatan korektif

Meliputi reparasi minor, terutama untuk rencana jangka pendek yang mungkin timbul dalam pemeriksaan, juga *overhaul* terencana seperti *overhaul* tahunan atau dua tahunan.

Hubungan antara perawatan terencana dan tidak terencana dapat digambarkan dengan *tree diagram* dibawah ini :



Gambar 2. 1 Hubungan antara berbagai bentuk perawatan

2.2.3. Kegiatan-kegiatan Perawatan

Tugas – tugas atau kegiatan perawatan dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok yaitu (Assauri, 2008) :

1. Inspeksi (*inspection*)

Yaitu kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala bangunan dan peralatan pabrik sesuai dengan rencana serta kegiatan pengecekan atau pemeriksaan terhadap peralatan yang mengalami kerusakan dan membuat laporan-laporan dari hasil pengecekan atau pemeriksaan tersebut.

2. Kegiatan Teknik (*Engineering*)

Kegiatan yang meliputi kegiatan percobaan atas peralatan yang baru dibeli dan kegiatan-kegiatan pengembangan peralatan atau komponen peralatan yang perlu diganti serta melakukan penelitian - penelitian terhadap kemungkinan pengembangan tersebut.

3. Kegiatan produksi (*Production*)

Secara fisik, melakukan pekerjaan yang diusulkan dalam kegiatan teknik dan inspeksi, melaksanakan kegiatan *service* dan pelumasan.

4. Kegiatan Administrasi (*Clerical Work*)

Merupakan kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan-pencatatan mengenai biaya-biaya yang terjadi dalam melakukan pekerjaan-pekerjaan pemeliharaan dan biaya-biaya yang berhubungan dengan kegiatan pemeliharaan, komponen atau *spare parts*, *progress report* tentang apa yang telah dikerjakan, waktu dilakukannya inspeksi dan perbaikan, serta lamanya perbaikan tersebut, dan komponen atau *spare parts* yang tersedia di bagian *maintenance*.

5. Pemeliharaan Bangunan (*House keepin*)

Kegiatan untuk menjaga agar bangunan gedung tetap terpelihara dan terjamin kebersihannya.

2.2.4. Diagram Pareto

Menurut *Vincent Gaspersz* (2002) diagram pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya kejadian. Masalah yang paling banyak terjadi ditunjukkan oleh grafik batang pertama yang tertinggi serta ditempatkan pada sisi paling kiri, dan seterusnya sampai masalah yang paling sedikit terjadi ditunjukkan oleh grafik batang terakhir yang terendah serta ditempatkan pada sisi paling kanan.

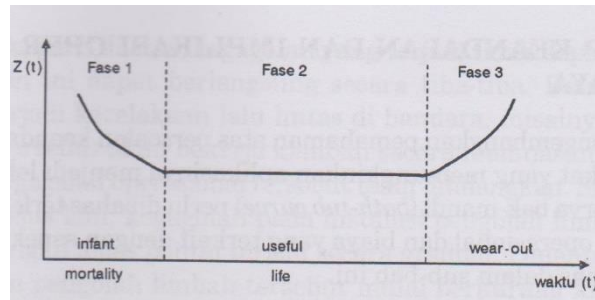
Pada dasarnya diagram pareto dapat dipergunakan sebagai alat interpretasi untuk:

1. Menentukan frekuensi relatif dan urutan pentingnya masalah-masalah atau penyebab-penyebab yang ada
2. Memfokuskan perhatian pada isu-isu kritis dan penting melalui membuat ranking terhadap masalah-masalah atau penyebab-penyebab dari masalah itu dalam bentuk yang signifikan

2.2.5. Keandalan

Keandalan dalam berbagai hal bisa dianggap sebagai parameter suatu hal dikatakan “baik” atau “jelek”. Tidak sedikit stigma yang diperoleh suatu produk tentang keandalan berdampak tidak dipercayainya kualitas suatu barang untuk dikonsumsi atau digunakan. Definisi keandalan sendiri seringkali masih berbeda-beda walaupun banyak sekali definisi-definisi yang dikeluarkan oleh lembaga atau peneliti. Menurut Daniel Mohammad Rosyid (2007) keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu.

Secara konseptual untuk memudahkan konsep keandalan dapat menggunakan kurva bak mandi (*bath tub curve*). Secara fundamental ada 2 konsep laju kegagalan yang berimplikasi dengan perlakuan terhadap sistem atau komponen. Yang pertama adalah Fungsi Laju Bahaya atau *Hazard Rate Function* yang disimbolkan dengan $z(t)$ dan yang kedua adalah Laju Kegagalan (*failure rate*). Perbedaan dari kedua konsep adalah perlakuan khusus terhadap komponen yang *repaireable* dan *non-repaireable*. Untuk konsep Fungsi Laju Bahaya komponen yang dilukiskan dalam kurva yaitu yang bersifat *non-repaireable* sedangkan untuk Laju Kegagalan untuk komponen yang *repaireable* dalam menyusun suatu sistem.



Gambar 2. 2 Bath Tub Curve

Sumber : Daniel Mohammad Rosyid (2007)

Sebagaimana digambarkan, sebuah komponen yang khas akan bekerja dengan “sejarah hidup” yang terbagi dalam tiga fase pada kurva bak mandi ini yaitu :

Fase 1

Pada fase ini, $z(t)$ menunjukkan gejala menurun akibat terjadinya kegagalan dini (*premature*). Gejala ini juga dapat diamati pada definisi genetika yang menyebabkan kematian dini bayi. Oleh sebab itu, fase ini disebut fase kematian bayi (*infant mortality phase*).

Fase 2

Pada fase ini komponen $z(t)$ yang kurang lebih konstan. Pada fase ini kegagalan umumnya terjadi secara tidak wajar, seperti tegangan berlebihan, atau kecelakaan. Kegagalan yang terjadi pada fase ini lazim disebut kegagalan acak. Fase ini umum disebut fase operasi normal.

Fase 3

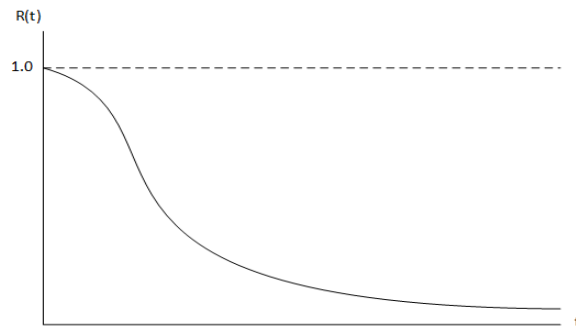
Fase ini menunjukkan $z(t)$ yang berkecenderungan meningkat. Ini berarti bahwa selama fase 3 ini, peluang kegagalan komponen selama interval yang sama berikutnya bertambah besar. Ini merupakan gejala yang sama pada proses penuaan (*ageing*) sehingga fase ini lazim disebut fase pengausan (*wear-out phase*).

Adapun menurut Charles Ebeling (1997) fungsi keandalan yaitu probabilitas suatu peralatan akan bekerja sesuai standarnya tanpa mengalami kerusakan pada suatu periode waktu (t) dengan fungsi sebagai berikut :

$$R(t) = P(x \geq t)$$

Dengan :

$R(t)$ = keandalan yang merupakan probabilitas bahwa waktu kerusakan lebih besar daripada atau sama dengan t



Gambar 2. 3 Kurva Keandalan

Sumber : Charles Ebeling (1997)

2.2.6. Reliability Centered Maintenance

Reliability Centered Maintenance adalah suatu proses untuk menjamin suatu aset fisik berjalan sesuai keinginan pengguna (Moubray, 1997). Secara definitif bahwa disebutkan penggunaan RCM disini diharapkan menjadi sistem perawatan yang bisa menekan angka kerusakan mendadak yang seharusnya bisa diketahui oleh pengguna. Selain itu untuk menjaga alur produksi tetap pada porosnya sesuai permintaan yang diolah untuk diserahkan ke bagian produksi.

Adapun menurut Moubray (1997) tujuan dari penggunaan RCM ini adalah sebagai berikut :

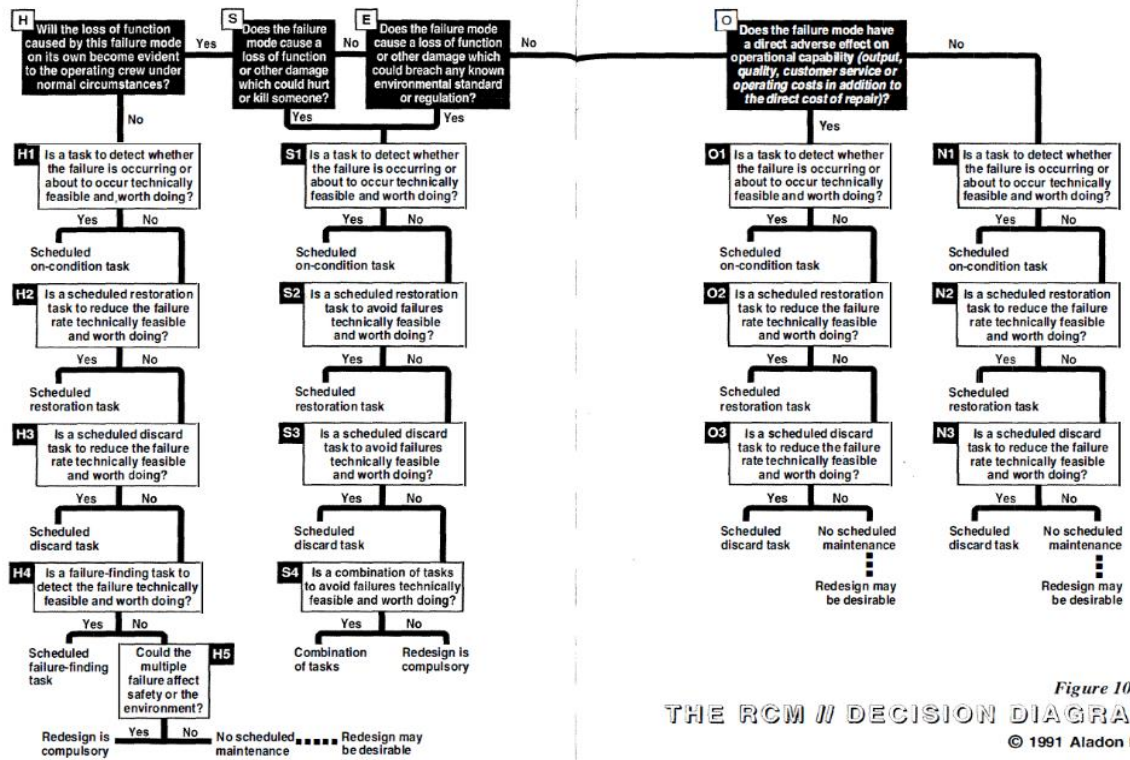
1. Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (*maintainability*) baik.
2. Untuk memperoleh informasi yang penting dalam melakukan *improvement* pada desain awal yang kurang baik.
3. Untuk mengembangkan sistem pemeliharaan yang dapat mengembalikan kepada *reliability* dan *safety* seperti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

Reliability Centered Maintenance (RCM) II merupakan metode penggabungan dari analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dalam penentuan sistem pemeliharaan (Moubray, 1997). Analisa kualitatif dapat diambil dari tindakan pemeliharaan yang akan dilakukan sesuai analisa mode kegagalan yang dilihat dari

analisa *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Sedangkan analisa kuantitatif dilihat dari hasil perhitungan interval waktu kerusakan komponen kritis sehingga dapat mempertimbangkan waktu perbaikan optimal yang selanjutnya akan dituliskan ke dalam RCM II *Decision Worksheet*.

RCM II mempunyai kelebihan dalam penentuan sistem pemeliharaan yang difokuskan pada komponen atau mesin kritis (*critical item list*) dan menghindari kegiatan pemeliharaan yang tidak diperlukan dengan menentukan interval pemeliharaan yang tepat (Moubray, 1997). Dalam menggunakan RCM II tidak hanya dapat menentukan waktu interval perbaikan tetapi juga dapat mengetahui efek dari kegagalan dari suatu mesin dari aspek keselamatan operator dan aset perusahaan, dapat meningkatkan ketersediaan dan keandalan peralatan.

Dalam pembuatan RCM II *Decision Worksheet* didasarkan dari penggabungan dari analisa tabel FMEA dan mengetahui konsekuensi kegagalan pada tahap LTA dan menggunakan RCM *decision diagram*. RCM *decision diagram* digunakan untuk menentukan usulan tugas pada kegagalan yang ada. Tugas atau *task* tersebut ada 4 bagian yaitu *scheduled discard task*, *scheduled restoration task*, *scheduled on-condition task*, dan *combination of task*. Dibawah ini adalah RCM *decision diagram* dan RCM II *worksheet* :



Gambar 2. 4 RCM Decision Diagram

Sumber : John Moubray, 1997

Tabel 2. 1RCM II Worksheet

RCM II Decision Worksheet		Sistem :										Date :	Sheet No:				
		Sub-System :											Initial Interval	Can done by			
		Fungsi Sub Sistem :															
Information Reference					Consequence Evaluation					Default Action			Proposed task	Initial Interval	Can done by		
No	Equip	F	F	F	H	S	E	O	H1	H2	H3	Default Action					
									S1	S2	S3						
									E1	E2	E3	H4	H5	S4			
									O1	O2	O3						

Sumber : Moubray , 1997

Untuk mengisi kolom RCM II *Worksheet* pada kolom F, FF, dan FM diisi sesuai FMEA. Untuk mengisi kolom H, S, E, O, H1, H2, H3, S1, S2, S3, E1, E2, E3, O1, O2, O3, H4, H5, dan S4 berdasarkan hasil *decision diagram* atau *logic tree analysis*.

2.2.7. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Kerusakan suatu mesin yang terjadi pada suatu kurun waktu dapat menimbulkan dampak yang cukup besar bagi perusahaan. Jenis-jenis kerusakan yang terjadi dapat menimbulkan efek dan akibat yang berbeda-beda juga terhadap kinerja mesin yang ada. Kerusakan yang timbul pasti ada potensi yang bisa dicari. Maka dari itu, apabila potensi penyebab bisa diketahui, pencegahan dan antisipasi akan menjadi hal yang penting untuk perusahaan. Berikut ini adalah contoh tabel analisa kegagalan dan efeknya atau biasa disebut *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) :

Tabel 2. 2 Tabel FMEA

RCM Information Worksheet		Sistem :						
		Sub-Sistem :						
		Fungsi Sub-Sistem :						
No	Equipment	Function	Function Failure	Effect Of Failure	S	O	D	RPN

Sumber : Gaspersz, 2002

Pada tabel 2.2 kolom *Equipment* diisi dengan nama komponen, kolom *function* diisi dengan fungsi komponen tersebut, pada kolom *function failure* diisi dengan kegagalan fungsi komponen tersebut, kolom *effect failure* diisi dengan akibat dari kegagalan komponen tersebut. Selanjutnya pada kolom S (*Severity*), O (*occurance*), dan D (*Detection*) pengisiannya menurut tabel yang telah ada.

Pada skala yang pertama yaitu tingkat keparahan (*Severity*) merupakan penilaian terhadap seberapa serius kerusakan dan efeknya. Dalam skala ini dapat diketahui dari tingkat keparahannya apabila tinggi, maka efek yang ditimbulkan

akan juga besar dan sebaliknya jika tingkat keparahannya rendah, maka efek yang ditimbulkan juga rendah.

Skala yang kedua yaitu tingkat kejadian (*Occurence*) merupakan kemungkinan bahwa mesin akan terjadi kegagalan selama masa periode tertentu. Penilaian tingkat kejadian ini menggunakan *rating* yang telah disesuaikan dengan frekuensi yang diprediksi dari kumulatif kegagalan yang terjadi.

Yang ketiga adalah skala deteksi (*Detection*) merupakan pengukuran terhadap kemampuan mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Setelah didapat ketiga skala maka dicari nilai RPN atau *Risk Priority Number* untuk menunjukkan tingkat prioritas mesin yang dianggap membahayakan dan memerlukan perlakuan khusus dan cepat. RPN dapat dituliskan rumusnya sebagai berikut (Gaspersz, 2002) :

$$RPN = severity \times occurrence \times detection \dots \dots \dots (2.1)$$

Dibawah ini merupakan tabel penilaian untuk skala *Severity* atau tingkat keparahan, *Occurance* atau tingkat kejadian, dan *Detection* atau tingkat deteksi :

Tabel 2. 3 *Rating Severity*

<i>Effect</i>	<i>Severity Effect For FMEA</i>	<i>Rating</i>
Tidak Ada	Bentuk kegagalan tidak memiliki pengaruh	1
Sangat Minor	Gangguan minor pada lini produksi, Sebagian kecil produk harus dikerjakan ulang ditempat, Pelanggan yang jeli menyadari <i>defect</i> tersebut	2
Minor	Gangguan minor pada lini produksi, Sebagian produk harus dikerjakan secara on-line ditempat, Sebagian pelanggan menyadari <i>defect</i> tersebut	3
Sangat Rendah	Gangguan minor pada lini produksi Produk harus dipilah dan sebagiandikerjakan ulang, , Pelanggan secara umum menyadari <i>defect</i> tersebut	4
Rendah	Gangguan minor pada lini produksi 100% produk harus dikerjakan ulang, Produk dapat beroperasi, tetapi sebagian item tambahan beroperasi dengan performansi yang berkurang	5

<i>Effect</i>	<i>Severity Effect For FMEA</i>	<i>Rating</i>
Sedang	Gangguan minor pada lini produksi, Sebagian produk harus dikerjakan ulang (tanpa ada pemilahan), Produk dapat beroperasi, tetapi sebagian item tambahan tidak dapat berfungsi	6
Tinggi	Gangguan minor pada lini produksi, Produk harus dipilah dan sebagian dibongkar ulang, Produk dapat beroperasi, performansinya berkurang	7
Sangat Tinggi	Gangguan major pada lini produksi 100% produk harus dibongkar, Produk tidak terdapat dioperasikan dan kehilangan fungsi utamanya	8
Berbahaya dengan peringatan	Dapat membahayakan operator mesin Kegagalan dapat mempengaruhi keamanan operasional produk atau tidak sesuai dengan peraturan, Kegagalan akan terjadi dengan didahului peringatan	9
Berbahaya tanpa adanya peringatan	Dapat membahayakan operator mesin, Kegagalan dapat mempengaruhi keamanan operasional produk atau tidak sesuai dengan peraturan pemerintah, Kegagalan akan terjadinya tanpa adanya peringatan terlebih dahulu	10

(sumber : Gaspersz, 2002)

Tabel 2. 4 *Rating Occurance*

<i>Ranking occurrence</i>	<i>Kejadian</i>	<i>Kriteria Verbal</i>	<i>Tingkat kejadian kerusakan</i>
1	Hampir tidak pernah	Kerusakan hampir tidak pernah terjadi.	> 10.000 jam operasi mesin.
2	<i>Remote</i>	Kerusakan jarang terjadi.	6.001 - 10.000 jam operasi.
3	Sangat sedikit	Kerusakan terjadi sangat sedikit.	3.001 - 6.000 jam operasi.
4	Sedikit	Kerusakan terjadi sedikit.	2.001 - 3.000 jam operasi.
5	Rendah	Kerusakan terjadi pada	1.001 - 2.000 jam operasi.

Ranking occurrence	Kejadian	Kriteria Verbal	Tingkat kejadian kerusakan
		tingkat rendah.	
6	Medium	Kerusakan terjadi pada tingkat medium.	401 - 1.000 jam operasi.
7	Agak tinggi	Kerusakan terjadi agak tinggi.	101 - 400 jam operasi.
8	Tinggi	Kerusakan terjadi tinggi.	11 - 100 jam operasi.
9	Sangat tinggi	Kerusakan terjadi sangat tinggi.	2 - 10 jam operasi
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi.	< 2 jam operasi.

(sumber : Gaspersz, 2002)

Tabel 2. 5 *Rating Detection*

Ranking detection	Akibat	Kriteria Verbal
1	Hampir Pasti	Perawatan preventif akan selalu mendeteksi penyebab atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	<i>Moderate Highly</i>	Perawatan preventif memiliki kemungkinan <i>moderate highly</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	<i>Moderate</i>	Perawatan preventif memiliki kemungkinan <i>moderate</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau

<i>Ranking detection</i>	<i>Akibat</i>	<i>Kriteria Verbal</i>
		mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	<i>Remote</i>	Perawatan preventif memiliki kemungkinan <i>remote</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

(sumber : Gaspersz, 2002)

2.2.8 Logic Tree Analysis(LTA)

Logic Tree Analysis (LTA) dimaksudkan untuk membedakan prioritas pada setiap jenis kerusakan dan melakukan peninjauan fungsi serta kegagalan fungsi dari mesin atau komponen. Dalam setiap kegagalan atau kerusakan akan diprioritaskan dengan cara menjawab pertanyaan-pertanyaan yang ada pada LTA. Penggolongan jenis kerusakan menurut kekritisanya dapat digolongkan menjadi 4 yaitu sebagai berikut (Smith and Glenn, 2004) :

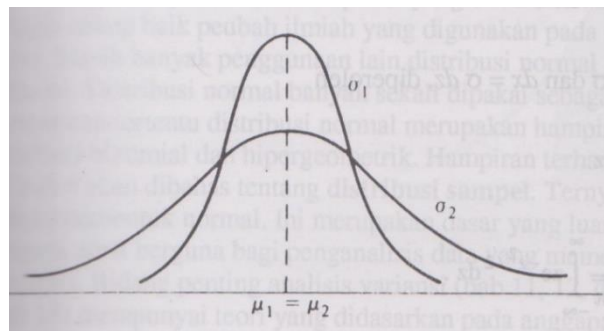
1. *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem ?
2. *Safety*, yaitu apakah kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan ?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti ?
4. *Category*, yaitu pengkategorian setelah menjawab pertanyaan-pertanyaan yang diajukan. Pengkategorian terbagi menjadi 4 kategori yaitu :
 - a. Kategori A (*Safety Problem*)
 - b. Kategori B (*Outage problem*)
 - c. Kategori C (*Economic problem*)
 - d. Kaetgori D (*Hidden problem*)

2.2.9 Jenis Fungsi Distribusi Kegagalan

Untuk mengetahui pola data yang terbentuk, maka digunakan 4 macam distribusi. Distribusi tersebut adalah distribusi normal, lognormal, *weibull*, dan eksponensial (Ebeling, 1997).

1. Fungsi Distribusi Normal

Distribusi normal menggambarkan dengan cukup baik banyak gejala yang muncul di alam, industri, dan penelitian. Dalam pengukuran fisik di bidang meteorologi, penelitian curah hujan, dan pengukuran suku cadang yang diproduksi seiring dengan baik dapat diterangkan menggunakan distribusi normal (Walpole, 1995). Berikut adalah gambar kurva dari distribusi normal (Walpole, 1995) :



Gambar 2. 5 Kurva Distribusi Normal

Sumber : Walpole dan Raymond (1995)

Fungsi-fungsi dalam distribusi normal adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997) :

- a. Fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[\frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk $-\infty < t < \infty$ dimana $t =$ waktu

- b. Fungsi kumulatif kerusakan (*cumulative density function*)

$$F(t) = \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(2.3)$$

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \dots\dots\dots(2.4)$$

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(2.5)$$

d. Fungsi laju kerusakan

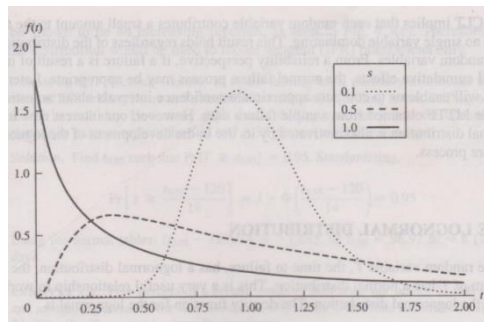
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \dots\dots\dots(2.6)$$

e. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \mu \dots\dots\dots(2.7)$$

2. Fungsi Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal memiliki dua parameter yaitu parameter bentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}) yang menjadi nilai tengah waktu kerusakan. Seperti ditribusi *Weibull*, distribusi lognormal memiliki bentuk yang bervariasi. Yang sering terjadi, biasanya data yang didekati dengan distribusi *Weibull* juga bisa didekati dengan distribusi lognormal (Ebeling, 1997). Dibawah ini adalah gambar fungsi lognormal :



Gambar 2. 6 Kurva Distribusi Lognormal

Sumber : Ebeling (1997)

Fungsi-fungsi dalam distribusi lognormal adalah sebagai berikut(Ebeling, 1997) :

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*)

$$f(t) = \frac{1}{t.s\sqrt{2\pi}} e \left\{ -\frac{1}{2s^2} \left[\frac{\ln t}{t_{med}} \right]^2 \right\} \dots\dots\dots(2.8)$$

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*cumulative density function*)

$$F(t) = \phi \left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$

c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = 1 - \phi \left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

d. Fungsi laju kerusakan

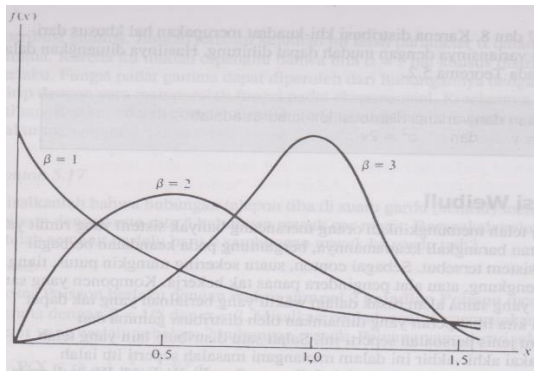
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \dots\dots\dots(2.11)$$

e. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = e \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \dots\dots\dots(2.12)$$

2. Fungsi Distribusi *Weibull*

Distribusi *weibull* adalah distribusi yang akhir-akhir ini biasa digunakan untuk menangani masalah dengan teknologi sekarang yang sangat rumit perancangan sistemnya, sistem keamanannya dan juga keandalan dari sistem tersebut. Sebagai contoh, suatu sekring putus, tiang baja melengkung, atau alat pengindra panas tidak bekerja. Komponen yang sama dalam lingkungan yang sama akan rusak dalam waktu yang berlainan yang tidak dapat diramalkan (Montgomery, 2005). Dibawah ini adalah gambar fungsi distribusi *Weibull* :



Gambar 2. 7 Kurva Distribusi *Weibull*

Sumber : Walpole dan Raymond (1995)

Fungsi-fungsi dalam distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut(Ebeling, 1997) :

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} e \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right] \dots\dots\dots(2.13)$$

Untuk $t > 0$

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*cumulative density function*)

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta} \right] \dots\dots\dots(2.14)$$

c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$R(t) = e \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta} \right] \dots\dots\dots(2.16)$$

d. Fungsi laju kerusakan

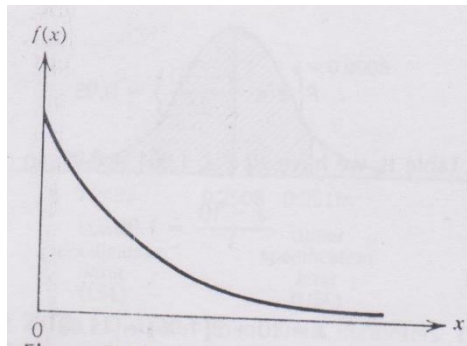
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots(2.17)$$

e. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \alpha \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots(2.18)$$

4. Fungsi Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial secara luas digunakan dalam bidang keandalan sebagai model dari interval waktu kerusakan dari sebuah komponen atau sebuah sistem (Montgomery, 2005). Dibawah ini adalah gambar fungsi distribusi eksponensial :



Gambar 2. 8 Kurva Distribusi Eksponensial

Sumber : Montgomery (1985)

Fungsi-fungsi dalam distribusi eksponensial adalah sebagai berikut(Ebeling, 1997) :

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.19)$$

Untuk $t \geq 0$; $\lambda \geq 0$; dan $t =$ waktu

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*cumulative density function*)

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \dots\dots\dots(2.20)$$

c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \dots\dots\dots(2.21)$$

d. Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \dots\dots\dots(2.22)$$

e. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.23)$$

2.2.10 Uji Kecocokan

Distribusi yang telah diamati selanjutnya harus dipertmbangkan agar sesuai dengan harapan. Distribusi yang telah diamati harus sesuai dengan nianilai teoritis yang telah ada agar bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Uji kecocokan distribusi yang gunakn adalah uji *Goodness of Fit*. Pengujian tersebut digunakan karena memiliki probablitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai (Ebeling, 1997).

Uji *Goodness of Fit* dibagi menjadi dua jenis yaitu uji umum (*General Test*) dan uji khusus (*Spesific Test*). Untuk *General Test* digunakan untuk ukuran sampel yang lebih besar dan menggunakan *Chi Square Test*. Sedangkan untuk *Spesific Test* digunakan untuk ukuran sampel yang lebih kecil dan menggunakan *Least Square Test*. Yang termasuk dalam *spesific Test* yaitu *Kolomgrov-Smirnov* untuk distribusi normal dan Lognormal, *Barlett Test* digunakan untuk untuk distribusi Eksponensial, dan *Mann’s Test* untuk distribusi *Weibull* (Ebeling, 1997).

1. *Kolmogrov-Smirnov Test* untuk distribusi normal dan lognormal

H0 : Data *time to failure* berdistribusi normal atau lognormal

H1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi normal atau lognormal

$$D_n = \max(D_1, D_2) \dots\dots\dots(2.24)$$

$$D_1 = \max \left\{ \phi \left(\frac{ti-\bar{t}}{s} \right) - \left(\frac{t-1}{n} \right) \right\} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$D_2 = \max \left\{ \left(\frac{i}{n} \right) - \phi \left(\frac{ti-\bar{t}}{s} \right) \right\} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ti-\bar{t})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.27)$$

- Keterangan :
- ti* : *time to failure* ke-1
 - \bar{t} : rata-rata *time to failure*
 - s* : *standar deviasi*
 - n* : banyaknya data

Jika $D_n < D_{tabel}$ maka H_0 diterima. D_{tabel} dilihat dari tabel *critical values for Kolmogrov-Smirnov Test for Normality (Lifors Test)*. Perbedaan penggunaan pengujian ini untuk distribusi normal dan lognormal adalah pada distribusi lognormal yaitu pada nilai $t_i = \ln(ti)$.

2. *Mann Test's* untuk distribusi *Weibull*

H_0 : Data *time to failure* berdistribusi *Weibull*

H_1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi *Weibull*

$$M = \frac{k_1 \sum[(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{k_2 \sum[(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$k_1 = \left[\frac{r}{n} \right] \dots\dots\dots(2.29)$$

$$k_2 = \left[\frac{r-1}{2} \right] \dots\dots\dots(2.30)$$

$$M_1 = Z_{i+1} - Z_i \dots\dots\dots(2.31)$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \dots\dots\dots(2.32)$$

- Keterangan :
- t_i : data antar waktu kerusakan ke-i
 - N : jumlah data antar kerusakan suatu komponen
 - M_1 : nilai pendekatan *Mann* untuk data ke-i
 - M : nilai perhitungan distribusi *Weibull*
 - $M_{0,05;k_2;k_1}$: nilai distribusi *Weibull*
 - r : banyaknya data
 - k_1 : $\left[\frac{r}{n} \right]$
 - k_2 : $\left[\frac{r-1}{2} \right]$

Apabila $M_{hitung} < F_{crit}$ maka H_0 diterima. Nilai F_{crit} diperoleh dari tabel distribusi F dengan $\alpha = 0,05$

3. *Barlett Test* untuk pengujian distribusi eksponensial

H_0 : Data *time to failure* berdistribusi eksponensial

H_1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi eksponensial

$$B = \frac{2r \left\{ \ln \left[\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right] - \left[\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right] \right\}}{1 + (r+1)/(6r)} \dots\dots\dots(2.33)$$

Keterangan : t_i : waktu kerusakan ke-i
 r : jumlah kerusakan

Data waktu antar kerusakan berdistribusi eksponensial apabila

$$X^2_{(1-\frac{\alpha}{2}, r-1)} < B < X^2_{(1-\frac{\alpha}{2}, r-1)} \dots\dots\dots(2.34)$$

2.2.11 Identifikasi Distribusi antar Waktu Kerusakan dan Perbaikan

a. Nilai tengah kerusakan

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \dots\dots\dots(2.35)$$

Keterangan :

i : data waktu ke-t

n : jumlah kerusakan

b. *Index of Fit*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n(\sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \dots\dots\dots(2.36)$$

2.2.12 Estimasi Parameter

Estimasi parameter masing - masing distribusi menggunakan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) untuk menentukan estimasi parameter paling maksimal. Dibawah ini adalah MLE untuk masing – masing distribusi :

a. Distribusi normal

$$\mu = \sum_{i=1}^n ti \dots\dots\dots(2.37)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ti-\mu)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.38)$$

Keterangan :

- ti : data waktu kerusakan ke-i
n : banyaknya data kerusakan
 μ : nilai tengah
 σ : standar deviasi

b. Distribusi lognormal

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln ti}{n} \dots\dots\dots(2.39)$$

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln ti - \hat{\mu})^2}{n}} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$t_{med} = e^{\mu} \dots\dots\dots(2.41)$$

Keterangan :

- ti : data waktu kerusakan ke-
n : banyaknya data kerusakan
 μ : nilai tengah
s : standar deviasi

c. Distribusi *Weibull*

$$\beta = b = \frac{n \sum xi yi - \sum xi \sum yi}{n \sum xi^2 - (\sum xi)^2} \dots\dots\dots(2.42)$$

$$a = \frac{\sum yi}{n} - \frac{b \sum xi}{n} \dots\dots\dots(2.43)$$

$$\theta = e^{-\frac{a}{\beta}} \dots\dots\dots(2.44)$$

Keterangan :

- ti : data waktu kerusakan ke-i

d. Distribusi Eksponensial

$$\lambda = \frac{n}{T} \dots\dots\dots(2.45)$$

Keterangan :

- n : jumlah kerusakan
- T : $\sum_{ti}^r ti$ yaitu jumlah waktu kerusakan

2.2.13. Mean Time to Failure

Mean time to failure adalah rata-rata selang waktu kerusakan dari distribusi kerusakan dan digunakan untuk memprediksi atau mempertimbangkan terjadinya suatu kerusakan saat suatu mesin atau suatu sistem berjalan normal.

Dibawah ini adalah nilai MTTF untuk masing – masing distribusi (Ebeling, 1997) :

a. Distribusi Normal

$$\mu = \text{MTTF} \dots\dots\dots(2.45)$$

b. Distribusi Lognormal

$$\text{MTTF} = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots\dots(2.46)$$

c. Distribusi Weibull

$$\text{MTTF} = \theta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \dots\dots\dots(2.47)$$

Nilai $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ didapat dari $\Gamma(x)$ = tabel fungsi gamma

d. Distribusi Eksponensial

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.48)$$

2.2.14. Mean Time to Repair

Mean time to repair adalah rata-rata selang waktu kerusakan dari probabilitas waktu perbaikan dan digunakan untuk memprediksi atau mempertimbangkan dilakukannya suatu perbaikan saat kerusakan terjadi.

Dibawah ini adalah nilai MTTR untuk masing – masing distribusi (Ebeling, 1997) :

a. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \dots\dots\dots(2.49)$$

b. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots\dots(2.50)$$

c. Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \dots\dots\dots(2.51)$$

Nilai $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ didapat dari $\Gamma(x)$ = tabel fungsi gamma

d. Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.52)$$

2.2.15. Model Perawatan

1. Model Perawatan *Age Replacement* Berdasarkan *Downtime*

Pada model ini penggantian pencegahan dilakukan tergantung pada umur pakai dari komponen. Tujuan model ini menentukan umur optimal dimana penggantian pencegahan harus dilakukan sehingga dapat meminimasi total *downtime* (Jardine, 1973). Formulasi perhitungan model *Age replacement* adalah sebagai berikut (Jardine, 1973) :

$$D(tp) = \frac{TpR(tp) + Tf\{1-R(tp)\}}{(tp + Tp)R(tp) + \{M(tp) + Tf\}\{1-R(tp)\}} \dots\dots\dots(2.53)$$

Keterangan

- D(tp) : Total *downtime* per unit waktu untuk penggantian preventif
- tp : Panjang dari siklus (interval waktu) preventif
- Tp : *Downtime* karena tindakan preventif (waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena tindakan preventif)
- Tf : *Downtime* karena kerusakan komponen (waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena kerusakan)
- R(tp) : peluang dari siklus preventif (pencegahan)
- M(tp) : Nilai harapan panjang siklus kerusakan (kegagalan)

2. Keandalan Komponen Sebelum dan Sesudah Diterapkan Metode Perawatan Pencegahan

Dalam teknologi yang semakin rumit, untuk melakukan peningkatan keandalan dapat menggunakan model perawatan pencegahan. Model perawatan pencegahan dapat meminimalisir *wearout* suatu komponen atau sistem dan dapat mengetahui umur mesin dengan signifikan. Model perawatan ini mengasumsikan bahwa keandalan mesin atau suatu sistem kembali ke kondisi semula setelah dilakukannya perawatan pencegahan (Ebeling, 1997). Formulasi keandalan saat t adalah sebagai berikut :

$$R_m(t) = R(t) \text{ untuk } 0 \leq t \leq T \dots\dots\dots(2.54)$$

$$R_m(t) = R(t) \cdot R(t - T) \text{ untuk } T \leq t \leq 2T \dots\dots\dots(2.55)$$

Keterangan

T : interval waktu penggantian pencegahan kerusakan

$R_m(t)$: keandalan dari sistem perawatan pencegahan

$R(t)$: keandalan sistem tanpa perawatan pencegahan

$R(T)$: peluang dari keandalan hingga perawatan pencegahan pertama

$R(t-T)$: peluang dari keandalan antar $t-T$ setelah sistem dikembalikan pada kondisi awal saat T

3. Interval Waktu Pemeriksaan Berdasarkan *Downtime*

Pemeriksaan bertujuan untuk mengetahui apakah suatu komponen atau peralatan masih dalam keadaan baik atau perlu dilakukannya perbaikan atau penggantian.

Dibawah adalah formulasi menghitung interval waktu pemeriksaan :

$$k = \frac{\text{jumlah kerusakan pada periode}}{\text{waktu produktif selama periode}} \dots\dots\dots(2.56)$$

$$\mu = \frac{\text{jam kerja per bulan}}{MTTR} \dots\dots\dots(2.57)$$

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{\text{rata-rata waktu pemeriksaan}} \dots\dots\dots(2.58)$$

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} \dots\dots\dots(2.59)$$

$$\text{interval waktu pemeriksaan} = \frac{1}{n} \times \text{jam kerja per bulan} \dots\dots\dots(2.60)$$

Keterangan

- k : Rata-rata jumlah kerusakan tiap bulan
- μ : Rasio jam kerja sebulan terhadap rata-rata waktu perbaikan
- 1/i : Rasio jam kerja sebulan terhadap waktu pemeriksaan
- n : Frekuensi pemeriksaan optimal tiap bulan