

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 KUALITAS

2.1.1 Definisi Kualitas

Berdasarkan KBBI yang dikutip dari Rosianasfar (2013), kualitas mengacu pada level kebaikan atau keburukan suatu hal, serta derajat atau tingkat mutunya. Berkualitas berarti sesuatu memiliki mutu atau berkualitas bagus. Pengertian kualitas menurut standar internasional (BS EN ISO 9000:2000) ialah tingkatan pada karakteristik yang terkait serta melengkapi *size* tertentu (Dale, 2003:4). Para pakar lainnya memberikan pemaknaan kualitas mereka, yakni Juran pada tahun 1962 yang menyatakan bahwa kualitas ialah kecocokan terkait tujuan maupun manfaatnya. Selain itu, Deming (1982) berpendapat mengenai kualitas bahwasanya untuk mencukupi kepentingan konsumen saat ini maupun disaat mendatang. Dengan demikian, fokus utama kualitas haruslah pada kepuasan pelanggan itu sendiri.

Menurut Dale (2003), pengertian kualitas dibedakan menjadi sembilan berdasarkan konteksnya yaitu produk, orang, organisasi, *service*, hasil, kegiatan, kejadian, proses dan komunikasi. Kualitas mampu berpengaruh terhadap perusahaan pada empat poin Rander dan Herizer (2004), yakni:

- a. Dana dan pangsa pasar: Kenaikan pangsa pasar serta meminimalisir dana dapat ditingkatkan melalui kualitasnya. Dengan meningkatkan kualitas, perusahaan tidak hanya dapat menarik lebih banyak pelanggan, tetapi juga mengurangi biaya yang terkait dengan produk cacat atau layanan yang tidak memuaskan.
- b. Reputasi perusahaan: Persepsi tentang perusahaan akan terbentuk dari kualitas produk barunya, bagaimana perusahaan memperlakukan karyawannya, dan seberapa baik hubungannya dengan perusahaan lain yang jadi pemasoknya. Maka dari itu, sejatinya sebagai perusahaan selalu mengupayakan mempertahankan kualitas dan citra positif di mata konsumen dan pemangku kepentingan lainnya.
- c. Rasa tanggung jawab terhadap produk: Perusahaan mempunyai tanggung jawab penuh terkait semua dampak penggunaan barang ataupun jasa.

- d. Dampak internasional: Di periode globalisasi, konsumen memiliki banyak pilihan produk dari berbagai negara. Maka dari itu, perusahaan dapat menciptakan produk yang tidak hanya memenuhi kebutuhan konsumen, tetapi juga memiliki kualitas sebanding ataupun jauh lebih unggul daripada produk pesaing.

2.1.2 Dimensi Kualitas

Philip Kotler (2000) menjabarkan terdapat delapan dimensi kualitas yakni:

1. Kinerja (*performance*) yaitu ciri maupun sifat operasi pada hasil utama ataupun dengan kata lain bagaimana baiknya suatu produk bekerja sesuai fungsinya.
2. Aspek-aspek atau keunikan tambahan (*feature*) yang membuat produk unik atau lebih menarik daripada produk lainnya.
3. Kehandalan (*reliability*): Kemungkinan produk mengalami kegagalan fungsi bahkan tidak berfungsi.
4. Kecocokan dengan rincian produk (*conformance to specifications*).
5. Daya Tahan (*durability*) produk pada saat penggunaan normal.
6. Kepuasan pelayanan (*service ability*).
7. Keindahan (*esthetic*): suatu produk dapat memikat melalui apa yang dirasakan dan didengarkan oleh konsumen.
8. Persepsi konsumen tentang kualitas produk (*perceived quality*).

2.2 PENGENDALIAN KUALITAS

2.2.1 Pengertian Pengendalian Kualitas

Buffa (1999) mendefinisikan pengendalian ialah proses sistematis yang bertujuan dalam mengupayakan kelancaran aktivitas produksi serta operasi berlangsung sesuai rencana yang sudah ditentukan. Jika ada kekeliruan, maka tindakan korektif akan segera dilakukan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Proses pengendalian melibatkan pemantauan hasil akhir kegiatan, perbandingan dengan standar yang telah ditetapkan, analisis terhadap penyimpangan, serta tindakan korektif untuk memastikan proses produksi kembali sesuai standar. Menurut Assauri (1999), kualitas adalah sekumpulan karakteristik yang membuat suatu produk memenuhi tujuan penggunaannya.

2.2.2 Tujuan Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas memiliki maksud utama untuk berusaha menjamin bahwa produk atau jasa yang dihasilkan memenuhi semua persyaratan kualitas yang sudah ditentukan, sekaligus meminimalkan biaya produksi.

2.2.3 Ruang Lingkup Pengendalian Kualitas

Ruang lingkup dari pengendalian kualitas meliputi berbagai aspek yang meluas disebabkan efek atau dampaknya terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Menurut Harsono (1984:52), pengawasan kualitas melibatkan:

- 1) Menetapkan standar bentuk produk yang diproduksi.
- 2) Memeriksa bahan baku, suku cadang serta produk yang akan dibandingkan dengan produk standar, maksudnya akan memundahkan produk yang baik dari yang jelek.
- 3) Penerapan teknik statistik pada sampel data, serta analisis grafik, memungkinkan evaluasi terhadap kepatuhan kualitas produk terhadap standar yang diinginkan.
- 4) Measuring instrument (piranti pengukur) untuk maksud membandingkan produk standar. Alat tersebut ada yang dijalankan dengan tangan, listrik, mesin dan sebagainya

2.2.4 Faktor – Faktor Pengendalian Kualitas

Berdasarkan pernyataan dari Zulian (2013), penyebab-penyebab yang memengaruhi pengendalian kualitas dalam suatu instansi meliputi:

1. Kapabilitas proses. Batasan-batasan yang ditetapkan harus sejalan dengan kapabilitas prosedur yang tersedia. Tidak akan efektif jika mengontrol proses di luar kemampuannya.
2. Spesifikasi yang berlaku. Kriteria produk yang diinginkan harus selaras dengan kapasitas produksi dan preferensi konsumen, sehingga tercapai efisiensi dan kepuasan pelanggan.
3. Tingkat ketidaksesuaian yang dapat diterima. Batasan penerimaan terhadap produk cacat menjadi acuan dalam menentukan tingkat pengendalian proses. Tujuan utama adalah meminimalisir jumlah produk yang tidak memenuhi spesifikasi.
4. Pendanaan kualitas. Biaya kualitas mempunyai dampak signifikan kepada tingkat pengendalian kualitas untuk mencapai hasil yang berkualitas.

Irwan dan Hariyono (2015) juga mencatat beberapa hal-hal yang menentukan dalam pengaruh pengendalian kualitas, yakni:

1. Kompetensi operator. Kemampuan serta keahlian operator dalam mengelola produk bisa mempengaruhi kualitas hasil akhir.
2. Kualitas bahan dasar. Kualitas bahan dasar yang disediakan dari penyuplai memainkan peran penting dalam pengendalian kualitas.
3. Performa mesin. Peralatan produksi dan komponen yang dipakai dalam pembuatan produk juga berkontribusi terhadap kualitas produk yang dihasilkan.

2.3 SIX SIGMA

2.3.1 Pengertian *Six Sigma*

Gasperz (2001: 310-311) mendefinisikan *Six Sigma* adalah pendekatan berkelanjutan untuk menurunkan variasi dalam keberlangsungan produksi yang bertujuan meningkatkan keandalan proses untuk menghasilkan produk yang berkualitas tinggi, sehingga menjadikan nilai positif kepada konsumen. Jika produk telah melewati proses *Six Sigma*, instansi dapat mencapai tingkat kegagalan sekitar 3,4 per juta kesempatan atau mencapai tingkat kepuasan pelanggan sebesar 99,99966 persen dari yang diinginkan.

Harapan dari penerapan *Six Sigma* bisa membantu instansi mengurangi cacat produk secara signifikan, sehingga saat gilirannya mampu menaikan keberadaan pasar perusahaan dalam menemui persaingan. Keuntungan dari penerapan *Six Sigma* bervariasi tergantung pada jenis perusahaan, visi, misi, dan strategi yang diterapkan.

Berdasarkan pendapat Gaspersz (2005:310) ada enam faktor kunci yang harus ditekankan dalam mengaplikasikan pemahaman *Six Sigma*, yakni:

1. Identifikasi pelanggan
2. Identifikasi hasil
3. Identifikasi keperluan dalam pembuatan produk untuk pelanggan
4. Pemaknaan proses
5. Mengurangi kesalahan dalam proses serta menghilangkan semua hal yang tidak diperlukan
6. Terus-menerus memperbaiki cara kerja untuk mencapai kualitas sempurna demi target *six sigma*

Pande (2002) juga mendefinisikan *Six Sigma* sebagai metode dalam hal pengendalian serta kenaikan produk yang mana sistem tersebut sangat menyeluruh, adaptif dalam menggapai, menjaga, serta mengoptimalkan keberhasilan dalam bisnis. Cara ini juga didasari oleh keperluan konseman serta pemanfaatan data serta aktual, dengan penekanan yang cermat pada pengelolaan sistem, perbaikan proses, dan implementasi yang berkelanjutan.

2.3.2 Metodologi *Six Sigma*

Berdasarkan pemaparan dari Gasperz (2002) *Six Sigma* membutuhkan alat statistik untuk mengidentifikasinya. Terdapat lima tahapan krusial dalam meningkatkan cara kerja untuk menghasilkan produk atau jasa yang lebih baik dan lebih menguntungkan, yakni:

- 1) (*Define*) mengidentifikasi suatu masalah.
- 2) (*Measure*) mengevaluasi efektivitas dan efisiensi proses produksi.
- 3) (*Analyze*) mengidentifikasi akar penyebab kegagalan produk.
- 4) (*Improvement*) melakukan tindakan korektif terhadap produk cacat.
- 5) (*Control*) mampu menerapkan pengendalian terhadap aktivitas yang telah dilaksanakan.

DMAIC ialah metodologi yang terstruktur untuk mencapai peningkatan kualitas secara berkelanjutan sesuai dengan standar *Six Sigma*. Pendekatan ini didasarkan pada data dan pengetahuan yang valid, serta melibatkan eliminasi proses yang tidak efisien untuk meminimalisir cacat produk. DMAIC juga menekankan pada pemanfaatan teknologi untuk mendukung pencapaian tujuan kualitas.

2.3.3 Langkah-Langkah *Six Sigma*

a. *Define* (D)

Pada tahap *define*, kita akan pilih proses mana yang paling penting untuk diperbaiki. Kita akan fokus pada proses *define* karena proses ini yang berpengaruh tinggi pada keuntungan perusahaan dan seringkali menimbulkan masalah atau produk cacat. (Pande, Neuman, dan Cavanagh, 2002).

b. Measure (M)

Tiga hal pokok dalam peningkatan kualitas *Six Sigma* pada tahapan ini yakni:

1. Menetapkan karakteristik kualitas *Critical to Quality* (CTQ) yang berkaitan langsung pada kebutuhan khusus dari konsumen.
2. Melakukan pengumpulan data pada tingkat proses. Data yang diperlukan yaitu data untuk mengukur *baseline performance* serta proses kapabilitas pada tingkat proses dan *output*.
3. Proses kapabilitas dihitung dengan cara mengambil sampel data dari proses yang sedang berjalan. Data sampel ini kemudian dianalisis secara statistik untuk mendapatkan nilai sigma, yang menunjukkan tingkat keunggulan proses pada pemenuhan spesifikasi yang sudah ditentukan.

Pengukuran Stabilitas Proses

- Menghitung persentase kerusakan proporsi

$$p = \frac{\text{Jumlah defect}}{\text{Jumlah produksi}}$$

- Menghitung garis pusat atau *Central Line* (CL)

$$CL = \frac{\text{Total Jumlah defect}}{\text{Total Jumlah Produksi}}$$

- Menghitung batas kendali atas atau *Upper Control Limit* (UCL)

$$UCL = CL + 3 \sqrt{\frac{CL(1-CL)}{n}}$$

- Menghitung batas kendali bawah atau *Lower Control Limit* (LCL)

$$LCL = CL - 3 \sqrt{\frac{CL(1-CL)}{n}}$$

c. Analyze (A)

Tahapan selanjutnya setelah *measure* dalam meningkatkan kualitas yaitu *Analyze*. Ada tiga poin yang harus dilakukan pada tahap ini yakni:

1. Mengidentifikasi variabel kunci yang berpengaruh terhadap tingkat kecacatan untuk mendukung upaya penurunan tingkat kecacatan tersebut.
2. Mengubah biaya kualitas.
3. Menghitung biaya kegagalan kualitas dari jumlah kegagalan yang terjadi.

d. Improve (I)

Menentukan dan menjelaskan tindakan atau tindakan perbaikan yang disarankan untuk mengatasi masalah di tingkat proses guna mengembangkan pendekatan inovatif yang meningkatkan kualitas (selaras dengan tujuan bisnis) dengan lebih berhasil dan ekonomis. Mengurangi biaya kualitas buruk (COPQ) atau persentase biaya kegagalan kualitas terhadap nilai penjualan keseluruhan dan meningkatkan kemampuan sigma adalah dua cara untuk mengukur efektivitas rencana tindakan.

e. Control (C)

Pemantauan adalah komponen penting dari pendekatan Six Sigma, karena menjamin bahwa tujuan yang diharapkan tercapai. Awasi semua tindakan perbaikan untuk menjaga stabilitas dan mematuhi batasan spesifikasi yang diinginkan pelanggan. Penting untuk menerapkan hasil tahap perbaikan dalam jangka waktu tertentu untuk melacak dampaknya terhadap kualitas produk akhir. Pada titik ini, proses diserahkan kepada pemilik atau penanggung jawab, hasil peningkatan kualitas dicatat dan dibagikan, praktik terbaik yang telah meningkatkan proses distandarisasi dan dibagikan, prosedur didokumentasikan sebagai panduan kerja standar, dan akuntabilitas menjadi tanggung jawab.

2.4 Seven Tools

Magar dan Shinde (2014) menyatakan bahwa tujuh alat merupakan alat statistik dasar untuk pemecahan masalah. Orang-orang terkenal seperti Deming dan Juran menemukan atau memperkenalkan instrumen ini di Jepang. Menurut Kaoru Ishikawa, ketujuh instrumen ini mampu menyelesaikan 95% permasalahan yang ada saat ini. Setelah Perang Dunia II, instrumen-instrumen ini penting bagi kebangkitan industri Jepang. Karena keduanya berfungsi sebagai landasan bagi perusahaan mana pun untuk mencapai standar kinerja yang tinggi, alat statistik mendasar ini sangatlah penting. Ide untuk ketujuh alat ini berasal dari Kaoru Ishikawa, yang berpendapat bahwa alat dasar ini dapat digunakan untuk menyelesaikan sebagian besar permasalahan terkait kualitas. Kapasitas untuk mengenali masalah, menerapkan alat yang tepat untuk pekerjaan, dan mengkomunikasikan solusi secara efektif kepada orang lain semuanya diperlukan untuk keberhasilan pemecahan masalah (Jayakumar et al., 2017). Alat-alat ini

membantu dalam definisi masalah, pengumpulan data, analisis tren dan pola, serta analisis proses.

2.4.1 Diagram Pareto

Grafik batang yang dikenal sebagai diagram Pareto digunakan untuk menampilkan masalah atau penyebab berdasarkan seberapa sering masalah tersebut terjadi (Gaspersz, 2002). Dari masalah yang paling sering muncul hingga yang paling jarang muncul, disusun dalam grafik ini. Batang paling atas pada diagram menandakan permasalahan yang paling mendesak, sedangkan batang yang terletak di sisi kiri menunjukkan permasalahan yang kurang signifikan.

Diagram Pareto mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Tentukan relevansi relatif dan frekuensi permasalahan atau penyebab terkini.
2. Urutkan topik menurut kepentingannya untuk menarik perhatian pada topik yang krusial dan signifikan.

Diagram Pareto membantu dalam menentukan prioritas dan pengelompokan masalah sehingga upaya perbaikan dapat lebih tepat sasaran dan berhasil.

2.4.2 Control Chart

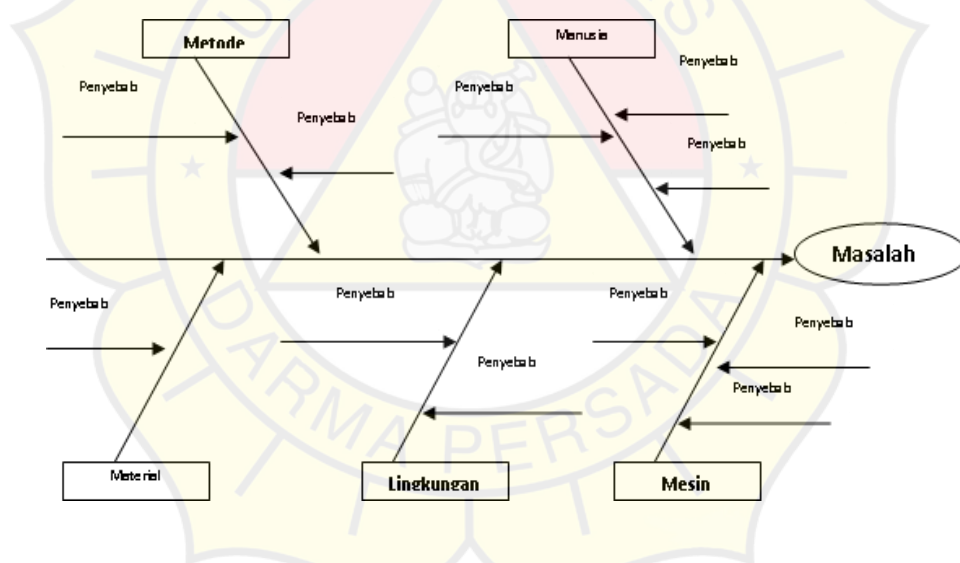
Penentuan batas atas dan bawah kinerja proses dilakukan dengan bantuan diagram kendali proses, yang juga dikenal sebagai peta kendali atau peta kendali. Bauer (2006) menyatakan bahwa kinerja proses dan variabilitas digabungkan sepanjang waktu menggunakan diagram kendali. Salah satu alat yang paling terkenal dan berharga adalah peta kendali; namun, terkadang sulit untuk memahaminya. Alat mutakhir ini, yang dikenal sebagai run chart, menunjukkan grafik garis dengan batas kendali untuk proyek peningkatan kualitas. Ide mendasar dari diagram kendali adalah bahwa varians statistik adalah bagian alami dari setiap aktivitas. Perbedaan-perbedaan ini harus dievaluasi untuk memastikan apakah proses berjalan sebagaimana mestinya atau apakah terjadi perubahan-perubahan penting ("di luar kendali"). Pengaturan matematis batas kendali adalah tiga standar deviasi di atas dan di bawah rata-rata proses.

2.4.3 Fishbone Diagram

Diagram sebab-akibat adalah nama lain dari diagram tulang ikan. Garis dan simbol pada diagram ini menggambarkan bagaimana sebab dan akibat suatu masalah saling berkaitan satu sama lain. Diagram tulang ikan dapat membantu dalam menentukan akar penyebab suatu masalah.

Salah satu manfaat penggunaan diagram Fishbone, seperti diungkapkan Wahyu Ariani (2005), adalah

- dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas produk atau jasa dengan menggunakan situasi sebenarnya.
- Meminimalkan dan menghilangkan hal-hal yang menimbulkan keluhan dari pelanggan dan ketidaksesuaian pada barang atau jasa.
- Menetapkan standar operasi saat ini dan masa depan.
- Melatih dan mendidik anggota staf dalam membuat keputusan dan melaksanakan tindakan perbaikan.

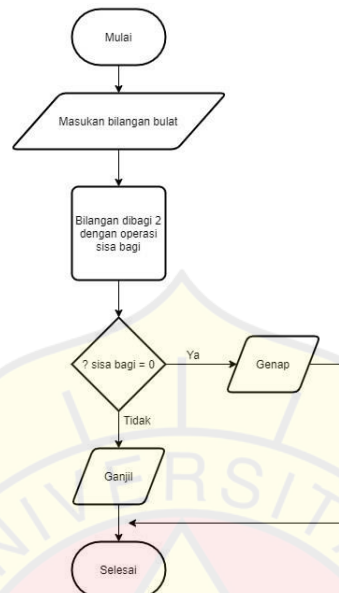


Gambar 2.1 Contoh Diagram *Fishbone*

2.4.4 Flow chart / Run Chart

Alat yang berguna untuk memberikan rincian proses dalam bentuk gambar langsung adalah diagram alur. Diagram alur menggambarkan urutan terjadinya peristiwa dan merinci langkah-langkah sistem atau proses dari awal hingga akhir. Karyawan yang terlibat langsung dalam suatu proses dapat memberikan pengetahuan yang dapat digunakan untuk menyusun diagram alur. Pembuatan diagram alur ini sering kali menghasilkan wawasan proses yang berharga.

Diagram alur dapat diterapkan dalam analisis, perencanaan, dokumentasi, dan pengelolaan beragam proses atau proyek di berbagai domain (Amitava, 2001).



Gambar 2.2 Contoh *Flow Chart*

2.5 Teori Perawatan

Pemeliharaan adalah proses menjaga fasilitas dan peralatan pabrik agar tetap berfungsi dengan baik dengan melakukan perbaikan, modifikasi, atau penggantian yang diperlukan untuk menjaga operasi produksi sesuai jadwal (Assauri, 2008). Hal ini merupakan upaya untuk menjaga efisiensi pengoperasian fasilitas produksi (Handoko, 1984). Menurut Anthony Corder (1988), pemeliharaan adalah serangkaian prosedur yang digunakan untuk menyimpan atau memperbaiki suatu barang sampai dalam keadaan dapat digunakan. Secara umum pemeliharaan merupakan upaya untuk menghentikan dan memperbaiki kerusakan pada fasilitas produksi agar proses produksi tetap berjalan dengan lancar. Pada kenyataannya, bisnis sering kali kurang fokus pada inisiatif pemeliharaan preventif dan lebih banyak melakukan perbaikan atau tindakan korektif.

2.5.1 Jenis-jenis Perawatan

Ada dua kategori kegiatan pemeliharaan, menurut Corder (1988): terjadwal dan tidak terencana. Perawatan tidak terencana dilakukan dalam keadaan darurat untuk menghentikan dampak besar, termasuk kerusakan mesin atau kerusakan

komponen yang perlu segera diganti. Sementara itu, perawatan terencana terdiri dari dua jenis:

- a. Perawatan yang Mencegah Perawatan ini dilakukan dengan memantau aktivitas mesin (“melihat, mendengar, dan merasakan”) selain melakukan pemeriksaan rutin dan penggantian suku cadang sesuai dengan jadwal. Perawatan pencegahan sangat penting untuk memastikan keandalan mesin, terutama yang termasuk dalam kategori unit kritis. Unit kritis adalah mesin yang jika rusak dapat menyebabkan bahaya pada kesehatan dan keselamatan kerja, menurunkan kualitas produk, atau menyebabkan gangguan pada keseluruhan proses produksi.
- b. Korektif Perawatan meliputi perbaikan kecil yang sering terjadi dalam jangka pendek dan overhaul terencana yang dilakukan setiap tahun.

2.5.2 Kegiatan Perawatan

1. Inspeksi adalah prosedur rutin yang dilakukan secara berkala sesuai dengan jadwal yang ditetapkan oleh perusahaan untuk memeriksa struktur, peralatan pabrik, dan mesin. Hasil dari kegiatan ini dicatat dalam laporan inspeksi.
2. Kegiatan Teknik mencakup eksperimen pada peralatan yang baru dibeli, pengembangan komponen alat yang harus diganti, dan riset terkait pengembangan teknologi.
3. Kegiatan Produksi melibatkan implementasi rekomendasi dari kegiatan teknik dan inspeksi, termasuk layanan dan pelumasan peralatan.
4. Kegiatan Administrasi meliputi pencatatan biaya terkait pemeliharaan, komponen atau suku cadang, laporan kemajuan pekerjaan, waktu yang diperlukan untuk inspeksi dan perbaikan, serta inventarisasi komponen yang tersedia di departemen pemeliharaan.
5. Pemeliharaan Bangunan merupakan upaya untuk menjaga kebersihan dan keamanan bangunan gedung, menciptakan lingkungan yang aman bagi para pekerja.

2.6. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Proses metodis dalam mengidentifikasi langkah-langkah pemeliharaan yang diperlukan untuk menjaga setiap fasilitas beroperasi sesuai dengan rencananya dikenal sebagai pemeliharaan yang berpusat pada keandalan, atau RCM (Dhillon,

2002). Untuk menjamin bahwa aset fisik terus berfungsi sebagaimana mestinya, RCM memerlukan sejumlah prosedur untuk menentukan tindakan pemeliharaan yang tepat. Dalam penggunaannya, teknik RCM lebih menekankan pada pemeliharaan preventif.

Menurut Moubray (1997), beberapa tujuan dalam penerapan RCM adalah sebagai berikut:

- a. Meningkatkan desain agar lebih mudah dipelihara (*maintainability*).
- b. Kumpulkan data penting sehingga desain pertama yang tidak memadai dapat diperbaiki.
- c. Ciptakan program pemeliharaan yang dapat menghentikan kerusakan yang terjadi setelah jangka waktu penggunaan tertentu dan mengembalikan keselamatan serta keandalan seperti pada awal pengoperasian peralatan.
- d. Mencapai semua tujuan yang ada dengan biaya minimal.

Langkah-langkah pendekatan RCM yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Memilih sistem dan menyusun data.
- b. Menetapkan batasan untuk sistem.
- c. Tentukan peralatan dan suku cadang mana yang penting.
- d. Evaluasi distribusi kegagalan setiap komponen.
- e. Hitung waktu rata-rata hingga kegagalan dan waktu rata-rata untuk perbaikan, yang masing-masing merupakan interval rata-rata antara waktu kegagalan dan waktu perbaikan.
- f. Menetapkan tingkat ketergantungan komponen.
- g. Tentukan berapa banyak kegagalan yang terjadi sebelum dan sesudah prosedur pemeliharaan preventif.

2.6.1 Keandalan (*Reliability*)

Potensi suatu mesin atau komponen yang telah digunakan atau sedang dioperasikan untuk menjalankan fungsinya dalam jangka waktu tertentu disebut keandalan. Dengan demikian, keandalan berfungsi sebagai perkiraan kemungkinan suatu komponen tidak akan mengalami kegagalan fungsi dalam menjalankan fungsi yang diharapkan dalam jangka waktu tertentu. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung nilai reliabilitas:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^\infty f(t) dt$$

Dimana:

$F(t)$ = Cumulative Distribution Function (CFD)

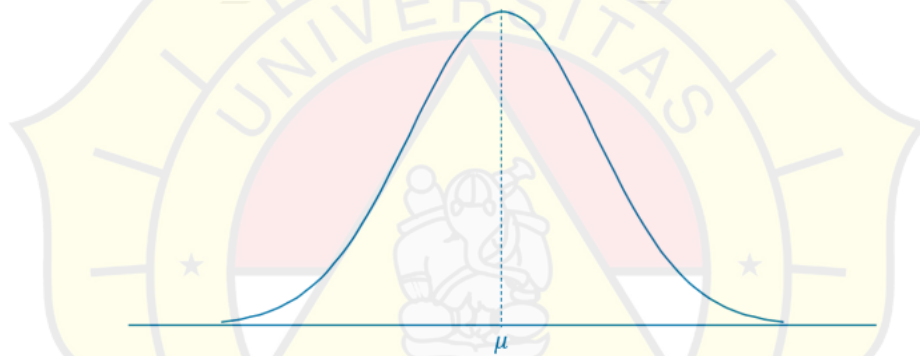
$R(t)$ = Reability Function

$f(t)$ = Probability Desentity Function (PDF)

2.6.2. Fungsi Distribusi Kegagalan

Untuk memahami pola data yang terbentuk, digunakan empat jenis distribusi yang umum, yaitu distribusi normal, lognormal, Weibull, dan eksponensial (Ebeling, 1997).

1. Fungsi Distribusi Normal Distribusi Normal adalah alat yang berharga untuk mensimulasikan keausan atau kelelahan komponen. Anda dapat menggunakan distribusi ini untuk analisis probabilitas lognormal. Distribusi normal berbentuk lonceng dan simetris, dengan dua parameter utama: simpangan baku (σ) dan nilai rata-rata (μ).



Gambar 2.3 Kurva Distribusi Normal

Fungsi distribusi Normal adalah sebagai berikut:

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

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

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

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

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

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

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

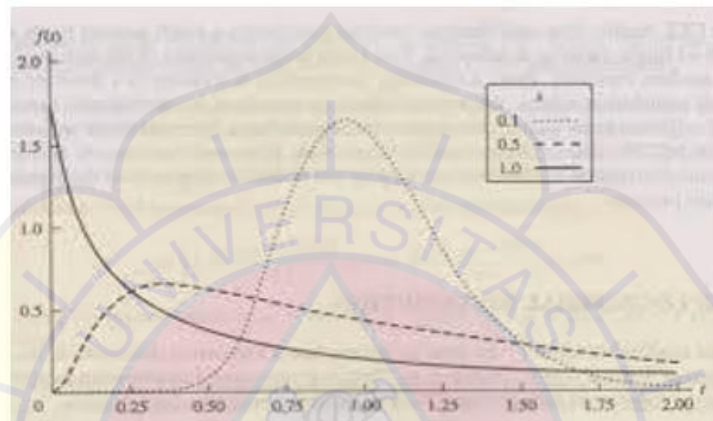
$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

- d. Fungsi laju kerusakan

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

2. Fungsi Distribusi Lognormal

Nilai rata-rata waktu kegagalan ditunjukkan oleh dua parameter distribusi lognormal, s (bentuk) dan t_{med} (lokasi). Distribusi lognormal adalah pilihan yang lebih baik untuk menggambarkan distribusi kegagalan dibandingkan distribusi normal karena hanya berlaku untuk nilai t positif. Agar data yang dihasilkan sesuai dengan distribusi Weibull, distribusi ini mempunyai bentuk yang beragam dan sering kali menyerupainya (Ebeling, 1997).



Gambar 2.4 Kurva Distribusi Lognormal

Fungsi-fungsi distribusi Lognormal adalah sebagai berikut:

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

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

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

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

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

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

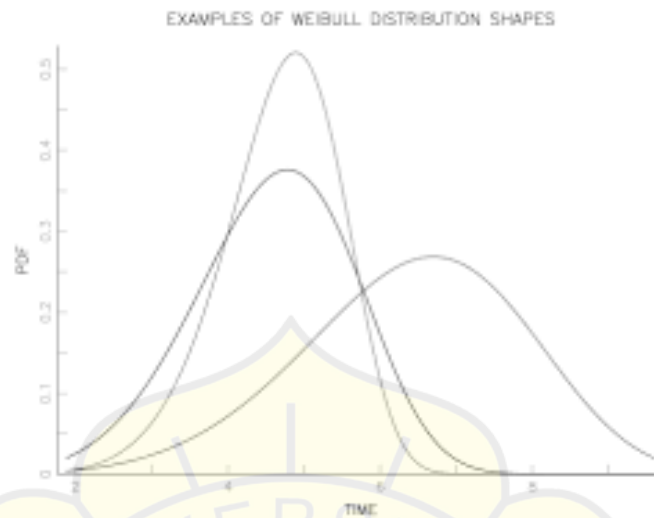
- d. Fungsi laju kerusakan

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

3. Fungsi Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan alat yang sangat berguna dalam memprediksi umur pakai suatu komponen. Distribusi ini memiliki dua parameter

utama, yaitu beta (β) yang menentukan bentuk kurva kegagalan dan theta (θ) yang menentukan skala waktu kegagalan.



Gambar 2.5 Kurva Distribusi Weibull

Fungsi-fungsi distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut ini :

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

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

Untuk $t > 0$

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

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

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

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

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

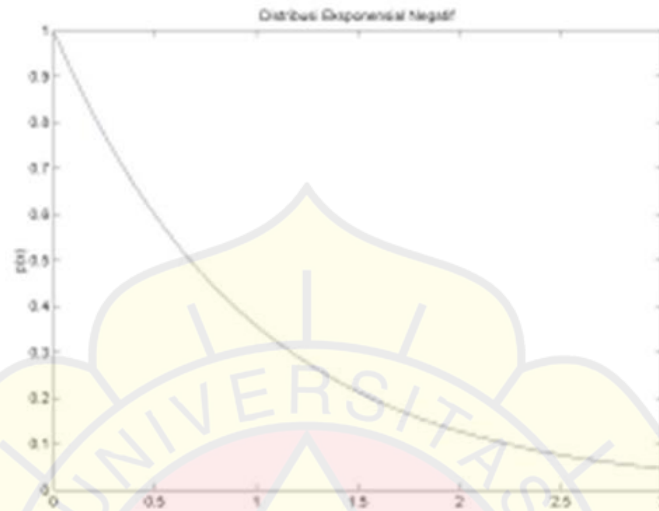
- d. Fungsi laju kerusakan

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

4. Fungsi Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan alat statistik yang sangat berguna untuk memodelkan fenomena yang berkaitan dengan waktu. Distribusi ini memiliki satu parameter, yaitu lambda (λ), yang menunjukkan rata-rata waktu antara dua kejadian. Distribusi eksponensial sering digunakan dalam analisis

keandalan untuk memprediksi umur pakai suatu komponen. Salah satu sifat penting dari distribusi eksponensial adalah sifat "memoryless", yang artinya probabilitas suatu komponen gagal dalam periode waktu tertentu tidak bergantung pada berapa lama komponen tersebut telah digunakan sebelumnya.



Gambar 2.6 Kurva Distribusi Eksponensial

Fungsi-fungsi distribusi Eksponensial adalah sebagai berikut:

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

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

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

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

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

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

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

- d. Fungsi laju kerusakan

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

- e. *Mean time to failure*

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

2.6.3. Uji Goodness of Fit

Uji *Goodness of Fit* adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji seberapa baik suatu distribusi teoritis (misalnya, distribusi normal, distribusi Poisson) sesuai dengan data sampel yang kita miliki. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa model statistik yang kita pilih benar-benar menggambarkan data dengan baik. Berikut uji yang dipakai pada pengujian *Goodness of Fit*:

1. *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk Pengujian Distribusi Normal dan Lognormal
 H_0 : data *time to failure* berdistribusi normal atau lognormal

H_1 : data *time to failure* tidak berdistribusi normal atau lognormal

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

$$D_1 = \max \left\{ \phi\left(\frac{ti - f}{s}\right) - \left(\frac{i - 1}{n}\right) \right\}$$

$$D_2 = \max \left\{ \left(\frac{i}{n}\right) - \phi\left(\frac{ti - f}{s}\right) \right\}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_t^n (ti - \bar{t})^2}{n - 1}}$$

Keterangan :

ti = *time to failure* ke- i .

ti = $\ln(ti)$ (*lognormal*).

$\bar{t}$ = rata-rata *time to failure*.

s = standart deviasi.

n = banyaknya data.

jika $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima. Nilai D_{crit} dapat dilihat pada tabel *critical values for Kolmogorov-Smirnov Test for Normality*.

2. *Mann Test's* untuk Pengujian Distribusi Weibull

H_0 : data *time to failure* berdistribusi Weibull

H_1 : data *time to failure* tidak berdistribusi Weibull

$$M = \frac{k_1 \sum[(\ln ti + 1 - \ln ti_1)/M_i]}{k_2 \sum[(\ln ti + 1 - \ln ti_1)/M_i]}$$

$$k_1 = \left[\frac{r}{n}\right]$$

$$k_2 = \left[\frac{r-1}{n}\right]$$

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

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

Keterangan:

t_i = data antar waktu kerusakan ke- i

n = jumlah data antar waktu kerusakan komponen

M_1 = nilai pendekatan *Mann* untuk data ke- i

M = nilai perhitungan *Weibull*

$M_{0,05; k_2; k_1}$ = nilai distribusi *Weibull*

r = banyaknya data

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

3. *Barlett Test* untuk Pengujian Distribusi Ekponensial

H_0 : Data *time to failure* berdistribusi ekponensial

H_1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi eksponensial

Rumus :

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

Keterangan: t_i = waktu kerusakan ke- i

r = jumlah kerusakan

Data waktu kerusakan berdistribusi eksponensial apabila

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

2.6.4 Identifikasi Distribusi Antar Waktu Kerusakan dan Perbaikan

1. Nilai Tengah Kerusakan

$$\text{Rumus } F(ti) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

Keterangan :

i = data waktu ke- t

n = jumlah kerusakan

2. Index of Fit

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

2.6.5 Mean Time to Failure

Mean Time to Failure (MTTF) merupakan ukuran rata-rata waktu yang dibutuhkan sebuah komponen atau sistem untuk mengalami kerusakan. MTTF digunakan dalam memprediksi kapan kira-kira suatu komponen akan rusak dan perlu diganti.

Fungsi-fungsi MTTF untuk setiap distribusi adalah sebagai berikut :

a. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu$$

b. Distribusi Lognormal

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

c. Distribusi Weibull

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

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

d. Distribusi Eksponensial

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

2.6.6 Mean Time to Repair

Mean Time to Repair (MTTR) merupakan ukuran rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam memperbaiki suatu komponen atau sistem setelah mengalami kegagalan. MTTR digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan suatu sistem kembali berfungsi setelah terjadi kerusakan.

Berikut ialah fungsi-fungsi MTTR dalam setiap distribusi:

- a. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu$$

- b. Distribusi Lognormal

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

- c. Distribusi Weibull

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

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

- d. Distribusi Eksponensial

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

2.6.7 Preventive Maintenance

Preventive Maintenance yakni strategi perawatan yang dilaksanakan secara berkala guna pencegahan apabila terjadinya kerusakan pada mesin. Dengan melakukan perawatan secara teratur, kita dapat mengurangi keausan komponen mesin sehingga umur pakai mesin menjadi lebih panjang dan keandalannya meningkat. Adapun fungsi dari strategi ini adalah:

$$R_m(t) = R(t)^n \times R(t - nT)$$

Keterangan:

Untuk $nT < t < (n+1)T$

Dimana = 1, 2, 3, ...dst.

t = Waktu

n = Jumlah perawatan

T = Interval waktu pencegahan penggantian kerusakan

$R(t)$ = Probabilitas keandalan sistem tanpa perlakuan *preventive maintenance*

$R(T)_n$ = Probabilitas keandalan mesin sampai perawatan ke – n

$R(t-nT)$ = Probabilitas keandalan sistem antara waktu $t-T$ setelah mesin dikembalikan ke kondisi awal pada saat T

$R_m(t)$ = Probabilitas kehandalan sistem dengan *preventive maintenace*

