

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan penelitian, diperlukan tinjauan pustaka untuk mendukung proses penelitian. Pada bab ini akan dibahas mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan berkaitan dengan topik penelitian dan dapat dijadikan pandangan serta gambaran mengenai penelitian yang akan dilakukan. Pada bab ini juga menyajikan studi pustaka yang dapat dijadikan acuan dalam penelitian.

2.1 Penelitian yang Relevan

Berikut merupakan penelitian-penelitian yang relevan dengan penelitian ini:

1. Immawan (2008), melakukan penelitian di PT. Pura Barutama unit Konverta yang merupakan grup perusahaan industri percetakan kertas terbesar di Indonesia. Objek penelitian yang diteliti adalah mesin-mesin dalam lini produksi Kertas NCR agar dapat mengatasi permasalahan diatas, perlu dibuat usulan untuk perawatan pencegahan dan interval waktu pemeriksaan optimal pada mesin-mesin *coating* tersebut dengan menggunakan kriteria minimasi *downtime*. Hasil penelian menunjukkan bahwa mesin *coating* Adler IIB adalah mesin kritis berdasarkan persentase *downtime* 30,89 % dari *downtime* semua mesin *coating* sedangkan komponen rantai transfer diidentifikasi sebagai komponen kritis berdasarkan *downtime* sebesar 13250 menit dari perhitungan tersebut didapatkan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) pada suatu data kerusakan, dimana nilai MTTF dan MTTR digunakan untuk melakukan perhitungan interval waktu pemeriksaan dan pencegahan yang bertujuan meminimasi *downtime* dan dari hasil pengolahan data didapat interval waktu pemeriksaan pada komponen rantai transfer adalah selama selang waktu 240 jam sekali dengan frekuensi sebesar 3 kali sebulan. Interval waktu perawatan pencegahan optimal pada komponen rantai transfer adalah selama selang waktu 16531,5221 menit sejak komponen pertama kali beroperasi setelah dilakukan pergantian baru. Waktu perbaikan yang optimal pada komponen rantai transfer adalah maksimal selama 106,4181 menit setiap kali *shutdown*.
2. Djunaidi (2008), melakukan penelitian terhadap komponen di mesin *mould gear* pada PT. KCI. Perawatan yang dilakukan selama ini hanya bersifat *corrective*

maintenance. Usulan dalam perawatan pencegahan ini difokuskan pada komponen kritis pada *mould gear*. Data yang digunakan merupakan data kerusakan komponen bulan Juli 2006. Metode yang digunakan untuk menentukan interval waktu penggantian pencegahan adalah metode *Age Replacement* yaitu menentukan interval penggantian pencegahan berdasarkan umur optimal komponen *mould* dan *blow head*. Hasil dari penelitiannya adalah diketahuinya interval waktu penggantian pencegahan dengan metode *Age Replacement* untuk komponen *mould* selama 49 jam dan *blow head* selama 42 jam. Nilai *availability* untuk *mould gear* setelah dilakukannya perawatan berupa penggantian pencegahan adalah sebesar 86,287 %.

3. Rohman (2012), melakukan penelitian terhadap mesin *vertical dryer*, yaitu mesin yang digunakan untuk menurunkan kadar air ubin mentah yang baru keluar dari mesin press hidrolik di PT. PCI. Salah satu permasalahan di PT. PCI adalah tingginya tingkat korektif pada mesin *vertical dryer* hingga sering menimbulkan *downtime* pada saat proses produksi sedang berlangsung. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Reliability Centered Maintenance*. Hasil penelitian yang didapat berupa interval perawatan pada komponen-komponen mesin *vertical dryer* yang memiliki tingkat kegagalan potensial yaitu *reducer* dengan interval waktu perawatan 898,5 jam, *motor break* dengan interval waktu perawatan 1.213,8 jam, *row spindle* dengan interval waktu perawatan 537,6 jam, rantai dengan interval waktu perawatan 390,9 jam, *van belt* dengan interval waktu perawatan 434,1 jam, *valve hidrolic* dengan interval waktu perawatan 801,9 jam, roll dengan interval waktu perawatan 426,3 jam dan rantai dengan interval waktu perawatan 429,3 jam. Total biaya perawatan berdasarkan pada interval perawatan pada mesin *vertical dryer* adalah Rp 5.012.532 dengan *Reliability* adalah 4 tahun, sedangkan total biaya perawatan awal pada perusahaan adalah Rp 6.882.518 dengan *Reliability* adalah 4 tahun. Efisiensi biaya perawatan sesuai pada biaya perawatan awal dengan biaya perawatan usulan adalah 27,15%.
4. Kirana (2012), melakukan penelitian terhadap kegiatan perawatan yang tepat sesuai dengan karakteristik kerusakan serta interval waktu kegiatan perawatan pada mesin corazza FF100 dengan analisis *Reliability Centered Maintenance* yang menekankan pada karakteristik keandalan. Tahapan dalam RCM yaitu pengukuran kualitatif dilakukan dengan membuat *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi penyebab serta efek terjadinya kegagalan komponen. Penggunaan *Logic Tree Analysis* (LTA) untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan dan

untuk pemilihan tindakan perawatan. Hasil penelitian ini berdasarkan RCM untuk menentukan *maintenance task* yang sesuai dan didapatkan 67 *maintenance task*. Terdapat 17 *schedule discard task*, 15 *schedule restoration task*, 31 *schedule on condition* dan 4 *failure finding*. Interval waktu perawatan ditentukan berdasarkan kebijakan perawatannya dengan mempertimbangkan karakteristik kerusakan, parameter distribusi dan biaya perawatan.

Berikut merupakan perbandingan dari keempat penelitian yang relevan diatas dengan penelitian ini:

Tabel 2.1 Perbandingan keempat penelitian dengan penelitian ini

Peneliti (tahun)	Obyek	Tujuan Penelitian
Immawan (2008)	Mesin <i>Coating</i> Adler IIB	Penentuan Waktu Perawatan Pencegahan dan Interval Waktu Pemeriksaan Optimal pada Komponen Kritis
Djunaidi (2008)	Mesin Pencetak Botol (<i>Mould Gear</i>)	Interval Perawatan Komponen Kritis Berdasarkan Kriteria Minimasi
Rohman (2012)	Komponen-komponen Mesin Vertical Dryer	Interval Perawatan Komponen-komponen Menggunakan Metode <i>Reliability Cetered Maintenance</i>
Kirana (2012)	Mesin Corazza FF100	Perencanaan Kebijakan Perawatan dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance II</i>
Penelitian ini (2016)	Conveyor 1	Penentuan Interval Perawatan Komponen Kritis Berdasarkan Nilai <i>Availability</i>

2.2 Perawatan

Menurut Assauri (1999) perawatan merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas dan peralatan pabrik, dan mengadakan perbaikan, penyesuaian, atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi yang memuaskan, sesuai dengan yang direncanakan. Dengan adanya perawatan diharapkan semua fasilitas dan mesin yang dimiliki oleh perusahaan dapat dioperasikan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Perawatan mempunyai peranan yang sangat menentukan dalam kegiatan produksi dari suatu perusahaan yang menyangkut kelancaran atau kemacetan produksi, kelambatan dan volume produksi. Dengan demikian, perawatan memiliki fungsi yang sama pentingnya dengan fungsi-fungsi lain dari suatu perusahaan.

Pemeliharaan yang dilakukan dengan baik akan berdampak kepada meningkatnya kinerja perusahaan, target produksi yang dapat terpenuhi tepat waktu, maupun investasi yang dialokasikan untuk peralatan dan mesin yang dapat diminimasi.

2.3 Tujuan Perawatan

Ada beberapa hal yang menjadi tujuan utama dilakukannya aktivitas perawatan mesin, yaitu (Assauri, 1999):

1. Menjaga agar kualitas produk berada pada tingkat yang diharapkan guna memenuhi apa yang dibutuhkan produk itu sendiri dan menjaga agar kegiatan produksi tidak mengalami gangguan.
2. Mempertahankan kemampuan alat atau fasilitas produksi guna memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan target serta rencana produksi.
3. Mengurangi pemakaian dan penyimpangan diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan.
4. Memperhatikan dan menghindari kegiatan – kegiatan operasi mesin serta peralatan yang dapat membahayakan keselamatan kerja.
5. 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.
6. Mencapai tingkat biaya serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien untuk keseluruhannya.

2.4 Jenis-jenis Perawatan

Kegiatan perawatan atau pemeliharaan berdasarkan Ebling (1997) dapat dibedakan ke dalam dua tipe yaitu sebagai berikut :

1. *Reactive maintenance*, merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan sebagai respon terhadap *downtime* unit yang tidak terencana seperti *corrective maintenance* atau sering juga disebut *breakdown maintenance*.
2. *Proactive maintenance*, merupakan pemeliharaan yang dilakukan secara terencana tanpa menunggu mesin rusak terlebih dahulu sehingga dapat meminimasi kemungkinan terjadinya *downtime* akibat kerusakan mesin. Yang termasuk *proactive maintenance* adalah *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.

2.4.1 Corrective Maintenance

Corrective maintenance atau dikenal juga sebagai *breakdown maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian yang telah terhenti karena terjadinya kerusakan, dengan harapan untuk mengembalikan keadaan semula (Ebling, 1997). Dengan kata lain, *corrective maintenance* merupakan kegiatan reparasi yang dilakukan setelah suatu bagian mengalami kerusakan atau berfungsi tidak sebagaimana mestinya.

Apabila perusahaan hanya mengambil kebijakan untuk melakukan *corrective maintenance* saja maka kelancaran proses produksi yang berjalan di perusahaan tersebut tidak dapat dipastikan kelancarannya. Oleh karena itu, kebijakan untuk melakukan *corrective maintenance* saja akan mengakibatkan kegiatan produksi terganggu bahkan terhambat apabila terjadi suatu kerusakan yang tiba-tiba pada fasilitas produksi yang digunakan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *corrective maintenance* memusatkan permasalahan setelah permasalahan itu terjadi, bukan menganalisa masalah untuk mencegahnya agar tidak terjadi.

2.4.2 Preventive Maintenance

Preventive maintenance (Ebling, 1997) merupakan perawatan yang dilakukan secara terjadwal yang umumnya bersifat periodik dimana sejumlah tugas pemeliharaan seperti inspeksi, pemeliharaan, penggantian, pembersihan, pelumasan dan penyesuaian dilakukan. *Preventive maintenance* umumnya dilakukan berdasarkan data kerusakan yang pernah terjadi sebelumnya. Dengan dilaksanakannya *preventive maintenance* secara teratur maka kejadian-kejadian yang tidak terduga yang dapat mengganggu bahkan menghambat kelancaran proses produksi diharapkan dapat diminimasi. Dengan demikian semua fasilitas atau mesin yang mendapat tindakan *preventive maintenance* dapat terjamin kelancaran kerjanya dan selalu dalam keadaan optimal untuk melakukan kegiatan proses produksi.

2.4.3 Predictive Maintenance

Predictive maintenance menurut Amrine (1982) adalah pemeliharaan yang dilakukan melalui analisa secara fisik terhadap peralatan atau komponen dengan bantuan

intrumen tertentu seperti alat pengukur getaran, termometer, barometer, dan alat pengukur lain yang dapat mendeteksi kerusakan sedini mungkin. Kelemahan *predictive maintenance* ini sendiri adalah tidak semua jenis kerusakan dapat diprediksi karena tidak semua gejala kerusakan dapat diukur secara fisik.

2.5 Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan atau *availability* didefinisikan sebagai probabilitas untuk dapat menemukan suatu sistem untuk melakukan fungsi yang diperlukan pada suatu periode tertentu. *Availability* berhubungan dengan probabilitas suatu peralatan untuk melakukan operasionalnya. Secara matematis *availability* dapat dinyatakan dengan rasio antara selisih *loading time* dan *downtime* dengan *loading time* itu.

$$Availability = \frac{Loading\ time - Downtime}{Downtime} \quad (2-1)$$

$$Availability = \frac{Loading\ Time - \{frekuensi\ (P(corrective) \times TTR_{corrective})\}}{Loading\ Time} \quad (2-2)$$

Dimana: $P(corrective)$ = probabilitas dilakukannya *corrective*

$TTR\ corrective$ = waktu perbaikan *corrective*

2.6 Konsep Keandalan

Banyak perusahaan mengharapkan keandalan tidak hanya pada produk yang dihasilkan tetapi juga pada peralatan dan mesin yang digunakan. Hal tersebut disebabkan jika peralatan maupun mesin yang ada mempunyai tingkat keandalan yang rendah dapat mempengaruhi kerugian yang dialami. Konsep tentang keandalan dapat membantu memberikan solusi dari permasalahan yang berhubungan dengan manajemen perawatan. Dengan mengetahui tingkat keandalan dari peralatan maupun mesin, dapat membantu mengetahui kapan sebaiknya waktu penggantian komponen dilakukan. Sehingga dapat mengurangi kerugian produksi yang disebabkan oleh berhentinya mesin karena mengalami kerusakan.

2.5.1 Definisi Keandalan

Menurut Ebeling (1997:5), keandalan merupakan probabilitas suatu peralatan atau komponen dapat berfungsi dengan baik dalam suatu periode waktu ketika digunakan berdasarkan kondisi operasi yang ditetapkan. Selain itu keandalan dapat diartikan sebagai probabilitas sebuah komponen, peralatan, atau sistem yang akan menjalankan fungsi yang telah ditetapkan untuk periode waktu tertentu dengan kondisi yang telah ditentukan

(Lewis, 1987:1) menurut pengertian umum, keandalan dapat dikatakan sebagai sebuah patokan atau standar kemampuan dari suatu komponen untuk dapat berfungsi pada kondisi operasi tertentu selama selang waktu tertentu. Berdasarkan definisi di atas dapat disimpulkan bahwa keandalan adalah probabilitas mesin berfungsi baik pada selang waktu tertentu pada kondisi operasi yang telah ditetapkan.

Pengetahuan mengenai keandalan suatu sistem terlebih dahulu harus memperhatikan laju kerusakan dari suatu sistem. Laju kerusakan suatu sistem umumnya digambarkan dalam *bathtub curve*. Penjelasan mengenai *burn in period*, *useful life*, dan *wear out period* adalah sebagai berikut.

1. *Burn in period* merupakan kondisi yang terjadi pada fase awal penggunaan suatu alat dimana laju kerusakan terus menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Kerusakan yang mungkin ditimbulkan pada fase ini adalah kerusakan yang diakibatkan oleh kurangnya pengetahuan yang dimiliki oleh operator dalam menggunakan alat tersebut, rendahnya *quality control*, dan lain-lain.
2. *Useful life* merupakan fase dimana kerusakan yang timbul relative konstan dan salah satu penyebabnya adalah akibat *human error*.
3. *Wear out period* merupakan fase akhir dari suatu penggunaan alat. Fase ini ditandai dengan terjadinya peningkatan kerusakan serta penurunan fungsi dari peralatan tersebut. Pada umumnya, kerusakan yang timbul pada fase ini disebabkan oleh korosi, umur, dan *fatigue* alat yang digunakan.

Waktu merupakan variable terpenting yang berkaitan dengan keandalan suatu sistem. Dalam hal ini dihubungkan dengan laju kerusakan (*failure rate*), biasanya factor yang dipakai dalam menilai keandalan suatu sistem dikaitkan dengan keadaan tertentu, misalnya waktu antara dua kerusakan (*mean time to failure*) dan waktu rata-rata antara dua perbaikan (*mean time between maintenance*). Keandalan suatu komponen adalah peluang bahwa komponen tersebut akan berfungsi sebagaimana mestinya selama paling sedikit sampai jangka waktu t , dalam kondisi lingkungan tertentu. Fungsi keandalan suatu komponen dilambangkan sebagai $R(t)$.

Memahami penyebab terjadinya kegagalan dapat menurunkan keandalan. Beberapa hal yang menyebabkan kegagalan terjadi adalah:

1. *Item* tidak sesuai dengan tujuan dibuat atau digunakan

2. Kegagalan disebabkan oleh *wear-out*
3. Spesifikasi yang berbeda dapat menyebabkan kegagalan
4. Informasi yang salah mengenai *item* dapat menyebabkan kegagalan
5. *Item* dibuat untuk lingkungan operasi spesifik dan jika digunakan pada lingkungan yang tidak sesuai maka dapat menyebabkan kegagalan

2.5.2 Fungsi Keandalan

Jika t adalah variabel random yang menentukan umur dari sebuah komponen dengan fungsi distribusi $F(t)$. Jika $F(t)$ adalah fungsi diferensial maka fungsi kepadatan peluang (Daya,2009:52):

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2-3)$$

Maka fungsi keandalan dari sebuah komponen adalah sebagai berikut (Daya,2009:52):

$$R(t) = P(T > t) = 1 - P(T \leq t) = 1 - F(t) \quad (2-4)$$

Dimana: $f(t)$ = fungsi padat peluang
 $F(t)$ = probabilitas kegagalan
 $R(t)$ = keandalan (*reliability*)

2.5.3 Laju Kegagalan

Laju kegagalan dari sebuah sistem selama interval $[t, t + \Delta t]$ adalah probabilitas kegagalan dibandingkan unit waktu terjadinya di dalam interval, mengingat bahwa kegagalan tidak terjadi sebelum waktu t , waktu awal pada interval. Laju kegagalan atau biasa juga disebut *hazard function* didefinisikan sebagai batas tingkat kegagalan dengan interval mendekati nol. Rumus laju kegagalan adalah sebagai berikut (Daya, 2009:52)

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t R(t)} = \frac{1}{R(t)} = \left(\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} \right) = \frac{1}{R(t)} \frac{dF(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2-5)$$

Dimana: f = banyak kegagalan selama jangka waktu operasi
 t = total waktu operasi

2.6 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean time to failure (MTTF) adalah waktu rata-rata di antara dua kegagalan. Selain itu MTTF dapat didefinisikan sebagai nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan yang didefinisikan oleh $f(t)$. rumus MTTF adalah sebagai berikut (Rausand,2004:22):

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2-6)$$

2.7 Mean Time To Repair (MTTR)

Mean time to repair (MTTR) adalah waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap terjadinya *breakdown* suatu mesin. MTTR diperoleh dengan menggunakan rumus (Sudrajat, 2011:89)

$$\begin{aligned} MTTR &= \frac{\text{waktu total-downtime-waktu yang tidak dimanfaatkan}}{\text{jumlah kerusakan}} \\ &= \frac{\text{total waktu terhentinya alat akibat kerusakan}}{\text{jumlah kerusakan}} \end{aligned} \quad (2-7)$$

2.8 Model-model Distribusi Kegagalan

Distribusi kegagalan dan probabilitas kegagalan harus diketahui untuk menentukan periode terjadinya kegagalan. Distribusi kegagalan diperlukan dalam perhitungan MTTF dan MTTR. Distribusi yang digunakan umumnya terdiri dari distribusi normal, lognormal, eksponensial maupun *weibull*.

2.8.1 Distribusi Normal

Pada distribusi normal parameter yang digunakan adalah μ sebagai nilai tengah dan σ sebagai standar deviasi. Bentuk kurva dari distribusi normal adalah menyerupai bentuk lonceng sehingga memiliki nilai simetris terhadap nilai rata-rata dua parameter bentuk yaitu μ dan σ^2 . Menurut Ebeling (1997:71) parameter μ memiliki sembarang nilai baik positif maupun negative, sedangkan parameter σ selalu memiliki nilai positif. Fungsi-fungsi distribusi normal adalah (Ebeling, 1997:69):

- 1 Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-8)$$

- 2 Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-9)$$

- 3 Fungsi kepadatan peluang

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{1-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2-10)$$

- 4 Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{1-\mu}{\sigma}\right)} \quad (2-11)$$

5 MTTF distribusi eksponensial

$$\text{MTTF} = \mu \quad (2-12)$$

2.8.2 Distribusi Lognormal

Selang waktu antar kerusakan dari komponen dikatakan memiliki distribusi lognormal dengan parameter bentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}). Seperti distribusi Weibull, distribusi lognormal memiliki bentuk yang bervariasi, yang sering terjadi biasanya adalah data yang dilakukan pendekatan dengan distribusi Weibull juga bisa dilakukan pendekatan dengan distribusi lognormal. Fungsi-fungsi distribusi lognormal adalah (Rausand, 2004:43)

1 Fungsi keandalan

$$R(t) = \Pr(T > t) = \Pr(\ln T > \ln t) = P\left(\frac{\ln T - v}{\tau} > \frac{\ln t - v}{\tau}\right) = \Phi\left(\frac{v - \ln t}{\tau}\right) \quad (2-13)$$

2 Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = 1 - \Phi\left(\frac{v - \ln t}{\tau}\right) \quad (2-14)$$

3 Fungsi kepadatan peluang

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\tau\sigma} e^{-(\ln t - v)^2 / 2\tau^2} \quad (2.13)$$

4 Fungsi laju kerusakan

$$z(t) = -\frac{d}{dt} (\ln \Phi\left(\frac{v - \ln t}{\tau}\right)) = \frac{\Phi\left(\frac{(v - \ln t)/\tau}{\tau}\right)}{\Phi\left(\frac{(v - \ln t)/\tau}{\tau}\right)} \quad (2.14)$$

5 MTTF distribusi eksponensial

$$\text{MTTF} = t_m e^{\frac{\tau^2}{2}} \quad (2.15)$$

2.8.3 Distribusi Eksponensial

Distribusi kegagalan yang memiliki tingkat kegagalan yang konstan disebut distribusi kegagalan eksponensial. Distribusi eksponensial merupakan salah satu distribusi keandalan yang paling penting. Jika selang waktu antar kerusakan dari suatu komponen adalah berdistribusi secara eksponensial, parameternya adalah λ , yang menunjukkan nilai rata-rata kerusakan yang terjadi. Fungsi-fungsi distribusi eksponensial adalah (Rausand, 2004:26):

1 Fungsi keandalan

$$R(t) = \Pr(T > t) = \int_0^\infty f(u) du = e^{-\lambda t} \quad (2-15)$$

- 2 Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2-16)$$

- 3 Fungsi kepadatan peluang

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2-17)$$

- 4 Fungsi laju kerusakan

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \quad (2-18)$$

- 5 MTTF distribusi eksponensial

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2-19)$$

2.8.4 Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi kegagalan yang muncul pada semua karakteristik kegagalan produk. Distribusi *Weibull* sering digunakan sebagai pendekatan untuk mengetahui karakteristik fungsi kerusakan. Jika selang waktu antar kerusakan (*time to failure*) dari suatu komponen adalah t mengikuti distribusi *Weibull* dengan θ sebagai parameter scale dan β sebagai parameter bentuk. Fungsi-fungsi distribusi *Weibull* adalah (Ebeling, 1997:59):

- 1 Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (2-20)$$

- 2 Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (2-21)$$

- 3 Fungsi kepadatan peluang

$$f(t) = \frac{dR(t)}{dt} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (2-22)$$

- 4 Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (2-23)$$

- 5 MTTF distribusi eksponensial

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-24)$$

2.8.4.1 Pengujian Weibull 2 Parameter

Pengujian distribusi *Weibull* dua parameter digunakan untuk mengetahui data yang ada mengikuti pola distribusi *Weibull* atau tidak. Salah satu metode pengujian yang

digunakan adalah dengan *Mann's test* (Ebeling,1997) dengan langkah-langkah pengujian distribusi Weibull dua parameter adalah sebagai berikut:

1. Menentukan hipotesis
2. Tentukan nilai α (taraf nyata), n (banyaknya pengamatan), dan r (banyaknya data pengamatan yang tidak tersensor)
3. Menghitung nilai k_1 dan k_2 dengan menggunakan rumus:

$$k_1 = \frac{r}{2} \quad (2-25)$$

$$k_2 = \frac{r-1}{2} \quad (2-26)$$

4. Menghitung nilai Z_i masing-masing dengan menggunakan rumus:

$$Z_i = Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad (2-27)$$

5. Menghitung nilai Mann (M) masing-masing dengan menggunakan rumus:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}} \quad (2-28)$$

6. Membandingkan nilai M dengan nilai F tabel yang disesuaikan dengan derajat kebebasan, jika nilai $M < F_{\alpha;v_1;v_2}$ maka H_0 diterima

2.8.4.2 Estimasi Parameter Weibull 2 Parameter

Setelah diketahui data kerusakan mengikuti distribusi Weibull 2 parameter, maka dilakukan estimasi parameter, yaitu mencari estimasi nilai θ (parameter *scale*) dan β (parameter bentuk). Untuk perhitungan estimasi parameter, metode yang digunakan adalah dengan pendekatan regresi linier. Misalkan $t_1, t_2, \dots, t_n$ adalah sejumlah data waktu antar kerusakan sistem yang telah disusun menurut urutan terkecil, untuk setiap t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) berlaku hubungan sebagai berikut:

$$F(t_i) = \frac{1-0,3}{n+0,4} \quad (2-29)$$

$$x_i = \ln(t_i) \quad (2-30)$$

$$y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \quad (2-31)$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *intercept* (a) dan *slope* (b), kemudian menghitung nilai θ dan β dengan cara berikut:

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2-32)$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b \sum x_i}{n} \quad (2-33)$$

$$\beta = b \quad (2-34)$$

$$\theta = e^{-\frac{a}{\beta}} \quad (2-35)$$

2.8.4.3 Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk Distribusi Weibull 2 Parameter

Setelah parameter dari distribusi Weibull 2 parameter diketahui, maka nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dapat dihitung. Nilai MTTF merupakan nilai yang menunjukkan selang waktu dari waktu *part* atau komponen mulai digunakan sampai *part* atau komponen mengalami kerusakan. Oleh karena itu, nilai MTTF dapat digunakan sebagai perkiraan umur hidup *part* atau komponen. Perhitungan untuk nilai MTTF yaitu:

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2-36)$$

2.9 *Goodness-of-Fit Test*

Goodness-of-Fit Test yang disebut juga uji kecocokan adalah suatu test yang digunakan untuk membandingkan distribusi frekuensi pengamatan dan pencocokan nilai yang diharapkan atau teori-teori distribusi. Tekniknya adalah dengan menggunakan tipe yang ada pada *Goodness-of-Fit Test*. Penggunaan dari test tersebut adalah untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang cukup signifikan antar banyaknya sampel yang diamati dari objek yang masuk dalam masing-masing kategori dengan banyaknya yang diharapkan berdasarkan H_0 .

Menurut Ebeling (1997:392) terdapat dua jenis *Goodness-of-Fit Test* yaitu general test yang dapat digunakan untuk lebih dari satu jenis distribusi dan *specific test* yang digunakan hanya untuk lebih dari satu jenis distribusi saja. *General test* terdiri atas *Chi-square Goodness-of-Fit Test*, sementara itu *specific test* terdiri untuk distribusi Weibull, eksponensial, normal dan lognormal.

2.9.1 *Chi-Square Goodness-of-Fit Test*

Chi-Square Goodness-of-Fit Test adalah suatu uji untuk menentukan apakah suatu populasi memiliki distribusi teoritik tertentu. Uji ini didasarkan pada seberapa baik kesesuaian antara frekuensi yang teramati dalam data. Test ini dapat digunakan pada distribusi kontinyu dan diskrit. *Chi-Square Goodness-of-Fit Test* cocok untuk jumlah data banyak dan dapat dikategorikan datanya. Data yang akan diuji akan menggunakan *Chi-Square Goodness-of-Fit Test* harus dikelompokkan ke dalam kelas. Rumus as adalah (Ebeling, 1997:393):

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2-37)$$

Dimana:

k = jumlah kelas

O_i = frekuensi observasi (teramati) pada kelas ke i

$E_i = n p_i$ = frekuensi harapan (ekspektasi) pada kelas ke i

n = total yang berisiko (ukuran sampel)

p_i = probabilitas dari kerusakan pada kelas ke i jika H_0 diterima

2.9.2 *Bartlett's Test for The Exponential Distribution*

Bartlett's Test digunakan untuk menguji apakah k sampel memiliki varians yang sama. Rumus *Bartlett's Test* adalah (Ebeling, 1997:399):

H_0 = waktu kerusakan berdistribusi eksponensial

H_1 = waktu kerusakan tidak berdistribusi eksponensial

$$B = \frac{2r \left[\ln \left(\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right) - \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1/(r+1)/(6r)} \quad (2-38)$$

Dimana = t_i = waktu kerusakan unit ke i

r = jumlah kegagalan

2.9.3 *Mann's Test for The Weibull Distribution*

Rumus *Mann's Test* adalah (Ebeling, 1997:400):

H_0 = waktu kerusakan berdistribusi Weibull

H_1 = waktu kerusakan tidak berdistribusi Weibull

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]} \quad (2-39)$$

Dimana $k_1 = \frac{r}{2}$

$k_2 = \frac{r-1}{2}$

$$M_1 = Z_{i+1} - Z_i$$

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

2.9.4 Kolmogorov-Smirnov Test for Normal and Lognormal Distribution

Kolmogorov-Smirnov Test adalah suatu uji non parametric untuk perbedaan antar distribusi-distribusi kumulatif, sebuah sampel uji menyangkut persesuaian antar distribusi kumulatif yang diteliti dari nilai-nilai sampel dan fungsi distribusi kontinyu yang spesifik. Uji satu sampel menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Test* secara umum lebih efisien dibandingkan dengan uji *Chi-Square* untuk *Goodness-of-Fit Test* pada sampel dalam jumlah kecil, dan dapat digunakan untuk sampel yang sangat kecil, dimana di dalam uji *Chi-Square* tidak dapat diterapkan. Namun harus diingat bahwa uji *Chi-Square* dapat digunakan dalam hubungannya dengan distribusi diskrit, mengingat uji *Kolmogorov-Smirnov Test* tidak dapat digunakan. Rumus *Kolmogorov-Smirnov Test* adalah (Ebeling, 1997:402):

H_0 = waktu kerusakan berdistribusi normal

H_1 = waktu kerusakan tidak berdistribusi normal

$$D_n = \max \{D_1, D_2\} \quad (2-40)$$

Dimana :

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{ti-t}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\}$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{ti-t}{s} \right) \right\}$$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{ti}{n}$$

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

2.10 Failure Mode, Effects and Analysis (FMEA)

Failure Mode, Effects and Analysis (FMEA) adalah suatu cara dimana suatu bagian atau suatu proses yang mungkin gagal memenuhi suatu spesifikasi, menciptakan cacat atau ketidaksesuaian dan dampaknya pada kelancaran produksi bahkan terhadap kepuasan pelanggan apabila mode kegagalan itu tidak dikoreksi (Kenneth Crow, 2002). FMEA biasanya dilakukan selama tahap konseptual dan tahap awal design dari sistem dengan tujuan untuk meyakinkan bahwa semua kemungkinan kegagalan telah

dipertimbangkan dan usaha yang tepat untuk mengatasinya telah dibuat untuk meminimasi semua kegagalan-kegagalan yang potensial (Kevin A. Lange, 2001). FMEA juga dapat membantu meningkatkan keakuratan dari perkiraan terhadap peluang dari kegagalan.

Definisi serta pengurutan ranking dari berbagai terminology dalam FMEA adalah sebagai berikut :

1. Akibat potensial adalah akibat yang dirasakan atau dialami oleh pengguna akhir.
2. Mode kegagalan potensial adalah kegagalan atau kecacatan dalam desain yang menyebabkan cacat itu tidak berfungsi sebagaimana mestinya.
3. Penyebab potensial dari kegagalan adalah kelemahan-kelemahan desain perubahan dalam variable yang akan mempengaruhi preses dan menghasilkan kecacatan produk.
4. *Occurance* (O) adalah suatu perkiraan tentang probabilitas atau peluang bahwa penyebab akan terjadi dan menghasilkan modus kegagalan yang menyebabkan akibat tertentu.
5. *Severity* (S) adalah suatu perkiraan subyektif tentang bagaimana buruknya pengguna akhir akan merasakan akibat dari kegagalan tersebut.
6. *Detectability* (D) adalah perkiraan subyektif tentang bagaimana efektifitas dan metode pengolahan atau pendeteksian.
7. *Risk Priority Number* (RPN) merupakan hasil perkalian antara rating *occurance*, *severity*, dan *detection*.

2.4.1 Proses FMEA

Proses FMEA merupakan sebuah teknik analisis yang digunakan oleh tim manufaktur yang bertanggung jawab dalam mencari penyebab yang berkaitan yang telah dipertimbangkan dan disusun ke dalam bentuk form yang tepat. Sebuah FMEA merupakan ringkasan dari pemikiran tim *engineering* sebagaimana proses dikembangkan (Kevin A. 2001).

Sebuah FMEA dapat digunakan untuk mengidentifikasi cara-cara kegagalan yang potensial untuk sebuah produk diproses, salah satunya dengan mengetahui nilai *risk priority number* (RPN). Metode RPN merupakan sebuah teknik untuk menganalisa resiko yang berkaitan dengan masalah-masalah yang potensial yang telah diidentifikasi selama pembuatan FMEA (Stamatis, DH 1995). Metode RPN kemudian memerlukan

analisa dari tim untuk menggunakan data masa lampau dan keputusan *engineering* untuk memberikan peringkat pada setiap potensial masalah menurut rating skala berikut:

1. *Severity*, merupakan skala yang memeringkatkan *severity* dari efek-efek yang potensial dari kegagalan. *Severity* juga merupakan langkah pertama untuk menganalisis resiko yaitu menghitung seberapa besar akibat kejadian mempengaruhi *output* proses. Akibat tersebut dimulai dari skala 1 sampai 10 dimana skala terbesar menandakan akibat terburuk. Berikut kriteria evaluasi *severity* oleh dijelaskan pada Table 2.2.

Tabel 2.2 Nilai Rangkings *Severity*

Rating <i>Severity</i> pada FMEA			
Rangkings	Akibat/ <i>Effect</i>	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
1	Pengaruh buruk yang dapat diabaikan (<i>Negligible severity</i>)	Tidak mengakibatkan apa-apa, tidak memerlukan penyesuaian	Proses berada dalam kendali tanpa melakukan penyesuaian peralatan. Tidak berdampak pada kualitas produk
2	Pengaruh buruk ringan (<i>Mild severity</i>)	Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya membutuhkan sedikit penyesuaian peralatan	Proses berada dalam pengendalian. Sebagian kecil produk harus dikerjakan ulang ditempat
3	Pengaruh buruk ringan (<i>Mild severity</i>)	Mesin tetap beroperasi dengan aman, ada sedikit gangguan peralatan	Proses telah berada diluar kendali. Sebagian kecil produk harus dikerjakan ulang ditempat
4	Pengaruh buruk minor (<i>Minor severity</i>)	Mesin tetap beroperasi dengan aman, namun terdapat gangguan kecil peralatan	Kurang dari 30 menit <i>downtime</i> . Penurunan kualitas yang masih dalam batas toleransi.
5	Pengaruh buruk moderat (<i>Moderate severity</i>)	Mesin tetap beroperasi normal	30menit – 1jam <i>downtime</i> . Produk harus dipilah dan sebagian dikerjakan ulang.
6	Akibat signifikan (<i>Significant severity</i>)	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetapi menimbulkan	> 1 - 2jam <i>downtime</i> . Sebagian produk harus dikerjakan ulang (tanpa pemilahan).
7	Pengaruh buruk yang tinggi (<i>High severity</i>)	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh	> 2 - 4jam <i>downtime</i> . Produk harus dipilah dan diolah ulang.
8	Pengaruh buruk ekstrem (<i>Ekstream severity</i>)	Mesin tidak dapat beroperasi dan telah kehilangan fungsi utamanya.	> 4 - 6jam <i>downtime</i> . Penurunan kualitas diluar batas toleransi.

Rating Severity pada FMEA			
Rangking	Akibat/Effect	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
9	Pengaruh buruk sangat tinggi (<i>Potential severity</i>)	Mesin gagal beroperasi dengan didahului peringatan. Tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja	> 6 - 8jam <i>downtime</i> . Penurunan kualitas signifikan. Penolakan konsumen.
10	Pengaruh buruk berbahaya (<i>Dangerous severity</i>)	Mesin gagal beroperasi tanpa didahului peringatan. Dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba	> 8jam <i>downtime</i> . 100% produk harus diolah ulang.

Sumber : Cayman Business System, 2004

2. *Occurance*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari kegagalan akan muncul. Skala *Occurance* dimulai dari 1 sampai 10. Contoh kriteria evaluasi untuk *occurance* dijelaskan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Nilai Rangking *Occurance*

Rating Occurance pada FMEA			
Rangking	Kejadian	Kriteria Verbal	Tingkat Kejadian Kegagalan
1	Hampir tidak pernah	Resiko kerusakan/kegagalan hampir tidak pernah terjadi	Probabilitas terjadinya resiko: 1-2 kali per 12 bulan
2	Remote	Resiko kerusakan/kegagalan jarang terjadi	Probabilitas terjadinya resiko: Lebih dari 2 kali per 12 bulan
3	Sangat sedikit	Resiko kerusakan/kegagalan yang terjadi sangat sedikit	Probabilitas terjadinya resiko: 1-2 kali per bulan
4	Sedikit	Resiko kerusakan/kegagalan yang terjadi sedikit	Probabilitas terjadinya resiko: Lebih dari 2 kali per bulan
5	Rendah	Resiko kerusakan/kegagalan yang terjadi pada tingkat rendah	Probabilitas terjadinya resiko: 1-2 kali per minggu
6	Medium	Resiko kerusakan/kegagalan yang terjadi pada tingkat medium	Probabilitas terjadinya resiko: Lebih dari 2 kali per minggu
7	Agak tinggi	Resiko kerusakan/kegagalan yang terjadi agak tinggi	Probabilitas terjadinya resiko: 1-2 kali per hari
8	Tinggi	Resiko kerusakan/kegagalan yang terjadi tinggi	Probabilitas terjadinya resiko: Lebih dari 2 kali per hari
9	Sangat tinggi	Resiko kerusakan/kegagalan yang terjadi sangat tinggi	Probabilitas terjadinya resiko: 1-2 kali per <i>Shift</i> kerja
10	Hampir selalu	Resiko kerusakan/kegagalan selalu terjadi	Probabilitas terjadinya resiko: 1-2 kali per <i>Shift</i> kerja

Sumber : Cayman Business System, 2004

3. *Detection*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari masalah akan dideteksi sebelum sampai ke tangan pengguna akhir. Contoh kriteria evaluasi dan sistem peringkat untuk detection dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Nilai Rangking *Detection*

Rating <i>Detection</i> pada FMEA		
Ranking	Deteksi	Kriteria verbal
1	Hampir Pasti	Tidak membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Dapat diketahui dari bentuk kegagalan/ <i>failure mode</i>
		Kegagalan dapat diketahui sebelum aktivitas dimulai
2	Sangat tinggi	Tidak membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Tidak dapat diketahui dari bentuk kegagalan/ <i>failure mode</i>
		Kegagalan dapat diketahui sebelum aktivitas dimulai
3	Tinggi	Tidak membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Tidak dapat diketahui dari bentuk kegagalan/ <i>failure mode</i>
		Kegagalan dapat diketahui saat aktivitas dimulai
4	Moderately high	Tidak membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Tidak dapat diketahui dari bentuk kegagalan/ <i>failure mode</i>
		Kegagalan dapat diketahui sesaat setelah aktivitas dimulai
5	Moderate	Tidak membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Tidak dapat diketahui dari bentuk kegagalan/ <i>failure mode</i>
		Kegagalan tidak dapat diketahui sesaat setelah aktivitas dimulai
6	Rendah	Membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Tidak dapat diketahui dari bentuk kegagalan/ <i>failure mode</i>

Rating <i>Detection</i> pada FMEA		
Ranking	Deteksi	Kriteria verbal
		Kegagalan dapat diketahui setelah aktivitas dimulai
7	Sangat rendah	Membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Metode pencegahan kurang efektif. Penyebab kadang berulang kembali
		Kegagalan dapat diketahui setelah aktivitas dimulai
8	Remote (sangat sedikit)	Membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Metode pencegahan kurang efektif. Penyebab masih berulang kembali
		Kegagalan dapat diketahui setelah aktivitas dimulai
9	Very remote	Membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Metode pencegahan tidak efektif. Penyebab kegagalan masih berulang kembali
		Kegagalan tidak dapat diketahui setelah aktivitas dimulai
10	Tidak pasti	Sangat membutuhkan fasilitas/peralatan khusus untuk melakukan pendeteksian kegagalan
		Metode pencegahan tidak efektif. Penyebab kegagalan masih berulang kembali
		Kegagalan tidak dapat diketahui jauh setelah aktivitas dimulai sampai muncul kegagalan/ <i>failure</i>

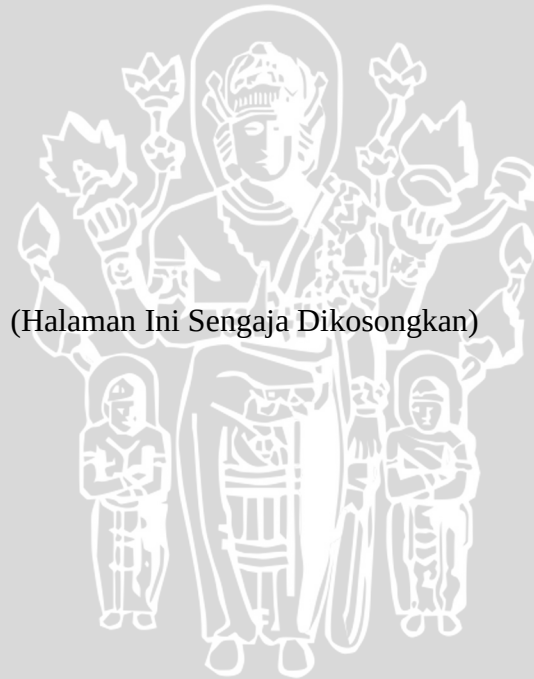
Sumber : Cayman Business System, 2004

4. *Risk Priority Number* (RPN), merupakan hasil kali dari skor *severity*, *occurance*, dan *detection*. RPN digunakan untuk memprioritaskan tindakan. Semakin besar nilai RPN maka semakin besar pula perhatian yang harus diberikan. Tim harus melakukan usaha untuk menanggulangi nilai RPN yang tinggi melalui tindakan yang benar. RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection$$

Angka ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang serius sebagai petunjuk ke arah tindakan perbaikan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)