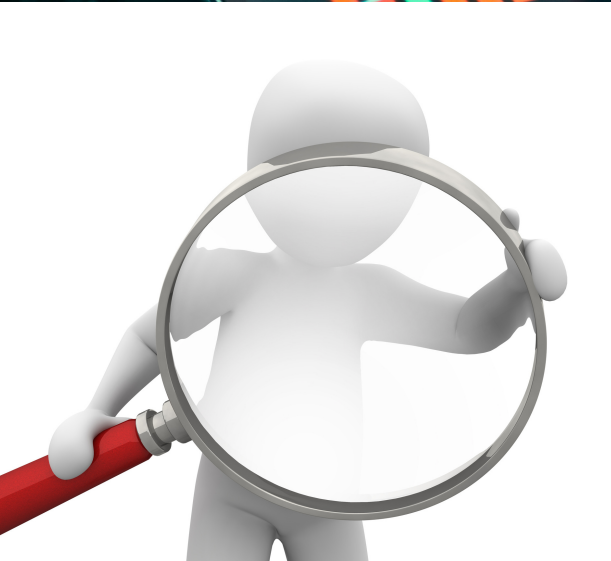


ANALISIS KUALITAS DAN RELIABILITAS



ANALISIS KUALITAS DAN RELIABILITAS

Prof. Dr. Ir. Jenni Ria Rajagukguk, MSi



GET PRESS INDONESIA

ANALISIS KUALITAS DAN RELIABILITAS

Penulis : Prof. Dr. Ir. Jenni Ria Rajagukguk, M.Si.

ISBN: 978-634-255-646-7

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

Desain Sampul dan Tata Letak : Mila Sari, M.Si.

PENERBIT GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Agustus 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa karena Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya bisa menyelesaikan buku ajar dengan judul ANALISIS KUALITAS DAN RELIABILITAS.

Buku ajar ini, perlunya menganalisis dan membahas suatu masalah yang berhubungan dengan produk, manufacturing, proses dan teknologi. Pembahasan secara khusus topik keandalan, kualitas, dan keselamatan dalam satu kerangka. Artinya untuk memperoleh pengetahuan tentang bidang masing-masing, para spesialis ini harus mempelajari berbagai buku, laporan, atau artikel terkait setiap topik tersebut. Pendekatan ini memakan waktu dan cukup sulit karena sifat materi yang sangat khusus.

Demikian juga dengan nya persaingan global dan faktor lainnya memaksa para produsen untuk menghasilkan produk yang sangat andal, berkualitas baik, dan aman. Hal ini berarti ada kebutuhan yang jelas bagi para profesional di bidang keandalan, kualitas, dan keselamatan untuk bekerja sama secara erat selama perancangan produk dan tahapan lainnya. Untuk mencapai tujuan ini, penting bagi mereka untuk memahami, sampai batas tertentu, disiplin satu sama lain.

Buku ajar ini merupakan upaya untuk memenuhi kebutuhan akan satu sumber yang mencakup ketiga topik tersebut. Penekanan buku ajar ini lebih pada struktur konsep daripada ketelitian matematis dan rincian yang sangat mendalam. Materi yang disajikan disusun sedemikian rupa sehingga pembaca tidak memerlukan pengetahuan sebelumnya untuk memahaminya. Pada bagian-bagian yang sesuai, buku ajar ini juga menyertakan contoh beserta penyelesaiannya, dan di akhir setiap bab terdapat banyak soal untuk menguji pemahaman. Buku ajar ini akan bermanfaat bagi banyak pihak, termasuk

insinyur desain, insinyur sistem, insinyur manufaktur, spesialis keandalan, profesional kualitas, insinyur keselamatan, administrator teknik, mahasiswa pascasarjana dan tingkat akhir sarjana teknik, peneliti dan pengajar di bidang keandalan, kualitas, dan keselamatan, serta para insinyur secara umum.

Buku ajar ini terdiri dari 15 bab, sebagai berikut:

1. Bab 1: Membahas kebutuhan akan keandalan, kualitas, dan keselamatan, aspek historis dari keandalan, kualitas, dan keselamatan, istilah dan definisi penting, serta sumber informasi yang berguna.
2. Bab 2: Mengulas konsep-konsep matematika yang berguna untuk memahami bab-bab berikutnya. Bab ini mencakup topik seperti hukum aljabar Boolean, definisi dan sifat probabilitas, definisi matematika yang berguna, serta distribusi statistik.
3. Bab 3: Berbagai aspek pengantar keandalan disajikan dalam Bab 3.
4. Bab 4: Dikhususkan untuk evaluasi keandalan jaringan dengan keandalan unit yang konstan. Sebaliknya,
5. Bab 5: menyajikan evaluasi keandalan jaringan dengan keandalan unit yang bergantung pada waktu.
6. Bab 6. Beberapa di antaranya adalah analisis pohon kesalahan (fault tree analysis), analisis mode dan efek kegagalan (failure modes and effects analysis), metode dekomposisi, metode Markov, dan pendekatan reduksi jaringan
7. Bab 7 dan 8 masing-masing membahas dua topik penting dalam keandalan, yaitu pengujian keandalan serta manajemen dan biaya keandalan.
8. Bab 9: Menyajikan berbagai aspek pengantar kualitas, termasuk perancangan untuk kualitas, karakteristik desain kualitas, tujuan kualitas, dan elemen sistem jaminan kualitas.

9. Bab 10. Metode-metode ini meliputi diagram kendali kualitas, diagram Pareto, penyebaran fungsi kualitas (quality function deployment), diagram sebar, dan perancangan eksperimen.
10. Bab 11: Membahas topik manajemen kualitas dan biaya yang berguna untuk membangun program pengendalian kualitas yang efektif.
11. Bab 12: Menyajikan berbagai aspek pengantar keselamatan, termasuk fakta dan angka terkait keselamatan, hubungan antara insinyur dan keselamatan, klasifikasi bahaya produk, serta tanggung jawab hukum produk.
12. Bab 13: membahas 10 metode untuk melakukan berbagai jenis analisis keselamatan. Topik manajemen keselamatan dan pembiayaannya disajikan dalam
13. Bab 14. Bab 15 menguraikan berbagai aspek penting keselamatan atau safety pada robot, perangkat lunak, dan perangkat medis.

Berterima kasih kepada Suami dan anak-anak saya, Gabe, Ice, Johan, Karen, Mega dan Cucu (Dean, Btara, Cloi dan timoty) yang mendukung penulisan buku ajar ini. Demikian juga berterima kasih kepada banyak individu, termasuk rekan kerja, mahasiswa, dan teman, atas kontribusi tak terlihat serta dukungan mereka selama ini. Mohon kritik dan saran dari seluruh pihak senantiasa kami harapkan demi kesempurnaan buku ajar ini. Semoga buku ajar ini dapat membawa pemahaman dan pengetahuan dan menerapkan tentang Teknik Lingkungan dan K3.

Bekasi, 06 Mei 2026

Penulis

Jenni Ria Rajagukguk

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I KEANDALAN, KUALITAS, DAN KEAMANAN	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sejarah Realibilitas dan Kualitas.....	2
1.3 Hubungan Kualitas, Kepuasan Pelanggan dan target.....	3
1.4 Langkah-langkah dalam mencapai kualitas dalam pengembangan.....	5
1.5 Tujuan Realibilitas dan Kualitas	11
BAB 2 MATEMATIKA KEANDALAN, KUALITAS, DAN KESELAMATAN	13
2.1 Analisis kualitas dan realibilitas	13
2.2 Modus, Median, Mean, Rata-rata Aritmatika, Akar Kuadrat, Deviasi Rata-rata, dan Deviasi Standar.....	14
2.3 Hukum aljabar boolean dan probability.....	17
2.4 Sifat dan Definisi Probalitas.....	17
2.5 Matematik yg berguna	18
2.6 Menyelesaikan Persamaan Diferensial Orde Pertama dengan Transformasi Laplace.....	20
2.7 Distribusi Statistik.....	20
BAB 3 PENGANTAR KEANDALAN.....	23
3.1 Perlunya Keandalan	23
3.2 Kurva Tingkat Bahaya Bathtub.....	25
3.3 Fungsi Tingkat Bahaya Umum dan Spesifik	27
3.4 Fungsi Reliabilitas Umum dan Spesifik.....	30
3.5 Waktu Rata-Rata untuk Kegagalan	30

3.6 Estimasi Tingkat Kegagalan.....	31
3.7 Pengumpulan Data Kegagalan, Sumber, dan Tingkat Kegagalan untuk Item Terpilih	33
BAB 4 MODEL EVALUASI KEANDALAN STATIS	36
4.1 Pendahuluan	36
4.2 Jaringan seri	37
4.3 Jaringan Paralel.....	38
4.3 Jaringan K-Out-of-m.....	39
4.4 Jaringan Seri Paralel.....	41
4.5 Jaringan Paralel Seri.....	42
4.6 Jaringan Jembatan	42
BAB 5 MODEL EVALUASI KEANDALAN DINAMIS.....	44
5.1 Pendahuluan	44
5.2 Jaringan Seri.....	45
5.3 Jaringan Paralel	46
5.4 Jaringan <i>k-Out-of-m</i>	46
5.5 Jaringan <i>Seri Paralel</i>	48
5.6 Jaringan Paralel Seri.....	48
5.7 Sistem Stand By	48
5.8 Jaringan Jembatan	49
5.9 Model evaluasi keandalan dinamis.....	50
BAB 6 METODE EVALUASI KEANDALAN.....	57
6.1 Pendahuluan	57
6.2 Metode Pengurangan Jaringan	61
6.3 Metode Analisis Pohon Kesalahan (FTA).....	65
6.4 Metode Markov	72
6.5 Metode Dekomposisi	74
6.6 Metode Analisis Mode Kegagalan dan Dampak (FMEA)	75
6.7 Metode Analisis Kegagalan Penyebab Umum.....	76

BAB 7 PENGUJIAN RELIABILITAS	78
7.1 Pendahuluan	78
7.2 Pengujian untuk Menentukan Validitas Waktu Kegagalan suatu Item yang Terdistribusi Secara Eksponensial	80
7.3 Tes untuk Menentukan Validitas Waktu Kegagalan yang Terdistribusi Secara Eksponensial pada Suatu Item.....	80
7.4 Estimasi Batas Kepercayaan pada Rata-Rata Umur Barang	85
BAB 8 MANAJEMEN KEANDALAN DAN PENETAPAN BIAYA	90
8.1 Pendahuluan	90
8.2 Manajemen Umum Terkait Program Keandalan Tanggung Jawab dan Kekuatan Pemandu yang Berkaitan Fakta untuk Program Keandalan yang Efektif	91
8.3 Pendekatan untuk Mengembangkan Tujuan Keandalan dan Pedoman Berguna untuk Mengembangkan Program Keandalan.....	92
8.4 Biaya Keandalan	96
8.5 Model Estimasi Biaya Aktivitas Keandalan.....	97
BAB 9 PANGANTAR KUALITAS.....	101
9.1 Pendahuluan	101
9.2 Perbandingan Produk Modern dan Tradisional, Faktor Langsung yang Mempengaruhi Kualitas Produk dan Layanan, dan Karakteristik Desain Kualitas.....	104
9.3 Sasaran Mutu	106
9.4 Elemen Sistem Penjaminan Mutu.....	107
9.5 Desain untuk kualitas.....	107
9.6 Manajemen Mutu Total (TQM)	109
BAB 10 METODE ANALISIS KUALITAS	114
10.1 Pendahuluan	114
10.2 Metode Statistik (<i>Statistical Quality Control</i>)	115
10.3 Pareto Analysis	130

10.4 Quality Function Deployment (QFD).....	131
10.5 Scatter atau Plot Diagram Sebaran (Scatter)	133
10.6 Diagram Sebab Akibat.....	135
10.7 Hoshin Kanri	137
10.8 Desain Eksperimen (DOE)	138
10.9 Analisis Pohon Kesalahan (FTA)	140
10.10. FMEA (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)	141
BAB 11 KUALITAS MANAJEMEN DAN BIAYA	143
11.1. Pendahuluan	143
11.2 Peran Manajemen Tingkat Atas dan Menengah yang Berkaitan dengan Kualitas	144
11.3 Fungsi Rekayasa Pengendalian Mutu dan Tanggung Jawab Terkait Kualitas Diantara Berbagai Kelompok Organisasi.	145
11.4 Langkah-langkah Perencanaan Struktur Organisasi Pengendalian Mutu dan Metode. Organisasi Pengendalian Mutu	146
11.5 Atribut, Fungsi, dan Alasan Kegagalan Manajer Mutu.....	147
11.6 Manual Pengendalian Mutu dan Audit Mutu.....	148
11.7 Pengendalian Mutu Pengadaan	149
11.8 Biaya Kualitas.....	154
11.9 Indeks Biaya Kualitas.....	155
BAB 12 KESELAMATAN (SAFETY)	157
12.1 Perlunya safety	157
12.2 Fakta dan angka terkait keselamatan.....	158
12.3 Insinyur dan Keselamatan.....	158
12.4 Klasifikasi Bahaya Produk dan Cedera Mekanis yang Umum	159
12.5 Undang-Undang Undang-undang, Undang-Undang Umum, Administratif, dan Kewajiban serta Kewajiban Produk.....	161
12.6 Kompensasi Pekerja	161
BAB 13 METODE ANALISIS KEAMANAN	163

13.1 Pendahuluan	163
13.2 Diagram Sebab dan Akibat (<i>Cause and Effect Diagram</i> atau CAED).....	164
13.3 FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>).....	165
13.4 Bagan Kontrol	167
13.5 Metode Markove	170
13.6 Metode FMEA.....	173
13.7 Analisis Bahaya dan Pengoperasian (HAZOP)	174
13.8 Tinjauan Teknis Operasi (TOR).	175
13.9 Analisis Keamanan Antarmuka (ISA).....	176
13.10 Analisis Keselamatan Kerja (JSA).....	178
13.11 Indeks Keselamatan.....	179
BAB 14 MANAJEMEN SAFETY DAN PENGHITUNGAN BIAYA.....	181
14.1 Pendahuluan	181
14.2 Prinsip Manajemen Keselamatan dan Pengembangan	182
14.3 Fungsi Departemen Keselamatan.....	184
14.4 Fungsi dan Kualifikasi Profesional Keselamatan.....	184
14.5 Komite Safety dan Memotivasi karyawan untuk bekerja dengan aman.....	188
14.6 Kerugian atau biaya produsen akibat kecelakaan.....	189
14.7 Metode dan model estimasi biaya keselamatan	190
4.8 Indeks Biaya Keselamatan.....	193
BAB 15 KEAMANAN ROBOT, PERANGKAT LUNAK, DAN PERANGKAT MEDIS	195
DAFTAR PUSTAKA	197
BIODATA PENULIS.....	199
INDEKS.....	201

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Hubungan kualitas, kepuasan pelanggan dan nilai target.	4
Gambar 1. 2. Kualitas berorientasi waktu dan kepuasan pelanggan	4
Gambar 1. 3 Produk yang andal harus kuat seiring berjalannya waktu	5
Gambar 1. 4. Ilustrasi langkah-langkah dalam QFD	6
Gambar 1. 5. Aktivitas terkait keandalan dan manajemen kualitas selama siklus hidup sistem.....	8
Gambar 1. 6. Hubungan konseptual antara biaya siklus hidup dan berbagai fase siklus tersebut.	8
Gambar 1. 7. Process Pengembangan	9
Gambar 1. 8. Mengilustrasikan pentingnya desain dalam hal biaya	10
Gambar 3. 1. Kurva laju bahaya bak mandi.	26
Gambar 3. 2. Sumber-sumber yang dapat diidentifikasi untuk mengumpulkan data terkait kegagalan selama siklus hidup produk.....	34
Gambar 4. 1. Jaringan Seri	37
Gambar 4. 2. Jaringan Paralel.....	38
Gambar 4. 3. Plot keandalan sistem unit k-dari-m.	40
Gambar 4. 4. Jaringan Paralel.....	41
Gambar 4. 5. Jaringan Paralel Seri	42
Gambar 4. 6. Jaringan Jembatan.....	42
Gambar 4. 7. Grafik keandalan jaringan jembatan.	43
Gambar 5. 1. Grafik keandalan sistem paralel yang bergantung pada waktu.....	46
Gambar 5. 2. Plot keandalan bergantung waktu sistem unit k-dari-m.....	47
Gambar 5. 3. Ekspresi Perkiraan Persamaan diatas untuk Beberapa Nilai K/m Tertentu	47
Gambar 5. 4. Sistem Stand by.....	49
Gambar 6. 1. Diagram langkah metode reduksi jaringan: (i) jaringan asli; (ii) berkurangnya jaringan; (iii) berkurangnya jaringan; (iv) berkurangnya jaringan; (v) unit hipotetis tunggal.	64
Gambar 6. 2. Simbol pohon kesalahan yang umum: (a) wajik, (b) persegi panjang, (c) lingkaran, (d) gerbang OR, (e) gerbang AND.	68

Gambar 6. 3. Pohon kesalahan untuk terjadinya peristiwa puncak: ruangan gelap.....	69
Gambar 6. 4. Pohon kesalahan pada Gambar 6.3 dengan nilai probabilitas kejadian kesalahan yang diberikan dan dihitung.....	72
Gambar 6. 5. Langkah-langkah untuk melakukan FMEA.....	76
Gambar 7. 1. Type Pengujian Keandalan	80
Gambar 8. 1. Keandalan tanggung jawab terkait program manajemen umum.	91
Gambar 8. 2. Tanggung jawab penting departemen teknik keandalan.....	95
Gambar 8. 3. Kategori biaya keandalan.....	96
Gambar 9. 1. Elemen/tugas sistem penjaminan mutu.....	107
Gambar 9. 2. Pedoman desain untuk meningkatkan kualitas produk.....	109
Gambar 9. 3. Elemen penting TQM.	111
Gambar 10. 1. Sketsa Kasar Peta kendali.....	115
Gambar 10. 2. p-chart untuk komponen listrik.	118
Gambar 10. 3. Grafik R	123
Gambar 10. 4. Grafik -x	127
Gambar 10. 5. Dokumen perencanaan penerapan fungsi kualitas yang penting (QFD).	132
Gambar 10. 6. Langkah-langkah membangun rumah berkualitas	134
Gambar 10. 7. Diagram Sebab Akibat	136
Gambar 10. 8. Diagram Pohon Kesalahan.....	140
Gambar 11. 1. Peran Penting Manajemen Tingkat Atas yang terkait dengan kualitas.	144
Gambar 11. 2. Fungsi Utama Teknik Kendali	145
Gambar 11. 3. Metode Organisasi Pengendalian Kualitas	147
Gambar 11. 4. Fungsi Penting dari Manajer Mutu	148
Gambar 12. 1. Klasifikasi bahaya terkait produk.....	159
Gambar 12. 2. Cedera mekanis yang umum.	160
Gambar 13. 1. Diagram sebab dan akibat untuk memiliki ruangan gelap.....	165
Gambar 13. 2. The C-chart.....	170
Gambar 13. 3. Diagram Ruang Keadaan Sistem	172
Gambar 13. 4. Langkah-langkah untuk melakukan studi HAZOP.	176
Gambar 13. 5. Kategori hubungan yang dipertimbangkan oleh ISA.....	178
Gambar 14. 1. Fungsi-fungsi umum departemen keselamatan.....	185

Gambar 14. 2. Kualifikasi terkait akademis dari Anggota American Society.....	187
---	-----

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Sejarah Reliabilitas	2
Tabel 1. 2. Sejarah Kualitas.....	3
Tabel 1. 3. Kegagalan perja rata-rata untuk berbagai bisnis.....	11
Tabel 1. 4. Perbedaan Boolean dan Probability	17
Tabel 2. 1. Contoh Hasil statistik dengan aplikasi SPSS	22
Tabel 3. 1. Tingkat Kegagalan untuk Item tertentu setiap jam	35
Tabel 7. 1. Waktu Kegagalan Sistem Rekayasa (dalam Hari)	81
Tabel 7. 2. Nilai Distribusi Chi-Kuadrat.....	82
Tabel 7. 3. Waktu Kegagalan Item Rekayasa.....	84
Tabel 9. 1. Perbandingan Produk Modern dan Tradisional Berdasarkan	104
Tabel 9. 2. Perbandingan Antara Total Quality Management (TQM) dan Manajemen Penjaminan Mutu Tradisional (TQAM)	110
Tabel 9. 3. Beberapa Hambatan TQM Berupa Pertanyaan.....	113
Tabel 10. 1. Nilai untuk Faktor <i>d2</i> dan <i>d3</i>	120
Tabel 10. 2. Waktu Pengamatan untuk Delapan Sampel Berlabel A hingga H	121
Tabel 10. 3. Sampel A-Rentang H	121
Tabel 10. 5. Nilai Rata-rata Sampel A-H	125
Tabel 13. 1. Kejadian Kecelakaan Bulanan.....	169

BAB I

KEANDALAN, KUALITAS, DAN KEAMANAN

1.1 Pendahuluan

Keandalan semakin penting selama perancangan sistem teknik, karena kehidupan dan jadwal sehari-hari kita lebih bergantung dari sebelumnya pada fungsi yang memuaskan dari sistem-sistem ini, contoh sistem komputer, kereta api, mobil, pesawat terbang, dan satelit ruang angkasa. Faktor yang spesifik yang memainkan peran kunci dalam meningkatkan pentingnya keandalan dalam sistem yang dirancang meliputi kompleksitas dan kecanggihan sistem, persaingan, meningkatnya jumlah tuntutan hukum terkait keandalan/keamanan/kualitas, tekanan publik, biaya akuisisi yang tinggi, kegagalan sistem yang dipublikasikan secara luas di masa lalu, dan hilangnya prestise. Demikian juga pentingnya kualitas dalam bisnis dan industri meningkat pesat karena faktor-faktor seperti persaingan, meningkatnya permintaan pelanggan akan kualitas yang lebih baik, meningkatnya jumlah tuntutan hukum terkait kualitas, dan ekonomi global. Meskipun demikian, biaya pengendalian kualitas mencapai sekitar 7–10 % dari total pendapatan penjualan produsen.

Saat ini, perusahaan dihadapkan pada tantangan untuk mengurangi jumlah ini dan sekaligus meningkatkan kualitas produk dan layanan demi kelangsungan hidup mereka di era ekonomi internet. Keselamatan telah menjadi isu kritis karena setiap tahun sejumlah besar orang meninggal dan mengalami cedera serius akibat kecelakaan kerja dan kecelakaan lainnya.

Miliaran dolar dihabiskan setiap tahun untuk memproduksi produk baru menggunakan teknologi modern. Banyak dari produk ini sangat canggih dan mengandung jutaan komponen, contohnya, pesawat jumbo Boeing 747 terdiri dari sekitar 4,5 juta komponen termasuk pengencang. Tak perlu dikatakan lagi, keandalan, kualitas, dan keamanan sistem seperti ini menjadi lebih penting dari sebelumnya. Begitu jua persaingan global dan faktor-faktor lainnya, bila di tinjau dari sejarah tentang reliabilitas dan kualitas, seperti pada tabel 1.1. dan tabel 1.2. Dibawah ini

1.2 Sejarah Realibilitas dan Kualitas

Tabel 1. 1. Sejarah Reliabilitas

NO	TAHUN	KEGIATAN	MATERI
1	1945-1950	PDII (AS), <u>Roket</u> (Jerman)	- <u>Penelitian mengenai kegagalan peralatan elektronik, biaya pemeliharaan dan perbaikan peralatan, dll</u> - <u>Membentuk komite ad hoc pada keandalan</u>
2	1952-1956	<u>Peralatan Elektronik (AGREE). Menciptakan BUKU</u>	- <u>Simposium Keandalan dan krontrol.</u> - Faktor Keandalan <u>Peralatan</u> Elektronik Tanah
3	1950-1957	<u>Peneliti dan Penulis berkontribusi dibidang militer, sehingga setuju laporan pertama SETUJU spesifikasi</u>	Reliability Assurance Program for Electronic Equipment"
4	2003	Johnson dan Nilsson	<u>Mengurangi hal-hal yang tidak beres</u>
5	2001	ATRIBUT (Condra)	<u>Menggambarkan apakah produk melakukan apa yang diinginkan pengguna, pada saat pengguna menginginkannya</u>
6	1997	<u>Pelanggan Terhadap Kinerja Stracener)</u>	<u>Kemampuan suatu produk untuk memenuhi harapan pelanggan terhadap kinerja produk dari waktu ke waktu</u>
7		<u>Perangkat, Produk atau</u>	<u>Kemungkinan tidak akan gagal selama jangka waktu, Kemampuan untuk</u>

(Sumber:Dhillon, B. S, 2004)

Tabel 1. 2. Sejarah Kualitas

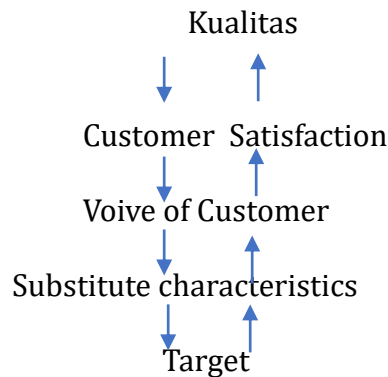
NO	TAHUN	KEGIATAN	MATERI
1	1315–1090 SM	Konstruksi piramida Mesir kuno	Pengerjaan, ukuran produk, dan bahan, dipraktekkan
2	1907	Perusahaan Listrik Barat di A.S.	Menggunakan prinsip-prinsip kontrol kualitas dasar dalam desain, manufaktur, dan instalasi.
3	1916 - 1917	C.N. Frazee of Telephone Laboratories	Menerapkan statistik metode untuk masalah inspeksi. Istilah "Kontrol Kualitas" diciptakan oleh Radford
4	1924	Walter A. Shewhart dari Western Electric	Mengembangkan grafik kendali mutu.
5	1946	American Society for Quality Control (ASQC)	Lebih bertahun-tahun, banyak peneliti, penulis, dan organisasi telah berkontribusi bidang kualitas.

(Sumber:Dhillon, B. S, 2004)

1.3 Hubungan Kualitas, Kepuasan Pelanggan dan target

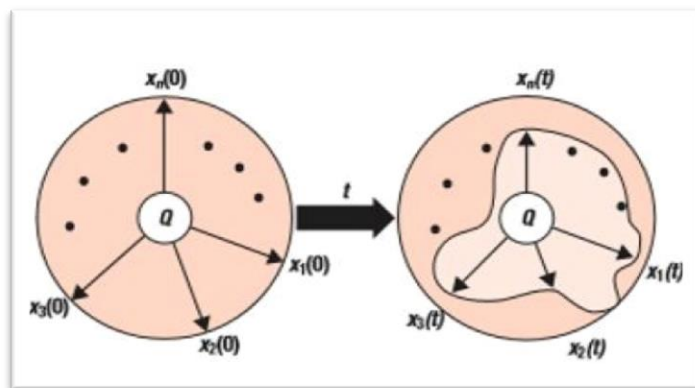
Keandalan adalah ukuran tingkat kinerja suatu produk dan fungsi dari sudut pandang pelanggan, kinerja atau kegagalan yang tidak memuaskan dari sudut pandang pelanggan, umur yang diharapkan atau ditentukan, kondisi pengoperasian dan lingkungan pelanggan selama siklus hidup produk. Selain itu, keandalan suatu produk, sebagai probabilitas, akan bergantung pada hal-hal yang dimaksudkan (yang mungkin berbeda untuk aplikasi yang berbeda), penggunaan dan kondisi lingkungan, definisi kinerja yang memuaskan dan waktu. Dan kualitas adalah 3 tingkat baik buruknya sesuatu, derajat, atau mutu, sejauh mana item, fungsi, atau proses memenuhi kebutuhan pengguna dan pelanggan dan tingkat yang menunjukkan serangkaian karakteristik yang melekat dan memenuhi ukuran tertentu.

Pada gambar 1.1. menunjukkan hubungan kualitas, kepuasan pelanggan, nilai target, dan bila dihubungkan dengan kualitas, kepuasan pelanggan dan efektivitas sistem. Seperti pada gambar 1.2. menunjukkan kualitas dari kepuasan pelanggan yang berpengaruh terhadap waktu.



Gambar 1. 1. Hubungan kualitas, kepuasan pelanggan dan nilai target.

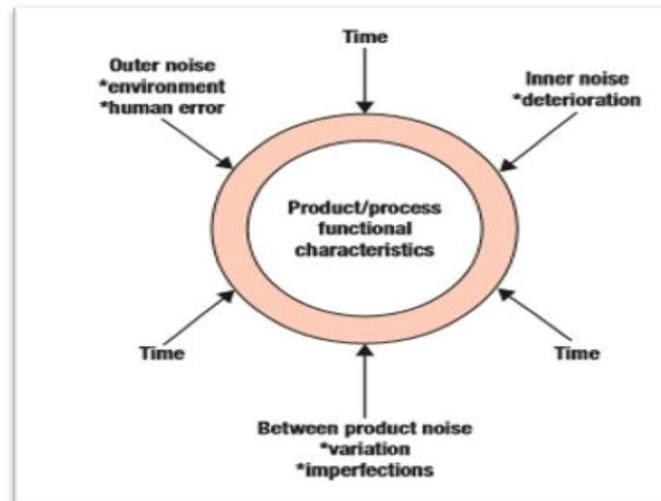
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)



Gambar 1. 2. Kualitas berorientasi waktu dan kepuasan pelanggan

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Menghasilkan produk yang andal harus kuat seiring berjalan nya waktu, seperti pada gambar 1.3. Kualitas adalah tingkat baik buruknya sesuatu, derajat, atau mutu, kepuasan pelanggan adalah tingkat perasaan pelanggan setelah membandingkan antara apa yang dia terima dan harapannya dan efektivitas adalah suatu ukuran yang menyatakan seberapa jauh target (kuantitas, kualitas, dan waktu) telah

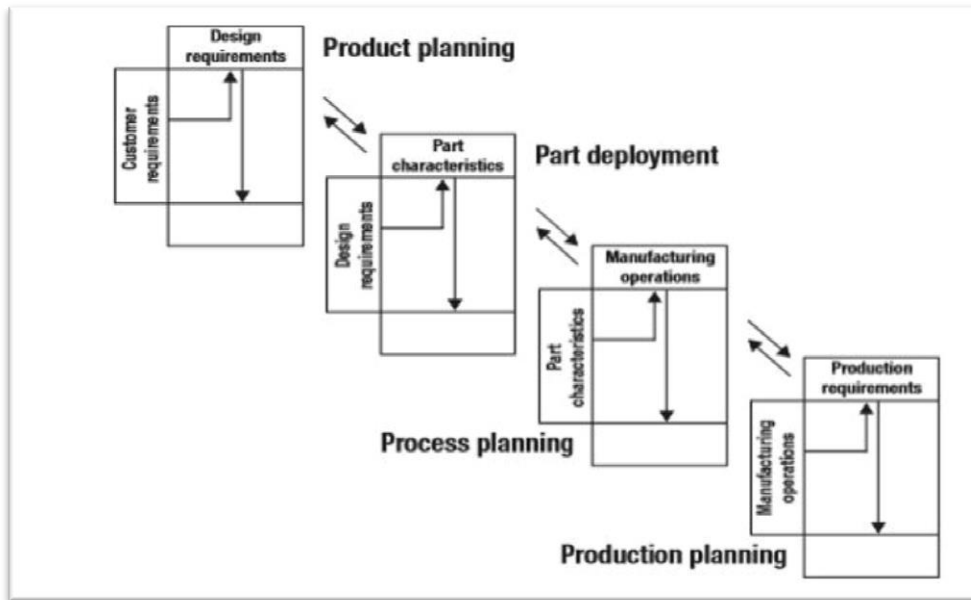


Gambar 1. 3 Produk yang andal harus kuat seiring berjalan nya waktu
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

1.4 Langkah-langkah dalam mencapai kualitas dalam pengembangan

Berdasarkan Gambar 1.4., menunjukkan langkah-langkah untuk mencapai kualitas, perlunya pengembangan dari fungsi kualitas sebagai berikut:

1. Perencanaan Produk adalah kebutuhan kustumer untuk rancangan yang di perlukan,
2. Pengembangan Komponen untuk rancangan yang diperlukan dengan karateristik komponen,
3. Perencanaan proses dengan karateristik komponen pada operasional manufacturing,
4. Perencanaan produksi yaitu operasional manufacturing dan kebutuhan produksi. .



Gambar 1. 4. Ilustrasi langkah-langkah dalam QFD

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Menguji keandalan dan kualitas lebih di utamakan ke produk, proses dan teknologi, lebih khusus membahas khusus pada manufacturing yaitu melalui penggunaan tenaga kerja, mesin, peralatan, dan pemrosesan atau formulasi biologis atau kimia. Sehingga hubungan dengan reliabilitas/keandalan sebagai berikut:

1. Ukuran relatif kinerja suatu produk dan fungsi dari sudut pandang pelanggan
2. Kinerja atau kegagalan yang tidak memuaskan dari sudut pandang pelanggan
3. Umur yang diharapkan atau ditentukan
4. Kondisi pengoperasian dan lingkungan pelanggan selama siklus hidup produk, dan beberapa contoh faktor lingkungan yaitu faktor

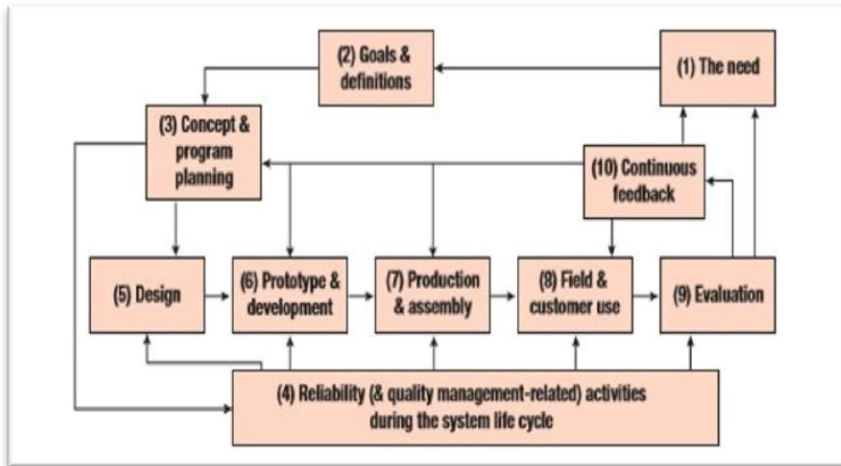
kebisingan yang dapat menurunkan tingkat keandalan/kualitas sebagai berikut:

1. Kebisingan luar adalah kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembapan, debu, dan kondisi penggunaan pelanggan yang berbeda.
2. Kebisingan dari dalam adalah perubahan sifat bawaan produk, seperti kerusakan, keausan, kelelahan, dan korosi. semuanya mungkin disebabkan oleh kondisi kebisingan dari luar.
3. Kebisingan produ adalah variasi satu per satu akibat variasi dan ketidaksempurnaan produksi.

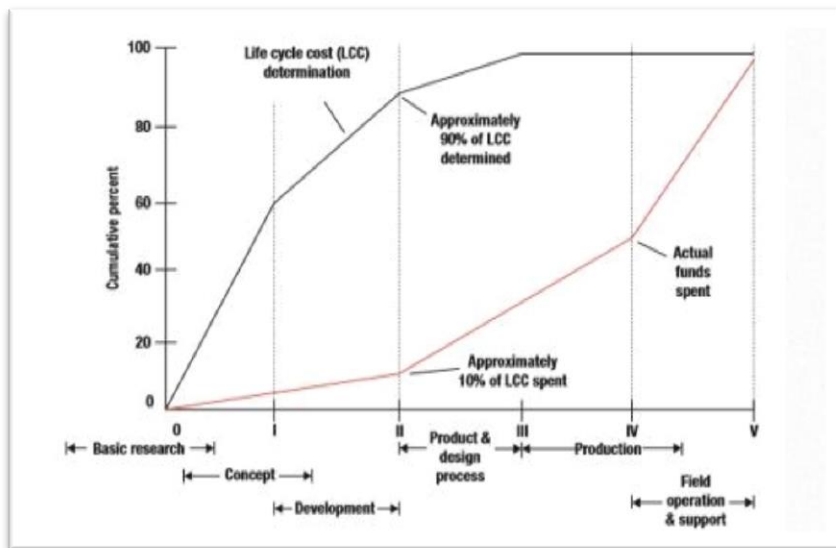
Hal lain, lima organisasi yang peduli dengan keandalan atau kualitas adalah banjir, pencemaran, tanah longsor, kebakaran hutan dan *global warming*

Pada Gambar 1.5. aktivitas terkait keandalan dan manajemen kualitas selama siklus hidup sistem adalah kebutuhan, sasaran & definisi, konsep dan Planning program, selama kegiatan siklus hidup pada sistem di hubungkan dengan keandalan dan kualita, rancangan, perlunya pengembangan dan prototype, produksi dan *assembling*, penggunaan sumber nya dan kustumer, dilanjutkan dengan evaluasi dan feed back secara terus-menerus sesuai kebutuhan. Dan pada Gambar 1.6. menunjukkan hubungan konseptual antara biaya siklus hidup dan berbagai fase siklus hidup sistem yang terjadi menghasilkan nilai biaya siklus hidup mencapai 100 %. Maka, dari gambar 1.7. menunjukkan bahwa dalam proses pengembangan fokus pada sistem yaitu penekanannya pada integrasi sistem, sinergi, dan saling ketergantungan serta interaksi seluruh bagian sistem (perangkat keras, perangkat lunak, manusia, dan elemen lainnya). Semua alat dan metodologi rekayasa sistem dan beberapa pengembangan dalam *Design for Six Sigma* (DFSS). Dan

fokus proses, desain dan pengelolaan proses keandalan harus dikembangkan dan dikelola dengan baik menggunakan tim lintas fungsi dengan menggunakan metodologi desain dan rekayasa bersamaan Gambar 1.7. dan struktur.

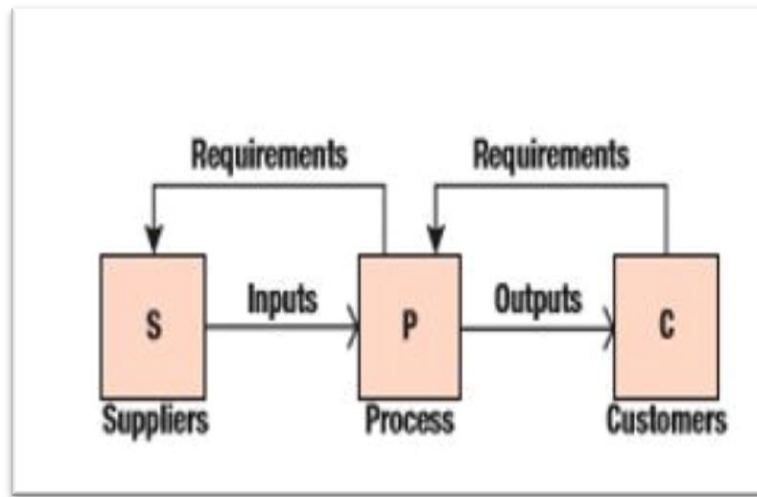


Gambar 1. 5. Aktivitas terkait keandalan dan manajemen kualitas selama siklus hidup sistem.
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)



Gambar 1. 6. Hubungan konseptual antara biaya siklus hidup dan berbagai fase siklus tersebut.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)



Gambar 1. 7. Process Pengembangan

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

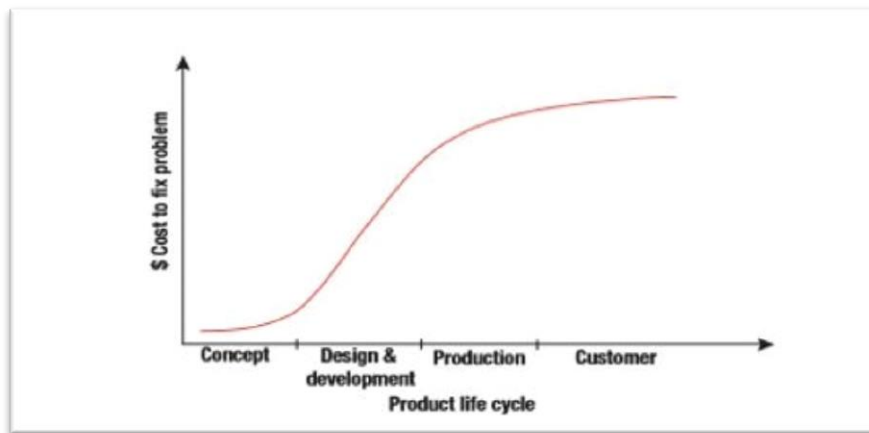
Program keandalan harus memahami hubungan dan saling ketergantungan seluruh komponen, rakitan, dan subsistem.

Keandalan yang tinggi bukanlah tujuan akhir namun merupakan sarana untuk mencapai tingkat kepuasan pelanggan, pangsa pasar, dan profitabilitas yang lebih tinggi. Oleh karena itu, kita harus mampu menerjemahkan metrik keandalan menjadi metrik keuangan yang dapat dipahami dan digunakan oleh manajemen dan pelanggan untuk proses pengambilan keputusan. Kemudian adanya perbaikan Berkesinambungan dan fokus ke depan. Peningkatan berkelanjutan, evolusioner, dan terobosan merupakan bagian integral dari setiap proses keandalan. Angka organisasi harus memiliki filosofi perbaikan tanpa henti dan mengandalkan pemikiran jangka panjang. Strategi pencegahan dan proaktif adalah abnyak filosofi dan metodologi desain

1. Pendekatan Ilmiah: Ilmu jaminan keandalan didasarkan pada pendekatan matematika dan statistik selain menggunakan semua

ilmu lainnya (seperti fisika, kimia, dan biologi kegagalan). Kita harus memahami sebab akibat (hubungan sebab-akibat dan cara-akhir), dan kita tidak boleh bergantung pada pendekatan yang bersifat anekdot. Metode berbasis data dan empiris digunakan untuk pengelolaan program keandalan.

2. Integrasi: Pemikiran sistem mencakup isu-isu yang lebih luas terkait dengan budaya organisasi. Dengan demikian, program keandalan harus mempertimbangkan integrasi isu-isu budaya, nilai-nilai, keyakinan, dan kebiasaan dalam organisasi mana pun untuk kerangka peningkatan kualitas dan produktivitas. Langkah desain. Sehingga Keandalan adalah parameter desain, dan harus dimasukkan kedalam pengembangan produk pada tahap desain



Gambar 1. 8. Mengilustrasikan pentingnya desain dalam hal biaya

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Konsekuensi kegagalan kerugian finansial ketika suatu produk gagal, pelanggaran kepercayaan Publik Perkumpulan Insinyur (PII) profesional nasional, kegagalan yang mengakibatkan tanggung jawab hukum dan kerugian

tak berwujud tergantung pada ekspektasi pelanggan. Tabel 1.3. kegagalan rata-rata perjam nya utnuk berbagai bisnis

Tabel 1. 3. Kegagalan perja rata-rata untuk berbagai bisnis

Type of business	Average hourly impact
Retail brokerage	\$6,450,000
Credit card sales authorization	\$2,600,000
Home shopping channels	\$113,750
Catalog sales center	\$90,000
Airline reservation centers	\$89,500
Cellular service activation	\$41,000
Package shipping service	\$28,250
Online network connect fees	\$22,250
ATM service fees	\$14,500

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

1.5 Tujuan Realibilitas dan Kualitas

Tujuan keandalan antara pemasok dan pelanggan sebagai berikut:

1. Pemasok, yang bekerja sama dengan pelanggan, harus menentukan dan memahami persyaratan pelanggan dan kebutuhan produk sehingga spesifikasi desain yang komprehensif dapat dihasilkan.
2. Pemasok harus menyusun dan mengikuti serangkaian aktivitas rekayasa sehingga produk yang dihasilkan memenuhi persyaratan pelanggan dan kebutuhan produk sehubungan dengan keandalan produk.
3. Pemasok harus mencakup aktivitas yang meyakinkan pelanggan bahwa persyaratan keandalan dan kebutuhan produk telah terpenuhi.

Sehingga disimpulkan keandalan berkaitan dengan kemampuan suatu produk untuk bekerja tanpa kegagalan dan dalam batas kinerja tertentu untuk waktu tertentu dalam kondisi aplikasi siklus hidupnya adalah kinerja dan kualitas berhubungan dengan keandalan, parameter kinerja biasanya menggambarkan kemampuan fungsional suatu produk, parameter kualitas biasa digunakan untuk menilai kebaikan produksi dan kemampuan kerja suatu produk saat pertama kali diterima oleh pelanggan dan rekayasa keandalan berkaitan dengan pencegahan, penilaian, dan pengelolaan kegagalan. Dan alat-alat insinyur keandalan mencakup statistik, teori probabilitas, dan banyak bidang teknik serta ilmu-ilmu yang berkaitan dengan domain masalah, sebagai berikut:

1. Pilih contoh produk dan jelaskan perbedaan antara kinerja, kualitas, dan keandalan. Pilih lembar data untuk suatu produk dan periksa apa yang tercantum dalam hal kinerja, kualitas, keandalan, dan dokumentasikan pengamatan
2. Identifikasi metrik keandalan yang diberikan dalam lembar spesifikasi suatu suku cadang atau produk. Sehingga diskusikan relevansi metrik ini, ditemukan contoh kegagalan produk yang sebenarnya. mengapa hal itu bisa terjadi, Apa penyebab utama kegagalan tersebut dan Apa konsekuensinya, apakah bisakah Anda memberi nilai (misalnya waktu dan uang) pada konsekuensinya.

BAB 2

MATEMATIKA KEANDALAN, KUALITAS, DAN KESELAMATAN

2.1 Analisis kualitas dan realibilitas

Matematika memiliki peran penting dalam bidang keandalan (reliability), kualitas (quality), dan keselamatan (safety) pada sistem teknik, industri, manufaktur, transportasi, energi, maupun teknologi informasi. Pendekatan matematis digunakan untuk menganalisis kemungkinan kegagalan, mengendalikan mutu produk, serta mengurangi risiko kecelakaan dan kerugian. Bidang ini berkembang seiring meningkatnya kebutuhan terhadap sistem yang aman, efisien, dan andal. Dalam praktiknya, metode matematika digunakan untuk memprediksi umur komponen, menghitung probabilitas kegagalan, mengevaluasi tingkat keselamatan sistem, mengendalikan kualitas produksi, serta membantu pengambilan keputusan berbasis risiko. Konsep-konsep utama yang digunakan meliputi probabilitas, statistika, proses stokastik, optimasi, dan teori keandalan.

Pada perhitungan manufacturing yaitu produksi barang melalui penggunaan tenaga kerja, mesin, peralatan, dan pemrosesan atau formulasi biologis atau kimia. Dengan mempertimbangkan faktor kebisingan, di awali perhitungan Modus, Median, Jangkauan, Rata-rata Aritmatika, Rata-rata Akar Kuadrat, Deviasi Rata-rata, dan Deviasi Standar. Dengan melihat hubungan

kualitas, keandalan, kepuasan pelanggan, nilai target pada bab I. sebagai berikut:

2.2 Modus, Median, Mean, Rata-rata Aritmatika, Akar Kuadrat, Deviasi Rata-rata, dan Deviasi Standar.

1. Modus, Median, Mean

Modus adalah nilai yang paling sering muncul dalam sekumpulan data, dengan contoh: Jumlah kegagalan bulanan yang terkait dengan sistem ini selama periode 12 bulan adalah 15, 7, 9, 10, 15, 20, 25, 18, 15, 5, 4, dan 14. Maka modus dari rangkaian di atas nilai data. angka yang paling sering muncul adalah 15. Median adalah nilai tengah suatu data setelah data diurutkan, contoh : kegagalan peralatan yang terjadi selama periode 9 bulan dalam suatu organisasi adalah 10, 14, 16, 20, 21, 24, 25, 28, dan 30. Maka nilai tengah himpunan bilangan di atas adalah 21. Sedangkan Mean adalah rata-rata suatu data. $\text{Mean} = \frac{4+4+4+5+5+5+6+6+7+7+8+9}{12}$ $\text{Mean} = 70 : 12$ (banyaknya data), maka $\text{Mean} = 5,83$. Selanjutnya perhitungan range, arithmetic mean, akar rata-rata kuadrat, deviasi rata, probabilitas dan sifat probabilitas, matematik yang berguna dan hukum aljabar boolean dan probability.

2. Range, Arithmetic Mean

Range Adalah Rentang dari sekumpulan data nilai adalah perbedaan antara nilai terkecil dan terbesar dalam himpunan

$$\begin{aligned} R &= \text{Nilai tertinggi} - \text{Nilai terendah} \\ &= 30 - 10 = 20 \end{aligned}$$

$$\text{Rata2} = \frac{\sum_{i=1}^k M_i}{k} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana : m = nilai rata2

k = nilai jumlah total

M_i = nilai data $I = I = 1,2,3,.....k$

3. Akar Rata-rata Kuadrat

Ukuran variasi atau dispersi yang berguna. Kisaran suatu himpunan nilai data adalah selisih antara nilai terkecil dan terbesar dalam himpunan tersebut.

Akar Rata-rata Kuadrat: k = jumlah Bilangan

$$RMS = \left[\frac{\sum_{i=1}^k M_i^2}{k} \right]^{1/2} \dots\dots\dots 2.2$$

RMS = akar kuadrat rata2

Contoh:

Carilah akar kuadrat rata-rata dari kumpulan data yang diberikan pada Contoh 2.6. Dengan menggunakan data yang diberikan pada Persamaan (2.2) diperoleh

$$RMS = \left[\frac{10^2 + 14^2 + 7^2 + 15^2 + 4^2 + 2^2 + 5^2 + 9^2}{8} \right]^{1/2} = 9,33$$

Dengan demikian, nilai rata-rata kuadrat (root mean square) dari kumpulan data yang diberikan adalah 9,33

4. Deviasi Rata2

Deviasi Rata-rata Ini adalah salah satu ukuran dispersi yang umum digunakan. Ini menunjukkan sejauh mana data tertentu cenderung menyebar di sekitar nilai rata-rata. Deviasi rata-rata ditentukan oleh

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^k |M_i - m|}{k} \dots\dots\dots 2.3$$

di mana:

MD = simpangan baku rata-rata

M = nilai rata-rata dari kumpulan data yang diberikan

k = jumlah total titik data dalam kumpulan data yang diberikan

M_i = nilai data i ; untuk $i = 1, 2, 3, \dots, k$

$|M_i - m|$ = nilai absolut dari simpangan baku M_i dari m

Contoh: $m = 8,25$ Cacat/system, menggunakan bilangan di atas (10, 14, 7, 15, 4, 2, 5, and 9)

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^k |M_i - m|}{k} = 3,75$$

5. Standar Deviasi

Ukuran dispersi data yang paling banyak digunakan dalam diberikan kumpulan data tentang mean $\sigma = \text{standar Deviasi}$, $\mu = \text{nilai rata2}$

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^k (M_i - \mu)^2}{k} \right]^{1/2} = 4,75$$

68,27% dari semua nilai data termasuk antara $\mu - \sigma$ dan $\mu + \sigma$.

95,45% dari semua nilai data termasuk antara $\mu - 2\sigma$ dan $\mu + 2\sigma$

99,73% dari semua nilai data termasuk antara $\mu - 3\sigma$ dan $\mu + 3\sigma$

2.3 Hukum aljabar boolean dan probability

Aljabar Boolean digunakan dalam logika matematika, elektronika digital, dan ilmu computer, dan perbedaanya, terlihat pada tabel 2.1. Perbedaan Boolean dan Probability

Tabel 1. 4. Perbedaan Boolean dan Probability

Boolean	Probability
Nilai hanya 0 atau 1	Nilai antara 0–1
Digunakan pada logika digital	Digunakan pada analisis peluang
Operasi logika	Operasi statistik/peluang

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

2.4 Sifat dan Definisi Probabilitas

Probabilitas dapat didefinisikan secara sederhana sebagai kemungkinan terjadinya suatu peristiwa tertentu / $P(X)$ merupakan peluang terjadinya peristiwa X, dan N merupakan jumlah total kejadian X dalam k kali percobaan yang diulang:

$$P = \frac{\text{Jumlah total cara terjadinya suatu peristiwa}}{\text{Jumlah total kemungkinan terjadinya}}$$

1. $P(X)$ adalah peluang terjadinya kejadian X dan N adalah banyaknya kejadian X yang terjadi dalam k percobaan berulang.
2. $P(Y)$: Peluang terjadinya kejadian Y dan peluang tidak terjadinya kejadian Y.
3. Peluang terjadinya gabungan m dengan kejadian bebas

$$P(x) = \lim_{k \rightarrow \infty} \left[\frac{N}{k} \right] ;$$

$$P(Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_m) = \sum_{i=1}^m P(Y_i)$$

$$P(Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_m) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P(Y_i)) \quad \dots 2.4$$

Contoh :

Asumsikan dua item dipilih secara acak dari total 10 item yang empat di antaranya rusak. Hitung peluang bahwa tidak ada item yang dipilih yang rusak, Jumlah cara memilih dua item dari 10 item diberikan oleh

$$TNW = \binom{10}{2} = \frac{10!}{2!(10-2)!} = 45$$

Total Number Way(TNW) :

Jumlah barang yang tidak cacat = $10 - 4 = 6$. Jadi, banyaknya cara memilih dua barang yang tidak cacat adalah

$$TNWND = \binom{6}{2} = \frac{6!}{2!(6-2)!} = 15$$

Jadi, tidak satu pun item yang dipilih yang cacat, $P = 15/45 = 0,3333$

2.5 Matematik yg berguna

2.5.1 Fungsi Kepadatan Probabilitas dan Distribusi Kumulatif

t = waktu (variabel acak kontinu)

$f(t)$ = fungsi kepadatan/density probabilitas (dalam pekerjaan keandalan,

sering disebut sebagai fungsi kepadatan kegagalan)

$F(t)$ = fungsi distribusi kumulatif dan dinyatakan oleh

$$f = \frac{dF(t)}{dt} = 15$$

2.5.2 Nilai yg di capai (E) :

$$E(t) = \sum_{j=1}^K t_j f(t_j) \dots \dots \dots 2.5$$

di mana K adalah jumlah total nilai diskrit dari variabel acak t.

2.5.3 Varians

$$\sigma^2(t) = e(t^2) - [E(t)]^2$$

$$\sigma^2(t) = \int_0^\infty t^2 f(t) dt - m^2 \dots \dots \dots 2.6$$

2.5.4 Transformasi Laplace

Dimana: s adalah variabel transformasi Laplace

f(s) adalah transformasi Laplace dari f(t).

Transformasi Laplace dari beberapa fungsi yang sering muncul dalam reliabilitas kualitas, atau area keselamatan

$$f(s) = \int_0^\infty f(t) e^{st} dt \dots \dots \dots 2.7$$

2.5.5 Transformasi Laplace: Teori Nilai Akhir

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s f(s) \dots \dots \dots 2.8$$

2.6 Menyelesaikan Persamaan Diferensial Orde Pertama dengan Transformasi Laplace

$$P_0(t) = e^{-(\lambda_o + \lambda_s)t}$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda_o}{\lambda_o + \lambda_s} [1 - e^{-(\lambda_o + \lambda_s)t}]$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda_s}{\lambda_o + \lambda_s} [1 - e^{-(\lambda_o + \lambda_s)t}] \dots\dots\dots 2.9$$

Di mana:

$P_i(t)$ = probabilitas bahwa sistem berada dalam keadaan i pada waktu t , untuk $i = 0$ (beroperasi normal), $i = 1$ (gagal dalam mode terbuka), dan $i = 2$ (gagal dalam mode pendek).

λ_o = tingkat kegagalan mode terbuka konstan sistem

λ_s = tingkat kegagalan mode pendek konstan sistem

2.7 Distribusi Statistik

2.7.1 Distribusi Normal: Normal Distribution (Acak dan Kontinu)

Distribusi ini merupakan jenis distribusi yang paling sangat sering dijumpai. Distribusi ini memiliki peran yang penting dalam teori maupun pengaplikasian statistik. Distribusi normal memiliki parameter, yaitu parameter μ (rata-rata) dan parameter σ (standar deviasi).

$$E(t) = m = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} t \exp \left[\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] dt \dots\dots\dots 2.10$$

2.7.2 Distribusi Binomial :

Distribusi variabel acak diskret ini digunakan dalam situasi yang berkaitan dengan probabilitas hasil seperti jumlah kejadian (misalnya, kegagalan) dalam serangkaian percobaan yang diberikan. Lebih khusus lagi, setiap percobaan memiliki dua kemungkinan hasil (misalnya, keberhasilan atau kegagalan), tetapi probabilitas setiap percobaan tetap tidak berubah atau konstan.

$$F(y) = \sum_{i=0}^y \frac{n!}{i!(n-i)!} p^i q^{n-i} \dots\dots\dots 2.11$$

2.7.3 Poisson Distribution

Poisson Distribution adalah distribusi probabilitas diskrit yang digunakan untuk menghitung peluang jumlah kejadian tertentu dalam suatu interval waktu, area, jarak, atau volume dengan asumsi bahwa kejadian terjadi secara acak, rata-rata jumlah kejadian tetap dan setiap kejadian saling independen. Distribusi ini sering dipakai dalam statistik, data science, teknik, dan riset operasional.

2.7.4 Exponential Distribution

1. Distribusi Eksponensial

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots 2.12$$

Distribusi ini juga sering dipakai karena pola data kerusakan dapat tercermin dari distribusi ini. Parameter dalam distribusi ini digambarkan melalui λ (laju kegagalan konstan).

2.7.5 Rayleigh Distribution

Distribusi Rayleigh adalah distribusi probabilitas kontinu yang sering digunakan untuk memodelkan besaran (magnitude) dari vektor dua dimensi yang komponen-komponennya berdistribusi normal independen dengan variansi yang sama. Distribusi ini banyak dipakai dalam bidang komunikasi sinyal, radar, fisika, dan analisis kecepatan

2.7.6 Weibull Distribution

Distribusi ini umum digunakan dalam menggambarkan karakteristik kerusakan dan keandalan pada suatu komponen. Distribusi *Weibull* merupakan distribusi empirik sederhana yang mewakili data yang aktual. Distribusi weibull memiliki parameter *shape* β (kemiringan) dan parameter α (skala). Parameter *shape* β merupakan parameter yang menentukan laju kerusakan pada kurva.

Perhitungan dengan statistik (median, modus, mean (rata-rata), standar deviasi, dll) yang manual membutuhkan waktu lama, untuk itu dalam penelitian perlu di aplikasikan dengan metode aplikasi menggunakan *software* statistik seperti IBM SPSS Statistics. Seperti contoh tabel 2.2. dibawah ini.

Tabel 2. 1. Contoh Hasil statistik dengan aplikasi SPSS

Statistics		MOTIVAS I-11	KIN-11	P
N	Valid	65.00	65.00	65.00
	Missing	38.00	38.00	38.00
Mean		107.95	110.02	105.40
Std. Error of Mean		1.32	0.73	1.18
Median		109.56	111.11	106.00
Mode		120.00	113.00	104.00
Std. Deviation		10.62	15.89	9.53
Variance		112.73	34.73	90.78
Skewness		-0.83	-0.99	-0.68
Std. Error of Skewness		0.30	0.30	0.30
Kurtosis		-0.21	0.97	0.11
Std. Error of Kurtosis		0.59	0.59	0.59
Range		40.00	27.00	43.00
Minimum		80.00	92.00	77.00
Maximum		120.00	119.00	120.00
Sum		7017.00	7151.00	6851.00

(Sumber: Mesi SPSS Type Seri 26)

BAB 3

PENGANTAR KEANDALAN

3.1 Perlunya Keandalan

Keandalan menjadi faktor penting selama perancangan sistem/produk rekayasa karena kehidupan dan jadwal kita sehari-hari semakin bergantung pada berfungsinya sistem ini secara memuaskan. Beberapa contoh kereta api, komputer, pesawat terbang, satelit luar angkasa, dan mobil. Biasanya,

keandalan barang seperti ini yang diperlukan dinyatakan dalam spesifikasi desain. Pada gilirannya, segala upaya dilakukan selama tahap desain untuk memenuhi persyaratan ini secara memuaskan.

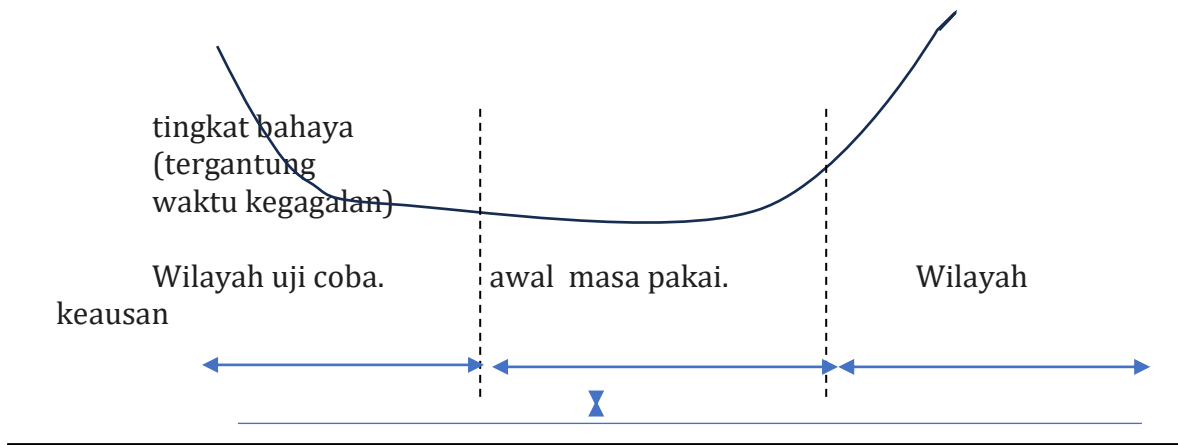
Beberapa faktor yang memainkan peran penting dalam meningkatkan pentingnya keandalan dalam sistem yang dirancang meliputi persaingan, tekanan publik, meningkatnya jumlah tuntutan hukum terkait keandalan/kualitas, produk yang kompleks dan canggih, hilangnya prestise, biaya akuisisi yang tinggi, dan kegagalan sistem yang dipublikasikan dengan baik di masa lalu.

Ketiga faktor tersebut dibahas secara lebih rinci di bawah ini.

1. Produk yang kompleks dan canggih. Selama bertahun-tahun, produk teknik menjadi lebih canggih dan kompleks. Misalnya, pada tahun 1935 sebuah traktor pertanian memiliki 1200 bagian penting dan pada tahun 1990 jumlahnya meningkat menjadi sekitar 2900. Terlebih lagi, saat ini pesawat jumbo jet Boeing 747 pada umumnya terdiri dari sekitar 4,5 juta bagian, termasuk pengencang.
2. Biaya akuisisi yang tinggi. Banyak produk teknik berharga jutaan dolar (misalnya pesawat komersial, sistem pertahanan, dan satelit luar angkasa). Kegagalan item tersebut dapat mengakibatkan kerugian jutaan dolar.
3. Kegagalan sistem yang dipublikasikan secara luas di masa lalu. Tiga contoh kegagalan tersebut adalah bencana Space Shuttle Challenger, ledakan Reaktor Nuklir Chernobyl, dan Bencana Jembatan Point Pleasant dan bencana-bencana ini masing-masing terjadi pada bulan Januari 1986, April 1986, dan Desember 1967.

3.2 Kurva Tingkat Bahaya Bathtub

Kurva tingkat bahaya Bathtub adalah konsep terkenal yang mewakili perilaku kegagalan berbagai item/produk teknik karena tingkat kegagalan item tersebut berubah seiring waktu. Namanya diambil dari bentuknya yang menyerupai bak mandi seperti terlihat pada Gambar 3.1. Tiga wilayah kurva yang berbeda diidentifikasi dalam gambar: wilayah terbakar, wilayah masa manfaat, dan wilayah keausan. Wilayah ini menunjukkan tiga fase yang dilalui oleh produk yang baru diproduksi selama masa pakainya. Selama wilayah/periode terbakar, tingkat bahaya produk (yaitu, tingkat kegagalan yang bergantung pada waktu) menurun dan beberapa alasan terjadinya kegagalan selama periode ini adalah pengerjaan yang buruk, komponen dan bahan di bawah standar, kontrol kualitas yang buruk, manufaktur yang buruk, metode, instalasi dan start-up yang salah, kesalahan manusia, debugging yang tidak memadai, pengemasan yang salah, proses yang tidak memadai, dan metode penanganan yang buruk. Nama lain yang digunakan untuk wilayah yang terbakar adalah wilayah debug, wilayah kematian bayi, dan wilayah pembobolan. Selama masa manfaat, tingkat bahaya produk tetap konstan dan kegagalan terjadi secara acak atau tidak dapat diprediksi. Beberapa alasan terjadinya hal tersebut adalah cacat yang tidak terdeteksi, penyalahgunaan, faktor keamanan yang rendah, stres acak yang lebih tinggi dari yang diharapkan, kondisi yang tidak dapat dihindari, dan kesalahan manusia. Selama wilayah aus, tingkat bahaya produk meningkat dan beberapa alasan terjadinya kegagalan wilayah aus disebabkan perawatan yang buruk, keausan akibat gesekan, keausan karena penuaan, korosi dan mulur, praktik overhaul yang salah dan masa pakai produk yang dirancang pendek.



Gambar 3. 1. Kurva laju bahaya bak mandi.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

3.3 Fungsi Tingkat Bahaya Umum dan Spesifik

Tingkat Bahaya umum seperti pada rumus 3.1.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{\int_0^t 1-f(t)} \dots\dots\dots 3.1.$$

dimana :

$\lambda(t)$ = tingkat bahaya item (yaitu, tingkat kegagalan yang bergantung pada waktu t)

$f(t)$ = fungsi kepadatan kegagalan item (fungsi kepadatan probabilitas)

$F(t)$ = fungsi distribusi kumulatif (yaitu, probabilitas kegagalan item pada waktu t)

$R(t)$ = reliabilitas item pada waktu t

3.3.1 Tingkat Bahaya untuk Distribusi Eksponensial

Penyebut dari Persamaan (3.1) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \dots\dots\dots 3.2.$$

Mendiferensialkan Persamaan (3.2) terhadap t , kita memperoleh

$$\frac{dR(t)}{dt} = -f(t) \dots\dots\dots 3.3. \quad ; \quad \lambda(t) = -\frac{1}{R(t)}.$$

$$\frac{dR(t)}{dt} \dots\dots\dots 3.4.$$

Fungsi kepadatan kegagalan dari distribusi eksponensial

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0, \lambda > 0 \dots\dots 3.5.$$

Di mana λ adalah parameter distribusi (dalam studi reliabilitas disebut tingkat kegagalan) dan t adalah waktu. Memasukkan Persamaan (3.5) (3.2.) ke dalam Persamaan (3.1), kita mendapatkan ekspresi tingkat bahaya distribusi eksponensial berikut:

$$\lambda(t) = \frac{\lambda e^{\lambda t}}{1 - \int_0^t \lambda e^{\lambda t} dt} = \lambda \quad 3.6.$$

Ruas kanan Persamaan (3.6) (3.3.) tidak bergantung pada waktu t . Jadi, λ disebut tingkat kegagalan konstan. Ini berarti bahwa ketika waktu kegagalan sebuah item terdistribusi secara eksponensial, tingkat kegagalannya secara otomatis konstan.

Ekspresi ini cukup berguna untuk mendapatkan tingkat bahaya item ketika fungsi reliabilitas item diketahui. Fungsi tingkat bahaya untuk tiga distribusi probabilitas spesifik disajikan di bawah ini.

3.3.2 Tingkat Bahaya Distribusi Weibull

Fungsi kepadatan kegagalan distribusi Weibull pada pers.3.7

$$f(t) = \frac{\theta t^{\theta-1}}{\alpha^\theta} e^{-t/\alpha^\theta}, t \geq 0, \alpha > 0, \theta > 0 \dots \dots 3.7$$

dimana α dan θ masing-masing adalah parameter skala dan bentuk. Menggunakan Persamaan (3.7) dalam Persamaan (3.1) menghasilkan ekspresi tingkat bahaya distribusi Weibull berikut:

$$\begin{aligned}\lambda(t) &= \left[\frac{\theta t^{\theta-1}}{\alpha^\theta} e^{-(t/a)^\theta} \right] / \left[1 - \int_0^t \frac{\theta t^{\theta-1}}{\alpha^\theta} e^{-(t/a)^\theta} dt \right] \\ &= \frac{\theta}{\alpha^\theta} t^{\theta-1} \dots\dots\dots 3.8.\end{aligned}$$

Untuk $\theta = 1$ dan $\theta = 2$, Persamaan (3.8) memberikan tingkat bahaya masing-masing untuk distribusi eksponensial dan Rayleigh. Misalnya, Persamaan (3.8) identik dengan Persamaan (3.6) ketika $\theta = 1$ dan $\alpha = 1/\lambda$. Tingkat bahaya atau kegagalan meningkat secara linear seiring berjalannya waktu ketika waktu terjadinya kegagalan terdistribusi secara Rayleigh. Hal ini dapat dengan mudah dilihat dari Persamaan (3.8) untuk $\theta = 2$.

3.3.3 Tingkat Bahaya untuk Distribusi Umum

Fungsi kepadatan kegagalan pada distribusi umum

$$f(t) = \left[c \lambda \gamma t^{\gamma-1} + (1-c) \theta t^{\theta-1} \mu e^{ut^\theta} \right] \left[\exp \left[-c \lambda \gamma t^\gamma - (1-c)(e^{ut^\theta} - 1) \right] \right] \dots\dots 3.9.$$

pada $0 \leq c \leq 1$ dan $\gamma, \theta, \mu, \lambda > 0$

dimana t = waktu, μ dan λ = parameter skala θ dan γ = parameter bentuk. Mengganti Persamaan (3.9) ke dalam Persamaan (3.1) menghasilkan persamaan berikut untuk tingkat bahaya distribusi umum:

$$\lambda(t) = c \lambda \gamma t^{\gamma-1} + (1-c) \theta t^{\theta-1} \mu e^{ut^\theta} \dots\dots 3.10.$$

Untuk $\theta = 1$ dan $\gamma = 0.5$, Persamaan (3.10) memberikan kurva tingkat bahaya bak mandi. Tingkat bahaya untuk distribusi probabilitas berikut adalah kasus khusus dari Persamaan (3.10):

- Eksponensial (yaitu, untuk $c = 1, \gamma = 1$)
- Rayleigh (yaitu, untuk $c = 1, \gamma = 2$)
- Weibull (yaitu, untuk $c = 1$)
- Nilai ekstrem (yaitu, untuk $c = 0, \theta = 1$)
- Makeham (yaitu, untuk $\gamma = 1, \theta = 1$)

3.4 Fungsi Reliabilitas Umum dan Spesifik

Fungsi reliabilitas umum dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (3.4). Jadi, dengan menata ulang Persamaan (3.4), kita peroleh Fungsi Keandalan untuk Distribusi Eksponensial, Fungsi Keandalan Distribusi Weibull dan Fungsi Keandalan untuk Distribusi Umum

$$R(t) = \exp [-c\lambda t^\gamma - (1-c)(e^{\mu t^\theta} - 1)] \dots\dots\dots 3.11.$$

3.5 Waktu Rata-Rata untuk Kegagalan

Parameter keandalan yang penting dan dapat diperoleh dengan menggunakan salah satu dari tiga rumus berikut:

$$MTTF = \int_0^\infty t f(t) dt \quad ; \quad MTTF = \int_0^\infty R(t) dt \quad ; \quad MTTF = \lim_{s \rightarrow 0} R(s) \dots\dots 3.12. \quad \backslash$$

Di mana:

MTTF = waktu rata-rata hingga kegagalan

s = variabel transformasi Laplace

R(s) = transformasi Laplace dari R(t) (yaitu, fungsi keandalan)

3.5.1 Derivasi Persamaan

Mensubstitusikan Persamaan (3.3) ke dalam Persamaan, menghasilkan

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

$$MTTF = \lim_{s \rightarrow 0} R(s)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = [-te^{-\lambda t}]_0^{\infty} - \left[-\frac{e^{-\lambda t}}{\lambda}\right]_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda} \dots 3.13.$$

3.6 Estimasi Tingkat Kegagalan

Biasanya, selama proses desain, tingkat kegagalan komponen yang digunakan dalam produk diperkirakan. Tingkat kegagalan produk/peralatan secara keseluruhan dihitung dengan menambahkan semua tingkat kegagalan komponen. Biasanya, tingkat kegagalan komponen elektronik dihitung dengan menggunakan MIL-HDBK-217 [9]. Buku pegangan ini menggunakan persamaan berikut untuk memperkirakan tingkat kegagalan berbagai komponen elektronik:

$$\lambda_C = \lambda_b f_g f_e \dots \dots \dots 3.14$$

di mana

λ_C = tingkat kegagalan komponen

f_q = faktor yang memperhitungkan tingkat kualitas komponen

f_e = faktor yang memperhitungkan pengaruh lingkungan penggunaan

λ_b = tingkat kegagalan dasar; ini biasanya dinyatakan dengan model yang menghubungkan pengaruh suhu dan tegangan listrik pada komponen yang sedang dipertimbangkan tingkat kegagalan dasar diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut, untuk banyak komponen elektronik:

$$\lambda_b = C \exp \left[\frac{e_a}{kT_a} \right] \dots\dots\dots 3.15.$$

di mana

k = konstanta Boltzmann

T_a = suhu absolut

e_a = energi aktivasi untuk proses

C = konstanta

Biasanya, selama proposal penawaran dan fase desain awal, tingkat kegagalan peralatan elektronik, dalam lingkungan penggunaan tunggal, dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\lambda_E = \sum_{j=1}^n q_j (\lambda_g \theta_f)_f \dots\dots\dots 3.16.$$

di mana

n = jumlah total klasifikasi komponen/bagian generik yang berbeda dalam

peralatan

λ_E = tingkat kegagalan total peralatan, dinyatakan dalam kegagalan/106 jam

θ_f = faktor kualitas komponen generik j

λ_g = tingkat kegagalan generik komponen generik

j, dinyatakan dalam kegagalan/106 jam

qj = kuantitas komponen generik j

Nilai untuk θ

3.7 Pengumpulan Data Kegagalan, Sumber, dan Tingkat Kegagalan untuk Item Terpilih

Data kegagalan memberikan informasi berharga bagi para profesional seperti insinyur keandalan, insinyur desain, dan insinyur sistem mengenai kinerja produk di lapangan. Faktanya, dapat ditambahkan bahwa data kegagalan adalah tulang punggung analisis keandalan karena waktu distribusi kegagalan suatu produk/suku cadang hanya dapat ditentukan dari riwayat kegagalan di masa lalu. Selama bertahun-tahun, berbagai cara dan sarana telah digunakan untuk mengumpulkan data kegagalan. Namun demikian, dalam siklus hidup peralatan/produk, pada dasarnya ada delapan sumber yang dapat diidentifikasi untuk mengumpulkan data terkait kegagalan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Beberapa sumber/dokumen khusus/utama untuk memperoleh data terkait kegagalan adalah sebagai berikut:

1. Program pertukaran data industri pemerintah
2. Penyimpanan Data Institut Penelitian Amerika (AIR)
3. Sistem data keandalan pembangkit nuklir
4. MIL-HDBK-217, Prediksi keandalan peralatan elektronik
5. EEE-STD-500-1977, data keandalan Nuklir IEEE
6. SYREL: Bank data keandalan
7. Bank Data Komponen Elektronik Badan Antariksa Eropa (ESA)
8. Data perlengkapan umum
9. NPRD-3 (Laporan), Data keandalan komponen non-elektronik

10. Buku: Keandalan mekanis: teori, model, dan aplikasi (berisi beberapa data dan daftar lebih dari 55 sumber data kegagalan).



Gambar 3. 2. Sumber-sumber yang dapat diidentifikasi untuk mengumpulkan data terkait kegagalan selama siklus hidup produk.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Sumber yang dapat diidentifikasi untuk mengumpulkan data terkait kegagalan selama siklus hidup produk. Klaim garansi Laporan yang dihasilkan oleh fasilitas perbaikan. Buku Keandalan manusia: dengan faktor manusia (berisi beberapa data dan mencantumkan lebih dari 24 sumber data

keandalan manusia). Buku Keandalan dan keamanan robot (berisi beberapa data dan mencantumkan lebih dari 55 sumber data terkait kegagalan).

3.7.1 Tingkat Kegagalan untuk Item Terpilih Dalam literatur yang diterbitkan, tersedia sejumlah besar data tingkat kegagalan. Tabel 3.1 menyajikan tingkat kegagalan untuk item selektif yang diambil dari sumber data yang dipublikasikan.

Tabel 3. 1. Tingkat Kegagalan untuk Item tertentu setiap jam

No.	Item	Failure rate/10 ⁶ h
1	Neon lamp	0.20
2	Lamp, incandescent	1
3	Single fiber optic connectors	0.10
4	Washer	0.5
5	Knob	0.09
6	Motor, general	10.00
7	Seal (O-ring)	0.2
8	Seal (sliding)	3.0
9	Hair spring	1
10	Nut or bolt	0.02
11	Commercial grade hybrid relay (use environment: ground, benign)	0.0551
12	Crimp connection (use environment: ground, benign)	0.00026
13	Vibrator (MIL-V-95): 400-cycle	40
14	Fiber optic cables (single fiber types only)	0.1 (per fiber Km)
15	Relief valve	0.5-10

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

BAB 4

MODEL EVALUASI KEANDALAN STATIS

4.1 Pendahuluan

Seringkali keandalan sistem rekayasa dievaluasi tanpa mempertimbangkan faktor waktu. Lebih spesifiknya, keandalan komponen system diasumsikan konstan. Jenis evaluasi atau analisis ini biasanya merupakan bentuk analisis pendahuluan atau dasar. Meskipun demikian, dalam jenis evaluasi keandalan ini, suatu sistem direpresentasikan oleh diagram blok. Pada gilirannya, diagram blok tersebut terdiri dari banyak sub blok yang mewakili subsistem/unit/bagian. Probabilitas kegagalan atau keberhasilan masing-masing subsistem, unit, atau bagian ini di perkirakan untuk menghitung probabilitas kegagalan atau keberhasilan sistem secara keseluruhan. Dalam hal ini, probabilitas keberhasilan atau kegagalan komponen tidak bervariasi dengan waktu (yaitu, tetap konstan). Secara umum, dalam jenis evaluasi atau analisis keandalan ini, diasumsikan bahwa komponen/unit/subsistem gagal secara independen.

Keandalan statis dalam konteks rekayasa sistem, terutama untuk sistem atau komponen teknik, berfokus pada penilaian probabilitas atau kemampuan suatu sistem untuk berfungsi dengan baik selama periode waktu tertentu tanpa mengalami kegagalan. Dalam evaluasi ini, tidak mempertimbangkan dinamika dari sistem yang sedang diuji, namun hanya

berfokus pada probabilitas kegagalan yang dihasilkan dari distribusi statistik yang sesuai. Yang di evaluasi [Perancangan dan sistem rekayasa], keandalan atau probabilitas kegagalan unit/bagian/komponen yang konstan, maka penyelesaian dengan keandalan jaringan seri, paralel, K-out-of-m, seri paralel, seri-paralel, dan Jaringan jembatan.

4.2 Jaringan seri



Gambar 4. 1. Jaringan Seri

Dimana:

R_s = keandalan sistem deret atau peluang keberhasilan

x_i = kejadian yang menyatakan keberhasilan unit i , untuk $i = 1, 2, 3, \dots, m$

m

$P(X_1, X_2, X_3, \dots, X_m)$ = peluang terjadinya kejadian $x_1, x_2, x_3, \dots$

Untuk unit yang gagal secara independen, Persamaan (4.1) menjadi

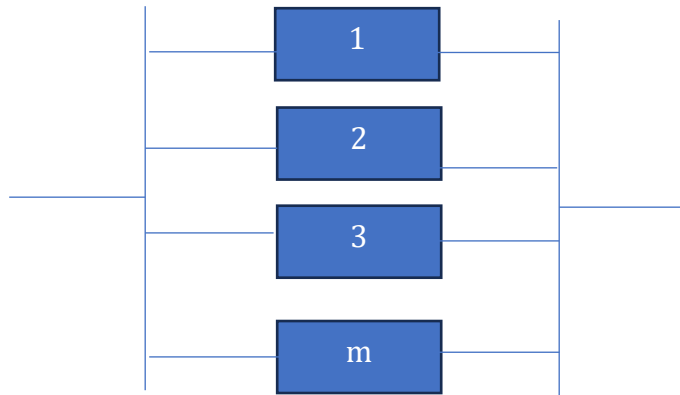
$$R_s = P(x_1) P(x_2) P(x_3) \dots P(x_m) \quad \dots\dots\dots 4.1$$

Di mana $P(x_i)$ adalah probabilitas terjadinya peristiwa x_i , untuk $i = 1, 2, 3, \dots, m$,

Jika kita misalkan $R_i = P(x_i)$ dalam Persamaan (4.2) maka menjadi

$$\begin{aligned} R_s &= \prod_{i=1}^m R_i \\ R_s &= 1 - \sum_{i=1}^m (1 - R_i) \\ R_s &= 1 - m(1 - R) \dots\dots\dots 4.2 \end{aligned}$$

4.3 Jaringan Paralel



Gambar 4. 2. Jaringan Paralel

$$F_p = P(\overline{X_1} \overline{X_2} \overline{X_3} \dots \overline{X_m}) \dots \dots \dots 4.3$$

Dimana:

F_p = keandalan sistem paralel atau peluang kegagalan

$\overline{X_i}$ = kejadian yang menyatakan kegagalan unit i, untuk $i = 1, 2, 3, \dots, m$

$P(\overline{X_1} \overline{X_2} \overline{X_3} \dots \overline{X_m})$ = peluang terjadinya kejadian $x_1, x_2, x_3, \dots$

$$F_p = P(\overline{X_1}) P(\overline{X_2}) P(\overline{X_3}) \dots \dots \dots P(\overline{X_m}) \dots \dots \dots 4.4$$

$P(\overline{X_m})$ adalah probabilitas terjadinya peristiwa kegagalan, untuk $=1, 2, 3, \dots, m$

$$R_p = 1 - F_p$$

$$R_f = \prod_{i=1}^m F_i$$

Di mana:

R_p adalah keandalan sistem paralel. Untuk unit yang identik

$$R_p = 1 - F^m \dots\dots\dots 4.5$$

Karena $R+F= 1$, Persamaan (4.10) ditulis ulang menjadi bentuk berikut:

$$R_p = 1 - (1 - R)^m \dots\dots\dots 4.6$$

4.3 Jaringan K-Out-of-m

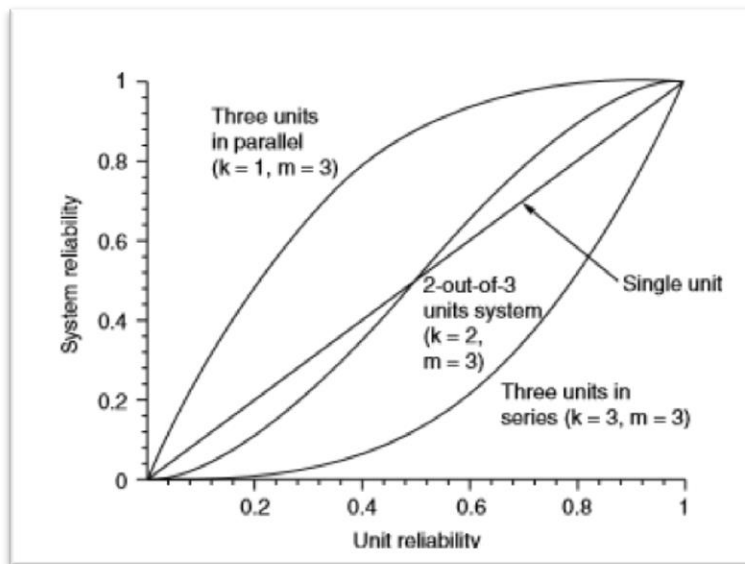
Jaringan K-Out-of m adalah bentuk redundansi lain (kondisi penggunaan, penyimpanan, atau penyajian informasi/komponen yang berlebihan, melampaui batas yang diperlukan) dan sering digunakan dalam komputer. Dalam hal ini, setidaknya k unit dari total m unit harus beroperasi normal agar sistem berhasil. Sama seperti pada jaringan paralel, semua unit dalam jaringan ini aktif atau beroperasi secara bersamaan.

$$R_{k/m} = \sum_{i=k}^m \binom{m}{i} R^i (1 - R)^{m-i} \dots\dots\dots 4.7$$

$$\binom{m}{i} = \frac{m!}{(m-i)!i!}$$

$R_{k/m}$ = keandalan jaringan/sistem k-dari-m

R = keandalan unit



Gambar 4. 3. Plot keandalan sistem unit k-dari-m.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

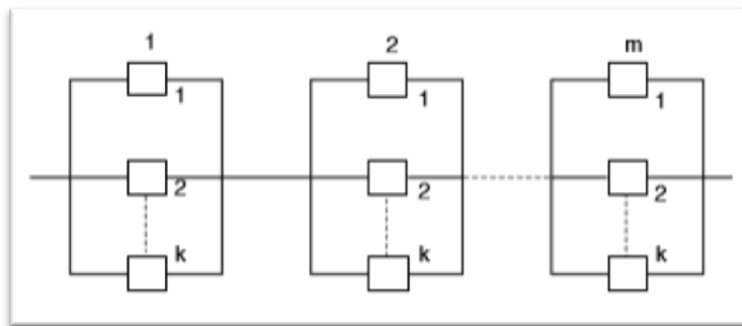
RGM (Reliability Growth Model atau Model Pertumbuhan Reliabilitas) adalah memantau, memprediksi, dan mengevaluasi peningkatan keandalan (reliabilitas) suatu produk, baik perangkat keras maupun perangkat lunak selama fase pengembangan dan pengujian. Prinsip utama RGM adalah "Test-Analyze-and-Fix". Secara bertahap, kegagalan diidentifikasi melalui pengujian, penyebabnya dianalisis, dan tindakan korektif dilakukan untuk menghilangkan kecacatan tersebut. Hasilnya, tingkat kegagalan sistem akan menurun dan reliabilitasnya meningkat seiring berjalannya. MSR (Mining Software Repositories atau Penambangan Repositori Perangkat Lunak), sebagai berikut:

- Khususnya dalam pengembangan sistem perangkat lunak, merujuk pada Mining Software Repositories
- Teknik analisis yang mengekstraksi data dari repositori perangkat lunak (seperti GitHub, Jira, SVN) untuk mengungkap wawasan

tersembunyi mengenai kualitas, reliabilitas, dan evolusi perangkat lunak.

- Memprediksi cacat (defect prediction). Dengan menambang sejarah perubahan kode, MSR dapat mengidentifikasi modul kode yang rentan terhadap bug di masa depan
- Menganalisis riwayat *commit* untuk melihat pola pengembang yang sering menyebabkan cacat.
- Menghubungkan data *bug report* dengan perubahan kode spesifik untuk menentukan reliabilitas komponen tertentu.

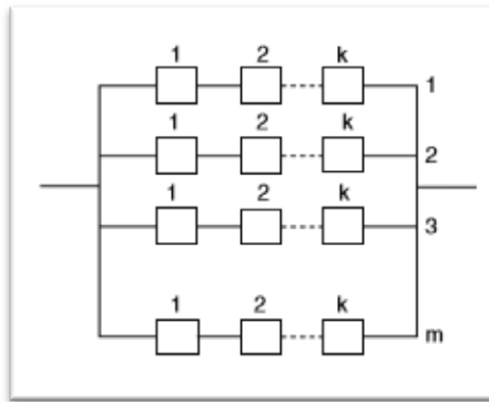
4.4 Jaringan Seri Paralel



Gambar 4. 4. Jaringan Paralel

$$R_{sp} = [1 - (1 - R)^k]^m \dots\dots\dots 4.8$$

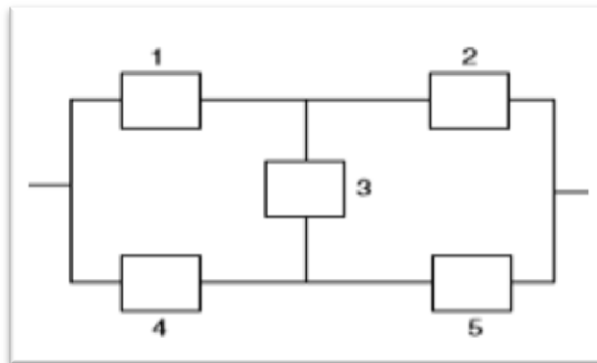
4.5 Jaringan Paralel Seri



Gambar 4. 5. Jaringan Paralel Seri

$$R_{ps} = [1 - (1 - R)^k]^m \dots\dots\dots 4.9$$

4.6 Jaringan Jembatan



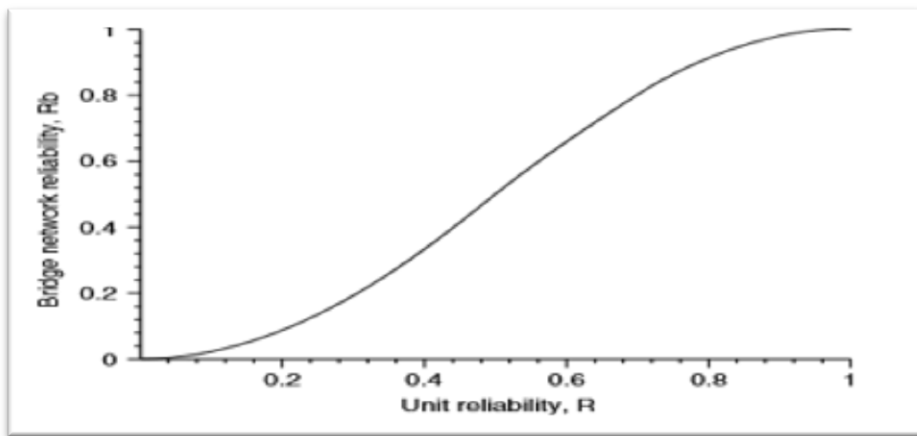
Gambar 4. 6. Jaringan Jembatan

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

$$R_b = 2 R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 + R_2 R_3 R_4 + R_1 R_3 R_5 + R_1 R_4 + R_2 R_5 - R_2 R_3 R_4 R_5 - \\ R_1 R_2 R_3 R_4 - R_5 R_1 R_2 R_3 - R_1 R_3 R_4 R_5 - R_1 R_2 R_4 R_5$$

Di mana R_b adalah keandalan jaringan jembatan dan R_i adalah keandalan unit i , untuk $i = 1, 2, 3, 4$, dan 5 . Untuk unit yang identik, Persamaan (4.21) menjadi

$$R_b = 2R^5 - 5R^4 + 2R^3 + 2R^2 \dots\dots\dots 4.10$$



Gambar 4. 7. Grafik keandalan jaringan jembatan.
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

BAB 5

MODEL EVALUASI KEANDALAN DINAMIS

5.1 Pendahuluan

Pada umum nya, dalam lingkungan kehidupan nyata, informasi terkait data kegagalan pada barang-barang teknik dikumpulkan dan nilai parameter seperti waktu rata-rata kegagalan dan tingkat kegagalan dihitung. Dalam skenario seperti itu, keandalan barang bervariasi seiring waktu. Lebih spesifiknya, keandalan barang tidak konstan. Waktu kegagalan barang dapat mengikuti berbagai pola yang berbeda. Selama bertahun-tahun, banyak distribusi statistik yang berbeda telah digunakan untuk merepresentasikan pola-pola ini. Distribusi ini meliputi eksponensial, Weibull, normal, gamma, dan Rayleigh. Pengalaman masa lalu menunjukkan bahwa secara umum waktu kegagalan komponen elektronik mengikuti distribusi eksponensial dan komponen mekanik mengikuti distribusi Weibull. Meskipun demikian, dalam evaluasi keandalan kehidupan nyata sistem/komponen teknik, distribusi eksponensial paling banyak digunakan. Mungkin faktor terpenting untuk penerapannya yang luas adalah kesederhanaannya dalam penggunaan. Bab ini membahas evaluasi keandalan berbagai konfigurasi keandalan standar dalam kondisi dinamis (yaitu, ketika probabilitas kegagalan barang bervariasi seiring waktu) yaitu Jaringan seri, paralel, K-out-of-m, seri paralel, seri-paralel, dan system stand by.

5.2 Jaringan Seri

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \dots\dots\dots 5.1$$

5.2.1 Jaringan Seri. Keandalan Sistem Seri dan Waktu Rata-rata hingga Kegagalan dengan Waktu hingga Kegagalan Unit Terdistribusi Weibull

$$R_i(t) = e^{- (\theta_i t^{K+1}) / (K+1)} \dots\dots\dots 5.2$$

di mana:

$R_i(t)$ = keandalan unit ke-i pada waktu t

θ_i = parameter skala unit ke-i

K = parameter bentuk unit ke-i

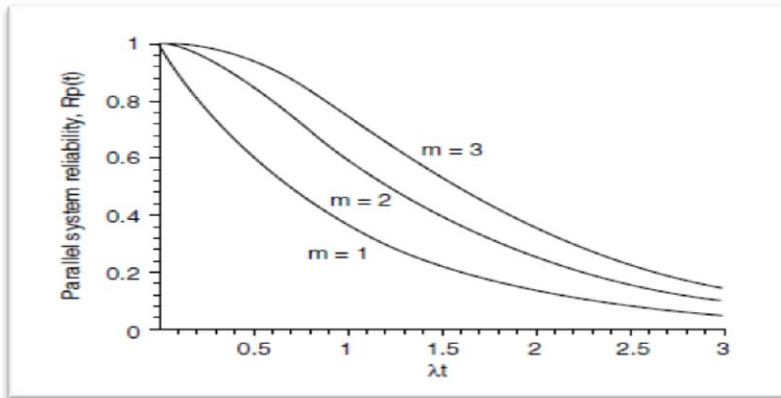
$$MTTF_s = \Gamma \left(\frac{1}{K+1} \right) \left[(K+1) \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m \theta_i}{K+1} \right\}^{1/K+1} \right]^{-1} \dots\dots\dots 5.3$$

Di mana: $\Gamma \left(\frac{1}{K+1} \right)$ fungsi gamma dan MTTF s adalah rata-rata sistem seri waktu hingga kegagalan dengan waktu hingga kegagalan unit terdistribusi Weibull.

5.2.2 Keandalan Sistem Seri dengan Tingkat Kegagalan yang Tidak Konstan Laju Unit

$$R_s = e^{-T} = e^{-(\sum_{i=1}^m \lambda_i) t} \dots\dots\dots 5.4$$

5.3 Jaringan Paralel



Gambar 5. 1. Grafik keandalan sistem paralel yang bergantung pada waktu

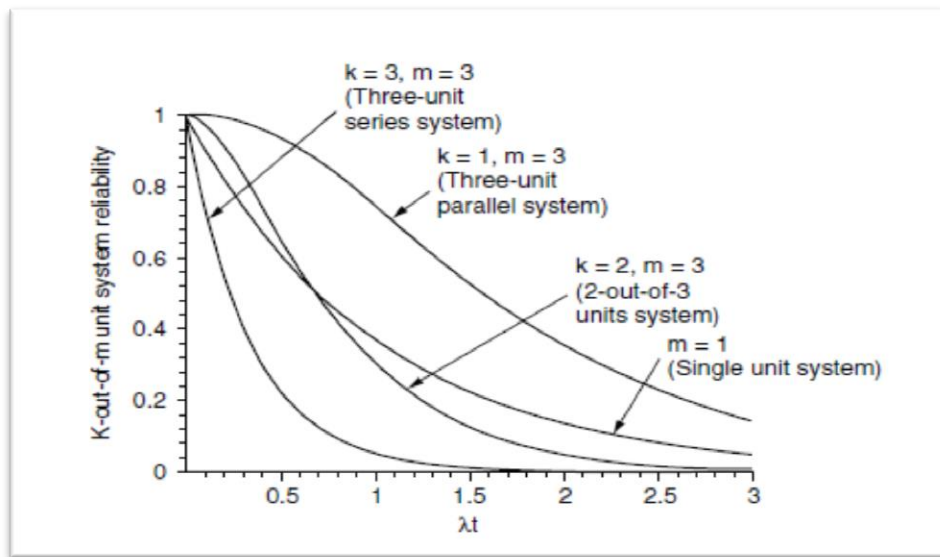
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

$$MTTF_s = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^m \frac{1}{i} \dots\dots\dots 5.5$$

5.4 Jaringan *k-Out-of-m*

$$MTTF_{m/K} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=K}^m \frac{1}{i} \dots\dots\dots 5.6$$

Di mana $MTTF_{m/K}$ adalah Sistem satuan k-dari-m adalah waktu rata-rata hingga kegagalan.



Gambar 5. 2. Plot keandalan bergantung waktu sistem unit k-dari-m
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Gambar 5. 3. Ekspresi Perkiraan Persamaan diatas untuk Beberapa Nilai K/m Tertentu

No.	Specified K/m Values	Approximate Expression for Calculating System Reliability
1	$K = 1, m = 2$ (i.e., at least 1 unit out-of-2 must work for success)	$1 - (\lambda t)^2$
2	$K = 1, m = 3$ (i.e., at least 1 unit out-of-3 must work for success)	$1 - (\lambda t)^3$
3	$K = 1, m = m$ (i.e., at least 1 unit out-of- m must work for success)	$1 - (\lambda t)^m$
4	$K = 2, m = 3$ (i.e., at least 2 units out-of-3 must work for success)	$1 - 3 (\lambda t)^2$
5	$K = 3, m = 4$ (i.e., at least 3 units out-of-4 must work for success)	$1 - 6 (\lambda t)^2$
6	$K = m - 1, m = m$ (i.e., at least $(m - 1)$ units out-of- m must work for success)	$1 - \binom{m}{2} (\lambda t)^2$
7	$K = 2, m = 4$ (i.e., at least 2 units out-of-4 must work for success)	$1 - 4 (\lambda t)^3$
8	$K = 3, m = 5$ (i.e., at least 3 units out-of-5 must work for success)	$1 - 10 (\lambda t)^3$
9	$K = m - 2, m = m$ (i.e., at least $(m - 2)$ units out-of- m must work for success)	$1 - \binom{m}{3} (\lambda t)^3$

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

5.5 Jaringan *Seri Paralel*

$$MTTF_{sp} = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \sum_{i=1}^m \left[(-1)^{i+1} \binom{m}{i} \sum_{f=1}^{iK} \frac{1}{j} \right] \dots\dots\dots 5.7$$

di mana $MTTF_{sp}$ adalah waktu rata-rata hingga kegagalan jaringan seri-paralel.

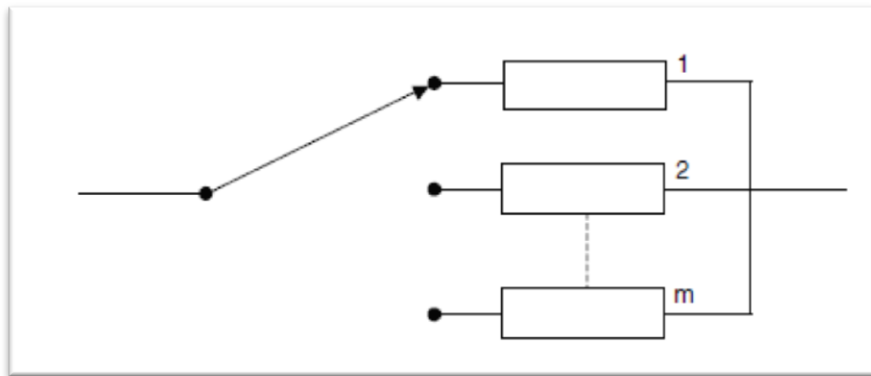
5.6 Jaringan Paralel Seri

$$MTTF_{ps} = \frac{1}{K\lambda} \sum_{i=1}^m \frac{1}{i} \dots\dots\dots 5.8$$

di mana $MTTF_{ps}$ adalah waktu rata-rata kegagalan jaringan/sistem paralel-seri.

5.7 Sistem Stand By

Dalam hal ini, satu unit beroperasi dan $(m - 1)$ unit tetap dalam keadaan siaga seperti yang digambarkan oleh diagram blok pada Gambar 5.3. Setiap blok dalam diagram menunjukkan sebuah unit. Ketika unit yang beroperasi gagal, unit tersebut segera digantikan oleh salah satu unit siaga.



Gambar 5. 4. Sistem Stand by

$$MTTF_{st} = \frac{m}{\lambda} \dots\dots\dots 5.9$$

Di mana MTTFst adalah waktu ata-rata kegagalan sistem siaga.

5.8 Jaringan Jembatan

$$R_b(t) = 2Re^{-5\lambda t} - 5e^{-4\lambda t} + 2e^{-3\lambda t} + 2e^{-2\lambda t}$$

$$MTTF_{ps} = \int_0^{\infty} [2Re^{-5\lambda t} - 5e^{-4\lambda t} + 2e^{-3\lambda t} + 2e^{-2\lambda t}] dt$$

$$MTTF_{ps} = \frac{49}{60\lambda} \dots\dots\dots 5.10$$

di mana MTTFb adalah waktu rata-rata kegagalan jaringan jembatan

5.9 Model evaluasi keandalan dinamis

Model evaluasi keandalan dinamis digunakan untuk menganalisis dan memprediksi keandalan sistem yang berubah seiring waktu, dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kinerja sistem pada periode tertentu. Berbeda dengan model keandalan statis yang hanya melihat keandalan pada satu titik waktu, model dinamis memfokuskan pada perubahan keandalan dari waktu ke waktu, sering kali dengan memperhitungkan faktor-faktor seperti kondisi lingkungan, beban kerja, atau degradasi komponen. Sebagai berikut:

1. Model Keandalan Waktu (Time-Based Reliability Models)

Fungsi Keandalan (Reliability Function) adalah fungsi ini menggambarkan probabilitas bahwa sistem atau komponen bertahan hingga waktu t tanpa mengalami kegagalan. Fungsi keandalan, $R(t)$, biasanya dihitung berdasarkan distribusi waktu hingga kegagalan, seperti distribusi eksponensial,

- Weibull, atau log-normal.

$$R(t) = P(T > t)$$

- **Distribusi Kegagalan:** Menggunakan distribusi probabilitas untuk menggambarkan waktu hingga kegagalan suatu komponen atau sistem. Model distribusi yang sering digunakan antara lain distribusi eksponensial, Weibull, dan log-normal.

2. Model Keandalan Proses Stokastik

- **Proses Poisson:** Menggunakan proses Poisson untuk menghitung jumlah kegagalan yang terjadi dalam periode waktu tertentu, dengan asumsi kegagalan terjadi secara acak dan independen.

- **Proses Markov:** Dalam model ini, sistem dianggap berada dalam beberapa keadaan (misalnya, normal, rusak, dan gagal). Transisi antar keadaan mengikuti probabilitas yang bergantung pada waktu, dan matriks transisi digunakan untuk memodelkan perubahan keadaan dari waktu ke waktu.

3. Model Keandalan Berdasarkan Degradasi (Degradation-Based Models)

- **Model Degradasi Linear atau Non-Linear:** Menghitung keandalan berdasarkan tingkat degradasi yang terjadi pada komponen atau sistem seiring waktu. Misalnya, jika suatu sistem mengalami degradasi linier, maka seiring berjalannya waktu, probabilitas kegagalan meningkat secara linear.
- **Model Keandalan Berdasarkan Kondisi (Condition-Based Reliability):** Keandalan dinilai berdasarkan kondisi sistem, dengan memantau variabel-variabel tertentu (misalnya, suhu, getaran) untuk memprediksi kegagalan di masa depan.

4. Model Keandalan Sistem Multikomponen (Multi-Component System Reliability)

- **Model Kombinasi Seri dan Paralel:** Jika suatu sistem terdiri dari beberapa komponen yang saling berhubungan dalam konfigurasi seri atau paralel, model dinamis dapat digunakan untuk memodelkan keandalan sistem secara keseluruhan. Dalam sistem seri, kegagalan satu komponen menyebabkan kegagalan sistem, sementara dalam sistem paralel, sistem masih dapat berfungsi meski ada komponen yang gagal.
- **Simulasi Monte Carlo:** Simulasi ini digunakan untuk menilai keandalan sistem multikomponen dengan menjalankan simulasi acak

berdasarkan probabilitas kegagalan komponen untuk melihat performa sistem secara keseluruhan dari waktu ke waktu.

5. Pendekatan Pemodelan dengan Algoritma (Algorithmic Approaches)

- **Pencarian Numerik atau Simulasi:** Dalam beberapa kasus, pencarian numerik dan simulasi berbasis komputer digunakan untuk memecahkan masalah keandalan dinamis, terutama ketika model matematis analitik terlalu rumit atau sulit diterapkan secara langsung.
- **Algoritma Optimasi dan Machine Learning:** Beberapa penelitian terbaru menggunakan algoritma optimasi dan pembelajaran mesin (machine learning) untuk mengembangkan model dinamis yang lebih akurat dan responsif terhadap kondisi nyata dan perubahan sistem secara real-time.

6. Model Keandalan Berdasarkan Data (Data-Driven Reliability Models)

- **Model Prediktif:** Menggunakan data historis atau data sensorial (seperti data IoT) untuk memprediksi kegagalan. Teknik-teknik seperti regresi, analisis korelasi, atau model prediktif berbasis machine learning (misalnya, jaringan syaraf tiruan) digunakan untuk memperkirakan kapan kegagalan akan terjadi.
- **Model Prognosis dan Health Management (PHM):** Menggabungkan teknik pemantauan kesehatan sistem dengan prediksi keandalan untuk memperkirakan waktu kegagalan dan merencanakan pemeliharaan yang optimal.

7. Model Keandalan Terintegrasi dengan Manajemen Pemeliharaan

- **Strategi Pemeliharaan Terjadwal:** Pemeliharaan berbasis waktu dilakukan pada interval yang terjadwal untuk meminimalkan kemungkinan kegagalan sistem.
- **Pemeliharaan Berdasarkan Kondisi (Condition-Based Maintenance):** Menggunakan data dari sensor atau indikator kondisi untuk memutuskan kapan pemeliharaan atau perbaikan perlu dilakukan.

8. Aplikasi Model Evaluasi Keandalan Dinamis

- **Industri Manufaktur:** Memastikan mesin atau perangkat produksi tetap berfungsi optimal dengan meminimalkan waktu henti akibat kegagalan.
- **Transportasi dan Otomotif:** Memprediksi umur dan kegagalan komponen kendaraan untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi.
- **Sistem Energi dan Infrastruktur:** Menilai keandalan sistem kelistrikan, jaringan energi, dan infrastruktur lainnya yang bersifat dinamis dan penting untuk keberlangsungan layanan.
- **Perangkat Medis dan Teknologi:** Dalam dunia medis, memprediksi kegagalan perangkat medis yang dapat mempengaruhi kehidupan pasien.

Keandalan dinamis sangat penting dalam merancang, memelihara, dan mengelola sistem kompleks yang beroperasi dalam kondisi variabel dan rentang terhadap kegagalan seiring waktu. Model ini membantu dalam meramalkan umur komponen, meminimalkan biaya pemeliharaan, dan meningkatkan keandalan keseluruhan sistem. Pemilihan model yang tepat tergantung pada sifat sistem yang dianalisis dan data yang tersedia.

Model evaluasi keandalan dinamis (dynamic reliability evaluation) digunakan untuk menganalisis kemampuan sistem atau komponen dalam menghadapi

kondisi beban yang berubah-ubah dari waktu ke waktu. Model ini sering kali diterapkan pada sistem yang memiliki komponen dengan kegagalan yang bergantung pada waktu atau beban yang berubah, misalnya sistem mekanik atau elektronika.

Contoh Soal:

Sebuah sistem mekanik terdiri dari dua komponen yang bekerja secara paralel. Komponen 1 memiliki keandalan $R_1(t)$ yang mengikuti distribusi eksponensial dengan laju kegagalan $\lambda_1=0,05 \text{ jam}^{-1}$, sedangkan komponen 2 memiliki keandalan $R_2(t)$ yang mengikuti distribusi Weibull dengan parameter $\lambda_2=0,02 \text{ jam}^{-1}$, dan $k=-1,5$. Sistem hanya akan gagal jika kedua komponen gagal secara bersamaan.

Diketahui bahwa beban pada sistem berubah dengan waktu, dan beban tersebut diukur sebagai $B(t)=0,1t \text{ jam}^{-1}$, yang berfungsi sebagai faktor pemicu kegagalan.

Pertanyaan:

1. Hitung keandalan sistem pada waktu $t=50 \text{ jam}$
2. Tentukan probabilitas kegagalan sistem pada waktu $t=50 \text{ jam}$
3. Analisis bagaimana perubahan beban terhadap keandalan sistem, jika beban pada waktu tertentu meningkat dua kali lipat.

Pembahasan dan Jawaban:

1. Keandalan Sistem pada Waktu $t=50 \text{ jam}$

Keandalan sistem paralel dapat dihitung dengan rumus:

$$R_{\text{total}}(t) = 1 - [1 - R_1(t)] \cdot [1 - R_2(t)]$$

Di mana:

- $R_1(t)$ adalah fungsi keandalan komponen 1, yang mengikuti distribusi eksponensial $R_1(t)=e^{-\lambda_1}$
- $R_2(t)$ adalah fungsi keandalan komponen 2, yang mengikuti distribusi Weibull $R_2(t)=e-(t/\lambda_2)^k$

Langkah 1: Hitung keandalan komponen 1 pada waktu $t=50$ jam

$$R_1(50)=e^{-0,05 \cdot 50}=e^{-2,5} \approx 0,0821$$

Langkah 2: Hitung keandalan komponen 2 pada waktu $t=50$ jam

$$R_2(50)=e-(50/0,02)^{1,5}=e-(2500)^{1,5} \approx e^{-12500} \approx 0$$

Langkah 3: Hitung keandalan sistem pada waktu $t=50$ jam

$$R_{total}(50)=1-[1-0,0821] \cdot [1-0]=1-0,9179 \cdot 1=1-0,9179=0,0821$$

Jadi, keandalan sistem pada waktu 50 jam adalah sekitar 0.0821.

2. Probabilitas Kegagalan Sistem pada Waktu $t=50$ jam

Probabilitas kegagalan sistem pada waktu $t=50$ jam adalah komplemen dari keandalan sistem:

$$P_{fail}(50)=1-R_{total}(50)=1-0,0821=0,9179$$

Jadi, probabilitas kegagalan sistem pada waktu 50 jam adalah 0.9179 atau 91.79%.

3. Analisis Perubahan Beban terhadap Keandalan Sistem:

Jika beban pada waktu tertentu meningkat dua kali lipat, maka **laju kegagalan** komponen bisa dipengaruhi. Misalnya, jika laju kegagalan

berubah proporsional terhadap beban, maka kita harus menghitung ulang fungsi keandalan komponen dengan memperhitungkan laju kegagalan yang baru.

Misalnya, untuk komponen 1, jika laju kegagalan berubah menjadi $\lambda_1' = 0,1$ jam

maka fungsi keandalan baru $R_1'(t)$

menjadi:

$$R_1'(t) = e^{-0,1 \cdot t} \text{ keandalan baru}$$

$$R_1'(t) = e^{-0,14}$$

Komponen 2, dengan parameter Weibull yang telah dihitung, mungkin juga terpengaruh oleh beban yang lebih besar. Jika terjadi perubahan pada parameter λ_2 atau k , maka kita harus menghitung ulang fungsi keandalan $R_2(t)$

Setelah itu, kita dapat menghitung kembali keandalan sistem dengan rumus yang sama seperti sebelumnya dan menganalisis dampaknya.

Kesimpulan:

- Keandalan sistem pada waktu 50 jam adalah sekitar 0.0821.
- Probabilitas kegagalan sistem pada waktu 50 jam adalah 91.79%.
- Peningkatan beban dapat mempengaruhi laju kegagalan dan dengan demikian mengurangi keandalan sistem

BAB 6

METODE EVALUASI KEANDALAN

6.1 Pendahuluan

MEK: Proses yang digunakan untuk menilai seberapa baik suatu sistem, produk, atau layanan dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan dalam berbagai kondisi.

Beberapa metode Umum:

1. Uji Coba (Testing):

- **Uji Fungsional:** Memastikan semua fungsi sistem berjalan dengan baik.
- **Uji Stress:** Menguji batas maksimum dari sistem untuk melihat bagaimana ia berfungsi di bawah tekanan.
- **Uji Kinerja:** Menilai respons dan kecepatan sistem dalam kondisi normal dan ekstrem.

2. Analisis Statistik:

- **Analisis Kegagalan:** Mengidentifikasi dan menganalisis penyebab kegagalan yang terjadi.
- **Reliability Function:** Menghitung probabilitas bahwa sistem akan berfungsi tanpa kegagalan selama periode tertentu.

3. Model Keandalan:

- **Model Weibull:** Menggunakan distribusi Weibull untuk memperkirakan keandalan produk.
- **Model Exponensial:** Menggunakan distribusi eksponensial untuk situasi di mana waktu kegagalan tidak tergantung pada waktu yang telah berlalu.

4. Metode Pemeliharaan:

- **Pemeliharaan Prediktif:** Menggunakan data dan analisis untuk memprediksi kapan pemeliharaan harus dilakukan sebelum kegagalan terjadi.
- **Pemeliharaan Proaktif:** Melakukan tindakan pencegahan untuk mengurangi kemungkinan kegagalan.

5. Analisis Risiko:

- **Failure Mode and Effects Analysis (FMEA):** Mengidentifikasi potensi mode kegagalan dan dampaknya terhadap sistem.
- **Fault Tree Analysis (FTA):** Menganalisis kemungkinan penyebab kegagalan dengan menggunakan diagram pohon.

6. Simulasi:

- **Simulasi Monte Carlo:** Menggunakan teknik simulasi untuk mengevaluasi berbagai skenario dan dampaknya terhadap keandalan sistem.

Menggunakan kombinasi dari metode di atas dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang keandalan suatu sistem atau produk. Metode reduksi jaringan adalah teknik yang digunakan untuk menyederhanakan atau mengurangi kompleksitas suatu jaringan dalam analisis sistem. Ini sering diterapkan dalam bidang teknik, ekonomi, dan ilmu

komputer untuk mempermudah perhitungan dan pemodelan. Berikut adalah beberapa metode yang umum digunakan:

1. **Metode Simpifikasi Jaringan:** Menghilangkan komponen yang tidak berpengaruh signifikan terhadap kinerja jaringan. Ini bisa mencakup penggabungan node atau penghapusan jalur yang tidak relevan.
2. **Analisis Komponen Terkoneksi:** Mengidentifikasi dan mengelompokkan bagian-bagian dari jaringan yang saling terhubung, sehingga bisa dianalisis secara terpisah.
3. **Reduksi Graf:** Menggunakan algoritma untuk menyederhanakan graf dengan mempertahankan sifat-sifat penting, seperti jalur terpendek atau konektivitas.
4. **Modeling dengan Matematika:** Menerapkan model matematis untuk mereduksi variabel yang kompleks, misalnya menggunakan metode diferensial untuk menyederhanakan sistem dinamis.
5. **Pemrograman Linier dan Non-Linier:** Menggunakan teknik optimisasi untuk mengurangi dimensi masalah tanpa kehilangan informasi kunci.

Metode reduksi jaringan berguna untuk meningkatkan efisiensi analisis dan perhitungan, serta memudahkan visualisasi dan pemahaman struktur jaringan.

Metode reduksi jaringan adalah teknik dalam analisis sistem listrik, terutama digunakan untuk menyederhanakan jaringan listrik yang kompleks.

Berikut Rumus dan konsep penting dalam metode ini:

1. **Impedansi Setara:**
 - Untuk dua resistor R_1 dan R_2 yang terhubung seri:

$$R_{\text{setara}} = R_1 + R_2 \dots\dots\dots 6.1$$
 - Untuk dua resistor R_1 dan R_2 yang terhubung paralel:

$$\frac{1}{R_{setara}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \dots\dots\dots 6.2$$

2. Teorema Thevenin:

- Setiap jaringan listrik dapat direpresentasikan dengan sumber tegangan setara V_{th} dan impedansi R_{th} yang terhubung ke beban.
- Untuk mencari V_{th} :
 1. Hapus beban dari jaringan.
 2. Hitung tegangan di terminal beban.
- Untuk mencari R_{th} :
 1. Matikan semua sumber independen (sumber tegangan menjadi hubung singkat dan sumber arus menjadi open circuit).
 2. Hitung impedansi antara terminal beban.

3. Teorema Norton:

- Setiap jaringan listrik dapat direpresentasikan dengan sumber arus setara I_N dan impedansi R_N yang terhubung secara paralel ke beban.
- Hubungan antara Thevenin dan Norton:

$$V_{th} = I_N \cdot R_N \dots\dots\dots 6.3$$

$$R_{th} = R_N$$

4. Analisis Mesh dan Nodal:

- Metode analisis mesh menggunakan hukum Kirchhoff untuk loop di dalam jaringan.
- Metode analisis nodal menggunakan hukum Kirchhoff untuk node dalam jaringan.

5. Reduksi dengan Transformasi Delta-Kit:

- o Untuk mengurangi jaringan yang memiliki konfigurasi delta (Δ) menjadi konfigurasi kit (Y):

$$R_a = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_b = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_c = \frac{R_3 \cdot R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots 6.4$$

Metode reduksi jaringan ini sangat berguna untuk menyederhanakan analisis dan perhitungan pada sistem yang lebih kompleks.

6.2 Metode Pengurangan Jaringan

Metode pengurangan jaringan, atau yang sering disebut juga sebagai metode pengurangan jaringan dalam analisis jaringan, digunakan untuk menyederhanakan jaringan yang kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana tanpa kehilangan informasi penting. Berikut adalah langkah-langkah umum dan rumus yang sering digunakan dalam metode ini:

Langkah-langkah Umum

1. **Identifikasi Jaringan:** Gambar jaringan dengan semua simpul dan tepi yang relevan.
2. **Tentukan Keterhubungan:** Analisis keterhubungan antara simpul-simpul di dalam jaringan.
3. **Pengurangan Simpul:** Hapus simpul yang tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja jaringan, dengan mempertimbangkan derajat simpul dan beban kerja.
4. **Pengurangan Tepi:** Hapus tepi yang tidak berkontribusi secara signifikan pada aliran dalam jaringan.

5. **Redefinisi Jaringan:** Gambar ulang jaringan yang telah disederhanakan dan pastikan semua simpul dan tepi penting tetap terhubung.
6. **Evaluasi:** Periksa jaringan hasil pengurangan untuk memastikan bahwa karakteristik penting dari jaringan asli masih terjaga.

Rumus Umum

Meskipun tidak ada satu rumus universal, beberapa rumus yang sering digunakan dalam konteks pengurangan jaringan meliputi:

- **Derajat Simpul:** $d(v)$ =jumlah tepi yang terhubung ke simpul v
- **Kepadatan Jaringan:**

$$D = \frac{2 E}{N (N-1)} \dots\dots\dots 6.5$$

Di mana E adalah jumlah tepi, dan N adalah jumlah simpul.

- **Betweenness Centrality:**

$$CB(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \dots\dots\dots 6.6$$

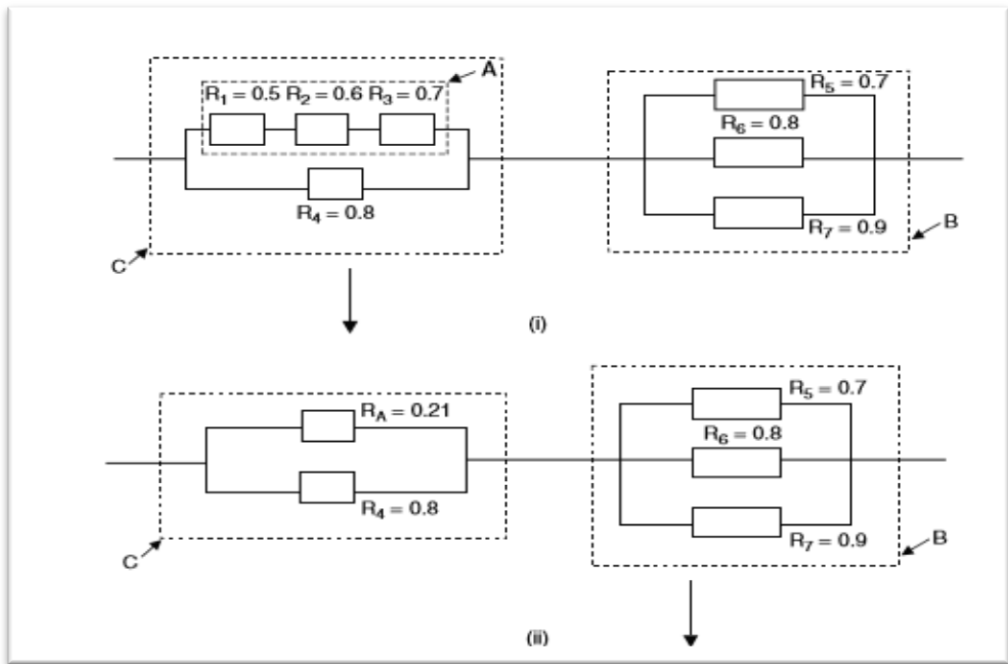
Dimana : σ_{st} adalah jumlah jalur terpendek dari simpul s ke t , dan $\sigma_{st}(v)$ adalah jumlah jalur terpendek yang melewati simpul v .

Metode ini lebih bersifat analitis, jadi penerapan bisa bervariasi tergantung konteks spesifik dari jaringan yang dianalisis.

Contoh 6.1

Suatu jaringan yang mewakili suatu sistem rekayasa dengan unit-unit independen ditunjukkan pada Gambar 6.1(a). Setiap blok pada gambar menunjukkan suatu unit. Keandalan R_j unit j , untuk $j = 1, 2, 3, \dots, 7$ diberikan. Menentukan keandalan jaringan dengan menggunakan metode reduksi jaringan. Pertama kita telah mengidentifikasi subsistem A, B, dan C dari jaringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1(i). Subsistem A memiliki

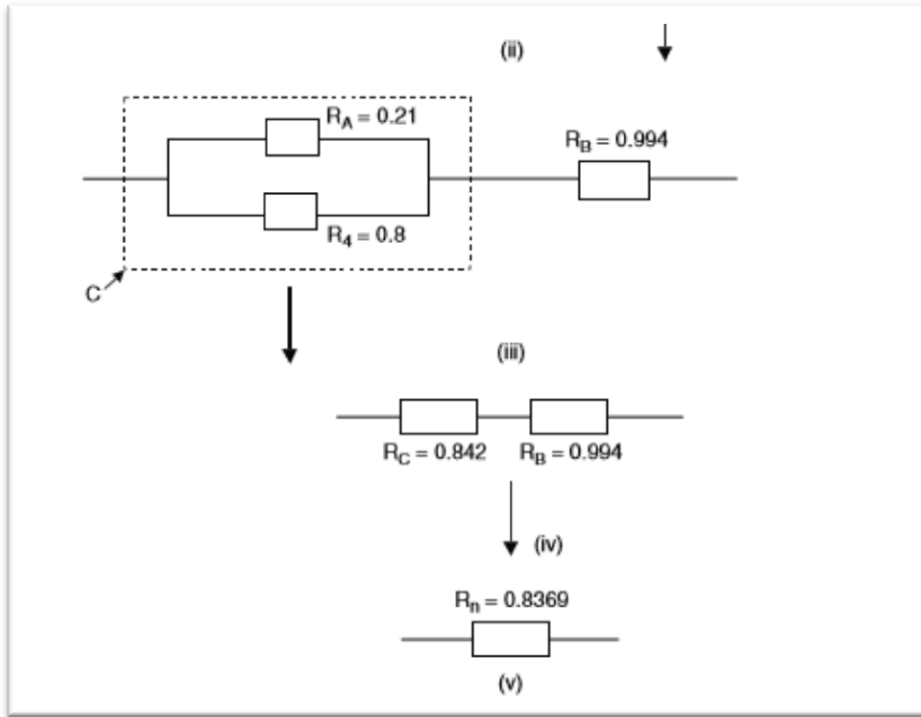
tiga unit secara seri; jadi kami mereduksinya menjadi satu unit hipotetis sebagai berikut:



$$\begin{aligned}
 R_A &= R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \\
 R_A &= 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \\
 &= 0,21
 \end{aligned}$$

dimana R_A adalah keandalan subsistem A. Jadi, subsistem A telah direduksi menjadi satu unit hipotetis yang memiliki keandalan 0,21. Jaringan yang tereduksi ditunjukkan pada Gambar 6.1(ii). Sekarang, jaringan ini terdiri dari dua subsistem paralel B dan C yang bekerja secara seri. Jadi, kita mereduksi subsistem B menjadi satu unit hipotetis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_B &= 1 - (1 - R_5) \cdot (1 - R_6) \cdot (1 - R_7) \\
 &= 1 - (1 - 0,7) (1 - 0,8) (1 - 0,9) \\
 &= 0,994
 \end{aligned}$$



Gambar 6. 1. Diagram langkah metode reduksi jaringan: (i) jaringan asli; (ii) berkurangnya jaringan; (iii) berkurangnya jaringan; (iv) berkurangnya jaringan; (v) unit hipotetis tunggal.

dimana R_B adalah keandalan subsistem B. Dengan demikian, subsistem B telah direduksi menjadi satu unit hipotetis yang memiliki keandalan 0,994. Jaringan yang tereduksi ditunjukkan pada Gambar 6.1(iii). Jaringan ini berisi subsistem C dan unit hipotetis, yang mewakili subsistem B, secara seri. Dengan cara yang mirip dengan subsistem B, kita mereduksi subsistem C menjadi satu unit hipotetis:

$$\begin{aligned} R_C &= 1 - (1 - R_A)(1 - R_4) \\ &= 1 - (1 - 0,21)(1 - 0,8) \end{aligned}$$

$$= 0,842$$

dimana R_C adalah keandalan subsistem C. Demikian pula, jaringan yang tereduksi ditunjukkan pada Gambar 6.1(iv). Jaringan ini terdiri dari dua unit hipotetis, yang mewakili subsistem B dan C, secara seri.

Keandalan jaringan ini diberikan oleh

$$\begin{aligned} R_n &= R_B \cdot R_C \\ R_n &= 0,994 \cdot 0,842 \\ &= 0,8369 \end{aligned}$$

dimana R_n adalah keandalan seluruh jaringan yang ditunjukkan pada Gambar 6.1(i). Secara keseluruhan, dengan menggunakan metode reduksi jaringan, jaringan Gambar 6.1(i) direduksi menjadi satu unit hipotetis yang memiliki keandalan 0,8369 (Gambar 6.1(v)); yang merupakan keandalan seluruh jaringan.

6.3 Metode Analisis Pohon Kesalahan (FTA)

Metode Analisis Pohon Kesalahan (Fault Tree Analysis, FTA) adalah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kemungkinan penyebab dari suatu kegagalan sistem. Metode ini biasanya digunakan dalam manajemen risiko, keselamatan, dan keandalan sistem.

Langkah-langkah dalam FTA:

1. Identifikasi Kegagalan Utama: Tentukan kegagalan atau kejadian tidak diinginkan yang ingin dianalisis.
2. Membuat Pohon Kesalahan: Gambarkan pohon kesalahan dengan memulai dari kegagalan utama di bagian atas dan menelusuri ke bawah untuk menemukan penyebabnya.

3. Mengidentifikasi Penyebab: Untuk setiap kejadian, identifikasi penyebab langsung dan tidak langsung. Penyebab ini bisa berupa faktor manusia, mekanik, lingkungan, dan lainnya.
4. Menerapkan Logika Boolean: Gunakan logika AND/OR untuk menghubungkan kejadian dan penyebab, yang akan membantu dalam memahami bagaimana penyebab tersebut berkontribusi terhadap kegagalan utama.
5. Analisis Kualitatif dan Kuantitatif: Lakukan analisis untuk menentukan probabilitas masing-masing penyebab dan dampaknya terhadap kegagalan utama.
6. Rekomendasi Tindakan Perbaikan: Berdasarkan analisis, buat rekomendasi untuk mengurangi risiko dan meningkatkan keandalan sistem.

Keunggulan FTA:

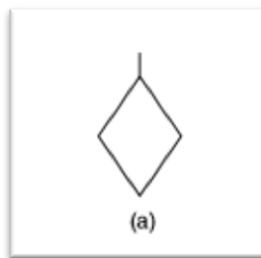
- Visualisasi: Membantu dalam memvisualisasikan hubungan antara penyebab dan efek.
- Pendekatan Sistematis: Memberikan cara yang terstruktur untuk menganalisis kegagalan.
- Dapat Diterapkan di Berbagai Sektor: Berguna dalam berbagai industri, mulai dari penerbangan hingga manufaktur.

Contoh Aplikasi:

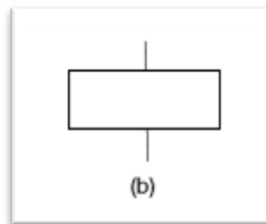
- Keselamatan Penerbangan: Menganalisis penyebab kecelakaan pesawat.
- Industri Otomotif: Menilai risiko kegagalan komponen kendaraan.
- Sistem Teknologi Informasi: Mengidentifikasi risiko dalam sistem TI dan perangkat lunak.

Dengan menggunakan FTA, organisasi dapat mengidentifikasi potensi masalah sebelum terjadi, sehingga dapat mengambil langkah-langkah pencegahan yang tepat.

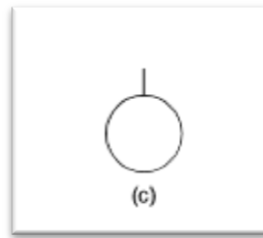
Wajik (Diamond): Menunjukkan kondisi atau keputusan yang harus diambil. Ini sering digunakan untuk menggambarkan situasi di mana ada dua atau lebih jalur yang mungkin.



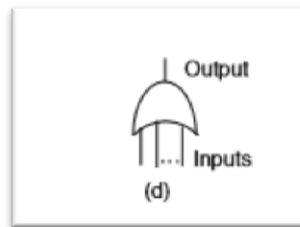
Persegi Panjang (Rectangle): Melambangkan proses atau langkah dalam sistem. Ini biasanya digunakan untuk menunjukkan kegiatan yang dilakukan.



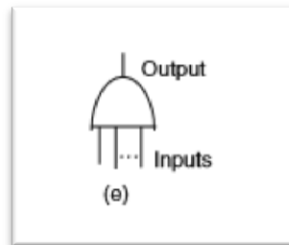
Lingkaran (Circle): Digunakan untuk menunjukkan titik awal atau akhir dalam diagram. Ini sering kali merepresentasikan sebuah event.



Gerbang OR (OR Gate): Menunjukkan bahwa jika salah satu dari beberapa input bernilai benar (true), maka output juga bernilai benar.



Gerbang AND (AND Gate): Menunjukkan bahwa semua input harus bernilai benar (true) agar output bernilai benar.



Gambar 6. 2. Simbol pohon kesalahan yang umum: (a) wajik, (b) persegi panjang, (c) lingkaran, (d) gerbang OR, (e) gerbang AND.

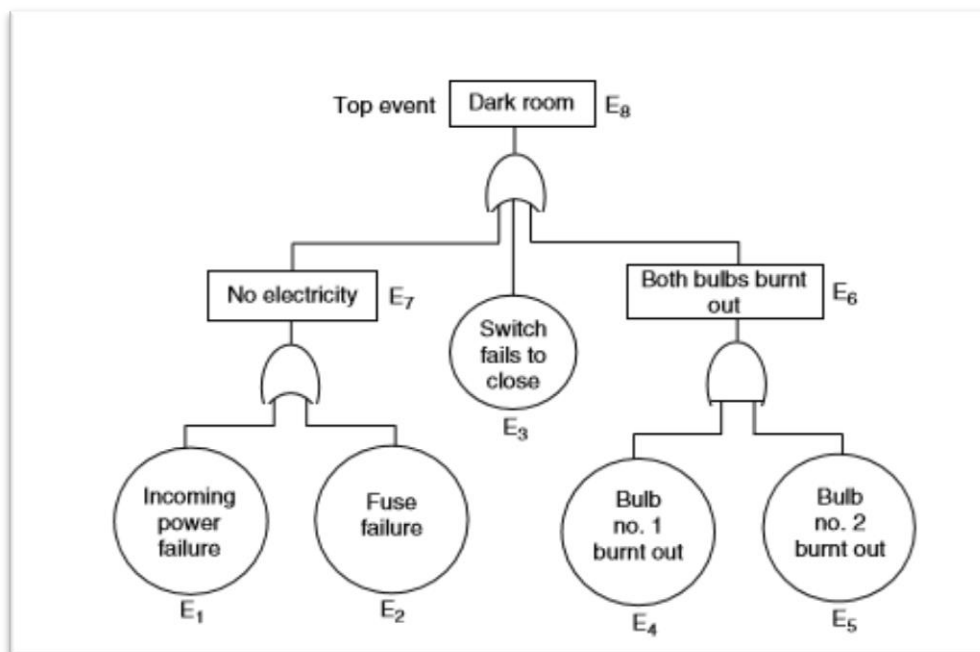
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Contoh 6.2

Sebuah ruangan tanpa jendela mempunyai dua bola lampu dan satu saklar. Ruangan hanya bisa menjadi gelap jika saklar tidak dapat ditutup, tidak ada aliran listrik, atau kedua lampu padam. Kembangkan pohon kesalahan untuk

terjadinya peristiwa yang tidak diinginkan (peristiwa puncak) “ruangan gelap”, lebih khusus lagi, ruangan tanpa cahaya. Pohon kesalahan misalnya ditunjukkan pada Gambar 6.3. Setiap kejadian kesalahan pada gambar diberi label sebagai E1, E2, E3, ..., E8.

Ketika probabilitas terjadinya kejadian kesalahan dasar diketahui, maka probabilitas terjadinya kejadian puncak dapat dihitung. Hal ini memerlukan estimasi terlebih dahulu kemungkinan terjadinya kejadian kesalahan keluaran gerbang logika rendah dan menengah seperti AND dan OR. Peristiwa kesalahan keluaran



**Gambar 6. 3. Pohon kesalahan untuk terjadinya peristiwa puncak:
ruangan gelap**

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Probabilitas terjadinya gerbang AND dan OR diperoleh masing-masing sebagai berikut

1. Gerbang AND: Probabilitas terjadinya kejadian kesalahan keluaran gerbang AND E_0 diberikan oleh

$$P(E_0) = \prod_{i=1}^n P(E_i) \dots\dots\dots 6.7$$

Dimana

$P(E_0)$ = peluang terjadinya kejadian gangguan keluaran gerbang AND,

n = jumlah total kejadian gangguan masukan yang independen

$P(E_i)$ = peluang terjadinya kejadian gangguan masukan E_i , untuk $i = 1, 2, 3, \dots, N$

2. Gerbang OR: Probabilitas terjadinya kejadian kesalahan keluaran gerbang OR X_0 diberikan b

$$P(X_0) = 1 - \prod_{i=1}^k \{1 - P(X_i)\} \dots\dots\dots 6.7$$

dimana $P(X_0)$ = peluang terjadinya kejadian gangguan keluaran gerbang OR,
 k = jumlah total kejadian gangguan masukan yang independen $P(X_i)$ =
peluang terjadinya kejadian gangguan masukan X_i , untuk $i = 1, 2, 3, \dots, k$

Contoh 6.3

Asumsikan pada Gambar 6.3, peluang terjadinya kejadian dasar E_1, E_2, E_3, E_4 , dan E_5 masing-masing adalah 0,05, 0,03, 0,06, 0,1, dan 0,1. Hitung probabilitas terjadinya peristiwa puncak: ruangan gelap dan kemudian tunjukkan Gambar 6.3 pohon kesalahan dengan nilai probabilitas terjadinya peristiwa kesalahan yang diberikan dan dihitung. Dengan menggunakan data

yang ditentukan dalam Persamaan (6.1), peluang terjadinya kejadian E6 (yaitu kedua bola lampu padam) adalah

$$\begin{aligned} P(E_6) &= P(E_4) P(E_5) \\ &= (0,1) \cdot (0,1) = 0,01 \end{aligned}$$

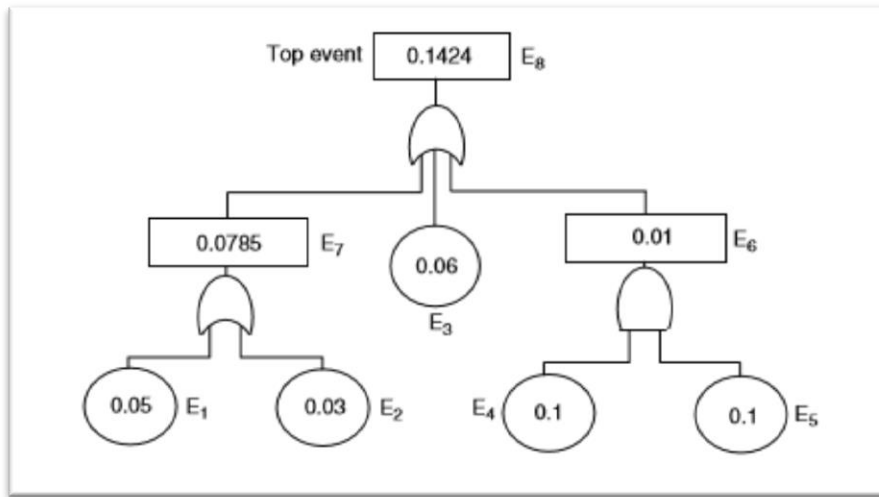
Demikian pula, dengan memasukkan data yang diberikan ke dalam Persamaan (6.2), peluang terjadinya kejadian E7 (yaitu, tidak ada listrik) adalah

$$\begin{aligned} P(E_7) &= 1 - \{1 - P(E_1)\}\{1 - P(E_2)\} \\ &= 1 - \{1 - 0,05\}\{1 - 0,03\} \\ &= 0,0785 \end{aligned}$$

Menggunakan nilai perhitungan di atas dan data yang diberikan dalam Persamaan (6.2) menghasilkan hasil

$$\begin{aligned} P(E_8) &= \{1 - P(E_3)\}\{1 - P(E_7)\}\{1 - P(E_6)\} \\ &= \{1 - 0,06\}\{1 - 0,0785\}\{1 - 0,01\} \\ &= 0,1424 \end{aligned}$$

dimana $P(E_8)$ adalah probabilitas terjadinya kejadian kesalahan E8 (yaitu ruangan gelap). Dengan demikian, probabilitas tidak adanya cahaya di dalam ruangan adalah 0,1424 dan Gambar 6.3 pohon kesalahan dengan nilai probabilitas terjadinya peristiwa kesalahan yang diberikan dan dihitung ditunjukkan pada Gambar 6.4



Gambar 6. 4. Pohon kesalahan pada Gambar 6.3 dengan nilai probabilitas kejadian kesalahan yang diberikan dan dihitung

6.4 Metode Markov

Ahli matematika Rusia, Andrei Andreyevich Markov (1856–1922), metode yang banyak digunakan di industry (berbagai jenis analisis keandalan). Memodelkan sistem dengan mode kegagalan dan perbaikan yang bergantung dan didasarkan pada asumsi. Analisis Markov (disebut sebagai Proses Stokastik/aplikasi teori peluang dan pengubah acak) merupakan suatu bentuk khusus dari model probabilistik. Proses Stokastik merupakan suatu proses perubahan probabilistik yang terjadi secara terus menerus, di mana perubahan-perubahan variabel di masa yang akan datang didasarkan atas perubahan-perubahan variabel di waktu yang lalu.

Metode Markov adalah pendekatan matematis yang digunakan untuk memodelkan sistem yang berpindah dari satu keadaan ke keadaan lainnya, berdasarkan probabilitas. Dalam konteks proses Markov, ada beberapa rumus dan konsep utama yang perlu dipahami:

1. Rumus Probabilitas Transisi: Jika kita memiliki keadaan i dan j , probabilitas transisi dari keadaan i ke keadaan j dalam satu langkah dinyatakan sebagai P_{ij}
2. Matrix Transisi: Semua probabilitas transisi dapat dinyatakan dalam bentuk matriks P , di mana elemen P_{ij} adalah probabilitas transisi dari keadaan i ke keadaan j . Untuk setiap baris dalam matriks ini, jumlah elemen harus sama dengan 1:

$$\sum_j P_{ij} = 1$$

3. Distribusi Stasioner:

Distribusi stasioner $\pi^{(n)}$ adalah distribusi probabilitas yang tidak berubah seiring waktu, memenuhi persamaan:

$$\pi P = \pi$$

Di mana π adalah vektor baris yang berisi probabilitas stasioner untuk setiap keadaan.

4. Proses Markov Tersembunyi: Dalam kasus di mana keadaan tidak dapat diamati secara langsung, kita bisa menggunakan model Markov tersembunyi (Hidden Markov Model, HMM) dengan rumus transisi dan emisi.
5. Rumus untuk Perhitungan Langkah ke- n : Untuk menghitung distribusi keadaan setelah n langkah, kita dapat menggunakan rumus:

$$\pi^{(n)} = \pi^{(0)} P^{(n)}$$

Di mana $\pi^{(n)}$ adalah distribusi awal dan $P^{(n)}$ adalah matriks transisi yang dipangkatkan n .

Pada awalnya, Analisis Markov digunakan sebagai alat dalam analisis perubahan cuaca. Saat ini, Analisis Markov sering digunakan untuk membantu pembuatan keputusan dalam dunia bisnis atau industri. Misal,

sebagai alat untuk menganalisis: Perpindahan merek yang digunakan oleh konsumen, masalah operasi dan pemeliharaan mesin produksi, perubahan harga di pasar saham, dll.

Proses Analisis Markov terdapat 3 prosedur utama untuk dilakukan, yaitu menyusun matriks probabilitas transisi, menghitung probabilitas suatu kejadian di waktu yang akan datang dan menentukan kondisi *steady state*. Dan ciri-ciri analisis Markov Adalah bila diketahui status suatu kondisi awal, maka prandom yang dinyatakan dalam probabilitas, yang disebut dengan probabilitas transisi, probabilitas transisi tidak akan berubah untuk selamanya dan probabilitas transisi hanya tergantung pada status awal

6.5 Metode Dekomposisi

Metode ini digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem kompleks, metode ini menguraikan sistem kompleks menjadi subsistem yang lebih sederhana dengan menerapkan teori probabilitas bersyarat. Pada akhirnya, keandalan sistem diperoleh dengan menggabungkan ukuran keandalan subsistem. Metode ini dimulai dengan terlebih dahulu memilih elemen atau unit kunci yang akan digunakan untuk menguraikan jaringan/sistem yang diberikan. Pilihan elemen kunci yang buruk akan menyebabkan efisiensi yang buruk dalam menghitung keandalan sistem. Meskipun demikian, pengalaman masa lalu biasanya memainkan peran penting dalam memilih elemen kunci yang tepat. Pertama, metode ini mengasumsikan bahwa elemen/unit kunci, misalnya x , diganti dengan elemen lain yang tidak pernah gagal (yaitu, 100% andal) dan kemudian mengasumsikan bahwa elemen kunci tersebut 100% tidak andal (yaitu, sepenuhnya dihapus dari sistem atau jaringan).

$$R_s = P(x)P(\text{sistem baik}/x \text{ baik}) + P(\bar{x})P(\text{sistem baik}/x \text{ gagal})$$

Dimana:

R_s = keandalan sistem

$P(\text{sistem baik}/x \text{ baik})$ = keandalan sistem ketika x 100% andal

$P(\text{sistem baik}/x \text{ gagal})$ = keandalan sistem ketika x 100% tidak andal

$P(x)$ = keandalan elemen kunci x

$P(\bar{x})$ = ketidakandalan elemen kunci x

Demikian pula, ketidakandalan sistem/jaringan secara keseluruhan

$$UR_s = P(x)P(\text{gagal}/\text{baik}) + P(\bar{x})P(\text{sistem gagal}/\text{gagal})$$

di mana:

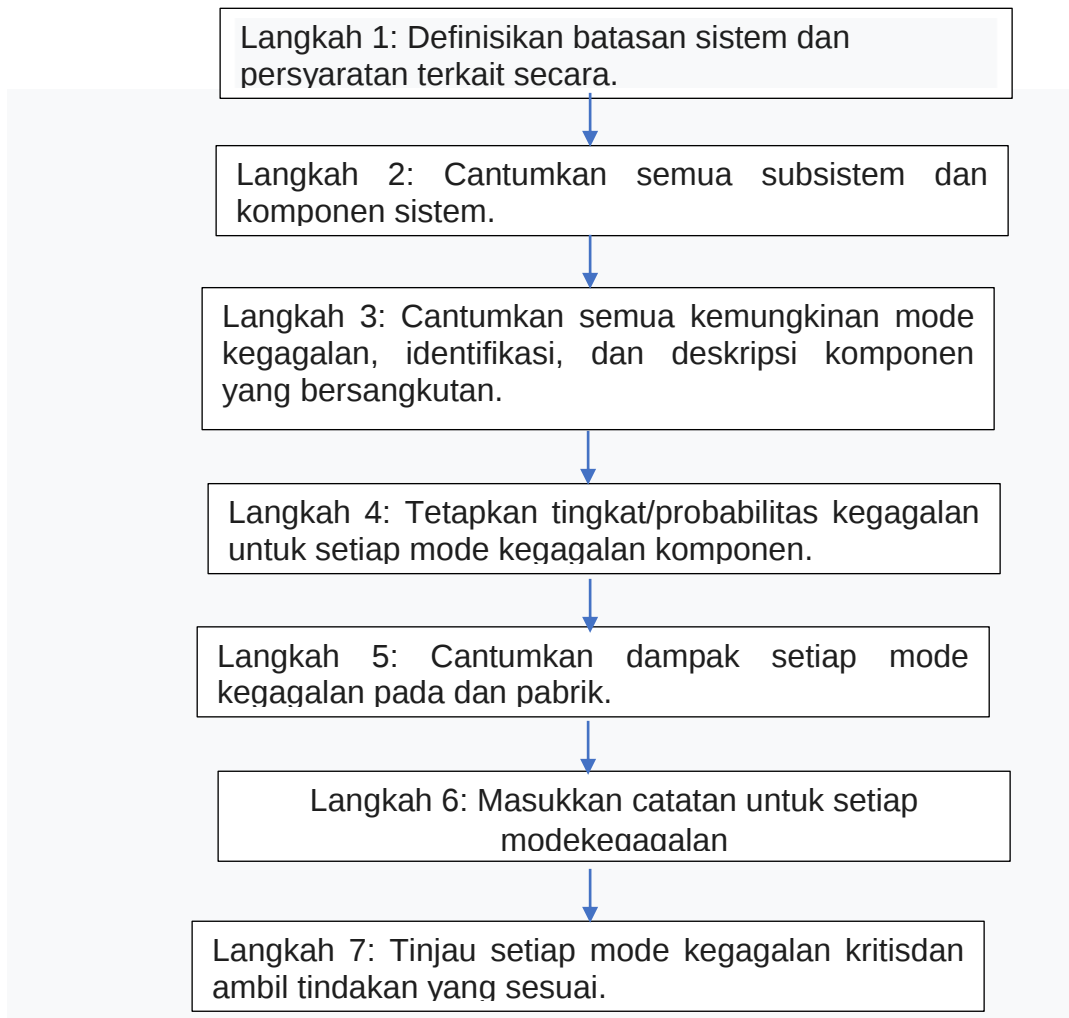
UR_s = ketidakandalan sistem

$P(\text{sistem gagal}/x \text{ baik})$ = ketidakandalan sistem ketika x 100% andal

$P(\text{sistem gagal}/x \text{ gagal})$ = ketidakandalan sistem ketika x 100% tidak andal

6.6 Metode Analisis Mode Kegagalan dan Dampak (FMEA)

Metode yang banyak digunakan di industri untuk menganalisis sistem teknik dengan perspektif keandalan untuk menganalisis kegagalan atau Analisis Efek Kegagalan, kemudian dilanjutkan Analisis Mode dan Efek Kegagalan, tahap kegiatan melaksanakan FMEA seperti terlihat pada gambar 6.8.



Gambar 6. 5. Langkah-langkah untuk melakukan FMEA

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

6.7 Metode Analisis Kegagalan Penyebab Umum

Industri ketika beberapa unit mengalami kegagalan karena satu penyebab tunggal, kegagalan penyebab umum dapat dijelaskan sebagai setiap contoh di mana beberapa unit mengalami kegagalan karena satu penyebab

tunggal. Beberapa di antaranya. Penyebab utama terjadinya kegagalan penyebab umum pada sistem teknik adalah sebagai berikut:

1. Desain yang buruk
2. Lingkungan operasional umum (misalnya, kelembaban, getaran, debu, suhu, dan kelembapan)
3. Peristiwa bencana eksternal (misalnya, banjir, gempa bumi, kebakaran, dan tornado)
4. Kesalahan operasi dan pemeliharaan
5. Kekurangan fungsional
6. Produsen suku cadang/barang yang sama
7. Sumber daya eksternal yang sama

BAB 7

PENGUJIAN RELIABILITAS

7.1 Pendahuluan

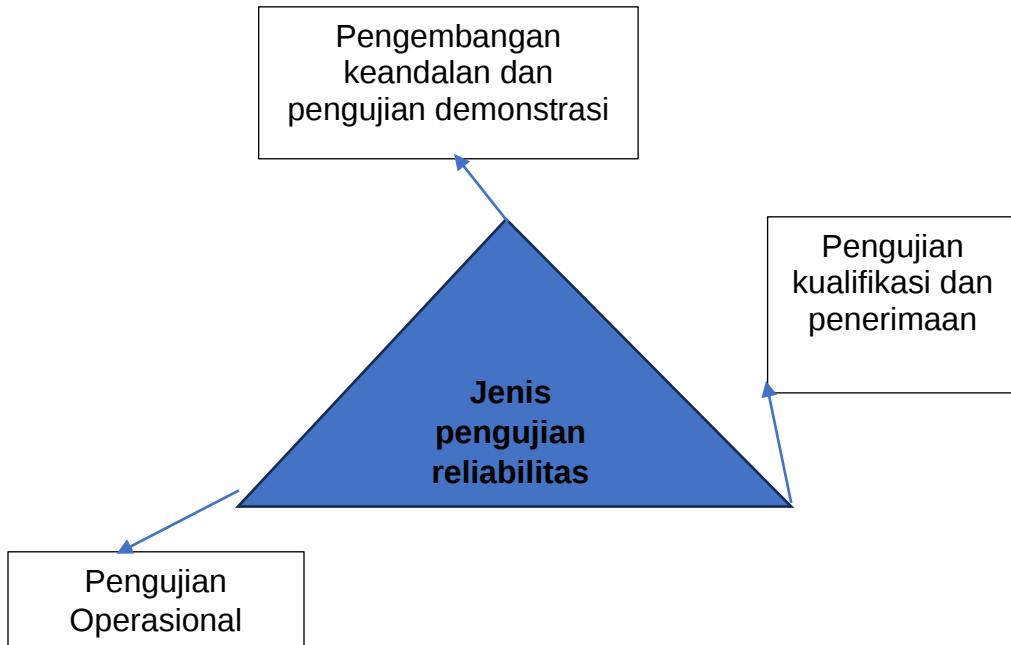
Pengujian merupakan elemen penting dari setiap, pengujian dapat dijelaskan secara sederhana sebagai pengujian produk yang sedang dipertimbangkan pada kondisi yang mengidentifikasi kelemahan, mode kegagalan, dan karakteristik perilakunya. Pengujian dilakukan dalam dua mode berbeda (yaitu, standar atau dipercepat). Dalam mode standar, pengujian dilakukan pada parameter operasi tipikal dan pada suhu lingkungan. Selain itu, waktu operasi aktual dianggap sebagai waktu pengujian. Dalam mode dipercepat, parameter seperti tegangan, suhu, atau frekuensi siklus divariasikan di atas nilai normalnya untuk mengurangi waktu pengujian, atau pengujian dapat berupa pengujian seperti pengujian kematian mendadak.

Pengujian keandalan merupakan komponen penting dari pengujian dan merupakan salah satu aktivitas keandalan terpenting dari program keandalan. Tujuan utama pengujian keandalan adalah untuk mendapatkan informasi sebanyak mungkin mengenai kegagalan item/produk, khususnya kecenderungan item untuk gagal dan konsekuensi dari kegagalan tersebut. Meskipun demikian, dapat dikatakan bahwa program pengujian keandalan yang baik membutuhkan pengujian minimal dan memberikan informasi maksimal mengenai kegagalan. Bab ini menyajikan berbagai aspek penting

dari pengujian keandalan. Pengujian adalah elemen penting dari setiap program pengembangan produk teknik, mengidentifikasi kelemahannya, cara kegagalannya, karakteristik perilakunya dan engujian dilakukan dalam dua mode berbeda yaitu,

Standar atau dipercepat adalah Pengujian dilakukan pada parameter pengoperasian tipikal dan pada suhu sekitar, waktu pengoperasian sebenarnya dianggap sebagai waktu pengujian dan dalam kasus mode akselerasi, parameter seperti tegangan, suhu, atau frekuensi siklus divariasikan di atas nilai normalnya untuk mengurangi waktu pengujian, atau pengujian dapat berupa pengujian seperti pengujian kematian mendadak. Tujuan utama pengujian reliabilitas (komponen pengujian yang penting dan merupakan salah satu aktivitas keandalan terpenting dari program keandalan) adalah alah untuk memperoleh informasi sebanyak mungkin mengenai kegagalan item/produk, khususnya kecenderungan item/produk untuk gagal dan konsekuensi dari kegagalan. Meskipun demikian, dapat dikatakan bahwa program, pengujian keandalan yang baik memerlukan pengujian minimal dan memberikan informasi maksimal mengenai kegagalan, sebagai berikut:

7.2 Pengujian untuk Menentukan Validitas Waktu Kegagalan suatu Item yang Terdistribusi Secara Eksponensial



Gambar 7. 1. Type Pengujian Keandalan

7.3 Tes untuk Menentukan Validitas Waktu Kegagalan yang Terdistribusi Secara Eksponensial pada Suatu Item

7.3.1 Uji I (Pengujian dengan Bartlett dan statistiknya)

$$S_{bm} = 12 m^2 \left[\ln M - \frac{N}{m} \right] (6m+m+1) \quad \dots 7.1$$

$$N = \sum_{j=t}^m \ln t_i \dots\dots\dots 7.2$$

$$M = \frac{1}{m} \sum_{j=t}^m t_i \dots\dots\dots 7.3$$

Dimana : m = total berapa kali kegagalan dalam sampel
 t_j = j kali kegagalan

Contoh soal:

Melaksanakan suatu system rekayasa mengalami 25 kegagalan seperti pada table dibawa ini. Tentukan dengan menggunakan uji Bartlett pada tingkat kepercayaan 95% dan menggunakan distribusi eksponensial.

Tabel 7. 1. Waktu Kegagalan Sistem Rekayasa (dalam Hari)

5	20	55	85	180
10	40	62	95	200
15	30	70	100	220
20	45	80	140	250
25	50	75	150	275

1. Perhitungan statistic dengan uji Bartlett

$$N = \sum_{j=t}^m \ln t_i$$

$$N = \ln 5 + \ln 10 + \dots + \ln 275 = 102,29$$

Subtitusikan table 1 ke Pers 3.

$$M = \frac{1}{m} \sum_{j=t}^m t_i \dots \dots \dots (3)$$

$$M = \frac{1}{25} (5 + 10 + \dots + 275)$$

$$= 91,88$$

$$S_{bm} = 12 m^2 \left[\ln M - \frac{N}{m} \right] (6m+m+1) \dots (1)$$

$$S_{bm} = 12 25^2 \left[\ln 91,88 - \frac{102,99}{25} \right] (6.25+25+1)$$

$$S_{b25} = 18,28$$

Pengujian dua sisi dengan tingkat kepercayaan 95%, nilai kritis dari

$$\begin{aligned}\chi^2 \left[\frac{\alpha}{2}, (m-1) \right] &= \chi^2 \left[\frac{0,05}{2}, (25-1) \right] \\ &= \chi^2 [0,025, 24] \\ &= 39,36\end{aligned}$$

Tabel 7. 2. Nilai Distribusi Chi-Kuadrat

Degrees of Freedom	Probability				
	0.975	0.95	0.90	0.05	0.025
1	0.001	0.004	0.016	3.84	5.02
2	0.05	0.1	0.21	5.99	7.38
3	0.22	0.35	0.58	7.81	9.35
4	0.48	0.71	1.06	9.49	11.14
5	0.83	1.15	1.61	11.07	12.83
6	1.24	1.64	2.20	12.59	14.45
7	1.69	2.17	2.83	14.07	16.01
8	2.18	2.73	3.49	15.51	17.53
9	2.7	3.33	4.17	16.92	19.02
10	3.25	3.94	4.86	18.31	20.48
11	3.82	4.58	5.58	19.67	21.92
12	4.4	5.23	6.30	21.02	23.34
13	5.01	5.89	7.04	22.36	24.74
14	5.63	6.57	7.79	23.68	26.12
15	6.26	7.26	8.55	24.99	27.49
16	6.91	7.96	9.31	26.29	28.84
17	7.56	8.67	10.08	27.59	30.19
18	8.23	9.39	10.86	28.87	31.52
19	8.91	10.12	11.65	30.14	32.85
20	9.59	10.85	12.44	31.41	34.17
21	10.28	11.59	13.24	32.67	35.48
22	10.98	12.34	14.04	33.92	36.78
23	11.69	13.09	14.85	35.17	38.07
24	12.40	13.85	15.66	36.41	39.36
25	13.12	14.61	16.47	37.65	40.65
26	13.84	15.38	17.29	38.88	41.92

dimana χ^2 adalah chi-kuadrat, $\alpha = 1 - \text{tingkat kepercayaan} = 1 - 0,95 = 0,05$.

$$\begin{aligned}\chi^2 \left[\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right), (m-1) \right] &= \chi^2 \left[\left(1 - \frac{0,05}{2}\right), (25-1) \right] \\ &= \chi^2 [0,975, 24]\end{aligned}$$

$$= 12,4$$

Karena nilai S_{b25} (yaitu 18,28) terletak di antara dua nilai di atas (yaitu 39,36 dan 12,4), tidak ada kontradiksi dengan asumsi distribusi eksponensial

7.3.2 Pengujian II

Ini adalah tes lain yang cukup berguna yang juga dapat digunakan untuk menentukan apakah data kegagalan mengikuti distribusi eksponensial. Tes untuk komputasi nilai A , χ^2 bervariasi dengan derajat kebebasan $2m$. A

$$A = -2 \sum_{i=1}^m \ln \left[\frac{T(\tau_i)}{T(t)} \right] \dots\dots\dots 7.4$$

Dimana:

m = jumlah total waktu kegagalan dalam sampel tertentu

$T(t_i)$ = total waktu pengoperasian pada saat terjadinya kegagalan i

$T(t)$ = total waktu pengoperasian pada saat pengujian dihentikan

Jika nilai A berada di dalam

$$\chi^2 \left[\frac{\alpha}{2}, 2m \right] < A < \chi^2 \left[\left(1 - \frac{\alpha}{2} \right), 2m \right] \dots\dots\dots 7.5$$

maka asumsi distribusi eksponensial tidak bertentangan. A adalah risiko menolak asumsi yang benar dan dinyatakan dengan

$$a = 1 - \text{tingkat kepercayaan}$$

Penerapan metode ini ditunjukkan melalui contoh berikut:

Contoh:

Sebanyak 30 item teknik identik diuji selama 300 jam, enam item diantaranya gagal. Tidak ada item yang gagal yang diganti. Waktu kegagalan item yang gagal diberikan pada Tabel 2. Dengan menggunakan uji di atas

pada tingkat kepercayaan 95%, tentukan bahwa data pada Tabel 2. termasuk dalam distribusi eksponensial.

$$\begin{aligned} \text{Total waktu pengoperasian item pada saat penghentian pengujian} \\ &= (30-6)300 + (1+20+25+40+50+65) \\ &= 7.410 \text{ h} \end{aligned}$$

Tabel 7. 3. Waktu Kegagalan Item Rekayasa

No	Waktu kegagalan (h)
1	10
2	20
3	25
4	40
5	50
6	65

menggunakan hasil di atas dan data yang diberikan dalam Persamaan menghasilkan

$$\begin{aligned} A &= 2 \left[\ln \left\{ \frac{(10)(30)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{(10)+(20)(29)}{7410} \right\} + \left\{ \frac{(30)+(25)(28)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{(55)+(40)(27)}{7410} \right\} + \right. \\ &\quad \left. \ln \left\{ \frac{(95)+(50)(26)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{(145)+(65)(25)}{7410} \right\} \right] \\ &= 26,065 \end{aligned}$$

ntuk tingkat kepercayaan 95% menggunakan Persamaan (7.5–7.6), dan data yang diberikan, kita peroleh

$$a = 1 - 0,95 = 0,05$$

dan.

$$\chi^2[0,025, 2(6)], \text{ dan } \chi^2[0,975, 2(6)]$$

Dari table 7.2

$$\chi^2[0,025, 12] = 23,34 \text{ dan } \chi^2[0,975, 12] = 4,4$$

Nilai A tidak terletak di antara dua batas kritis di atas (yaitu 23,34 dan 4,4). Artinya asumsi distribusi eksponensial bertentangan

7.4 Estimasi Batas Kepercayaan pada Rata-Rata Umur Barang

Distribusi eksponensial mungkin merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk merepresentasikan perilaku kegagalan item teknik, bagian ini berkaitan penetapan batas kepercayaan pada waktu rata-rata antar kegagalan (MTBF) ketika waktu kegagalan terdistribusi secara eksponensial. Batas kepercayaan atas dan bawah menunjukkan nilai MTBF item berada dalam interval dengan probabilitas kepercayaan tertentu. Lebih spesifiknya, kita dapat mengatakan bahwa setelah menguji sampel item identik tertentu selama t thm kegagalan terjadi; MTBF item dengan kepercayaan tertentu terletak di antara batas atas dan bawah tertentu. Untuk menghitung batas kepercayaan pada MTBF, distribusi χ^2 (chi-kuadrat) digunakan. Dua metode untuk menetapkan batas kepercayaan pada MTBF distribusi eksponensial disajikan di bawah ini.

7.4.1 Metode I

Metode ini digunakan ketika item diuji hingga terjadinya sejumlah kegagalan yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan demikian, rumus untuk menetapkan batas kepercayaan satu sisi (yaitu, batas bawah) dan dua sisi (yaitu, batas atas dan bawah) pada MTBF, masing-masing, adalah sebagai berikut

$$\left[\frac{2t}{\chi^2(\alpha, 2m)}, \infty \right] \dots\dots\dots 7.6$$

$$\left[\frac{2t}{\chi^2(\frac{\alpha}{2}, 2m)}, \frac{3t}{\chi^2(1-\frac{\alpha}{2}, 2m)} \right] \dots\dots\dots 7.7$$

Di mana:

α = probabilitas bahwa interval tersebut tidak akan mengandung nilai sebenarnya dari MTBF dan dinyatakan dengan $\alpha=1 -$ tingkat kepercayaan, dan m adalah jumlah kegagalan. Nilai t diperkirakan dengan menggunakan salah satu dari dua persamaan berikut: $t= kT$ (untuk pengujian penggantian, yaitu, barang yang gagal diganti atau diperbaiki)

$$t = \sum_{i=1}^m T_i + (k-m) T \dots\dots\dots 7.8$$

(untuk pengujian non-penggantian, yaitu, dalam kasus ketika barang yang rusak tidak akan diganti atau diperbaiki)

Di mana:

k = jumlah total barang identik yang diuji pada waktu nol

T = waktu berakhirnya uji ketahanan

T_i = waktu kegagalan barang i ; untuk $i= 1, 2, 3, \dots, m$

7.4.2 Metode II

Metode ini digunakan ketika pengujian sampel item dihentikan pada jumlah jam pengujian yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan demikian, rumus untuk menetapkan batas kepercayaan satu sisi (yaitu, batas bawah) dan dua sisi (yaitu, batas atas dan batas bawah) pada MTBF, masing-masing, adalah sebagai berikut:

$$\left[\frac{2t}{\chi^2(\alpha, 2m+2)}, \infty \right] \dots\dots\dots 7.9$$

$$\left[\frac{2t}{X^2(\frac{\alpha}{2}, 2m+2)}, \frac{3t}{X^2(1-\frac{\alpha}{2}, 2m)} \right] \dots\dots\dots 7.10$$

Simbol t , α , dan m didefinisikan pada bagian sebelumnya.

7.5. Faktor Ekonomi

Sama seperti aktivitas rekayasa lainnya, biaya memainkan peran penting dalam pengujian. Khususnya, ketika menentukan jumlah barang masuk yang akan diperiksa atau diuji sehubungan dengan biaya. Salah satu pendekatan sederhana untuk mencapai hal ini adalah pertama-tama menyamakan biaya pengujian dengan biaya jika tidak dilakukan pengujian dan kemudian menentukan jumlah item yang akan diuji atau diperiksa pada titik impas ini.

Biaya pengujian dinyatakan dengan

$$CT = CTE + (nR)/m \dots\dots\dots 7.11$$

Dimana:

CT = biaya pengujian

CTE = biaya peralatan pengujian

n = jumlah item yang dipertimbangkan untuk pengujian atau yang akan diuji

R = tarif tenaga kerja dan overhead per jam pengujian

m = jumlah total item yang diuji per jam

Demikian pula, biaya tidak dilakukannya pengujian dinyatakan dengan

$$CNT = n(TFD)[(FDP)(CIR) + (FDW)(CWR)] \dots\dots\dots 7.12$$

CNT = biaya untuk tidak melakukan pengujian

TFD = total pecahan cacat yang diperkirakan atau diamati sebelumnya

FDP = pecahan cacat yang gagal di internal atau di pabrik

CIR = rata-rata biaya perbaikan di pabrik

FDW = pecahan cacat yang gagal selama masa jaminan

CWR = rata-rata biaya perbaikan garansi

Untuk mencapai titik impas, kita samakan ruas kiri Persamaan (1) dan Persamaan (2):

$$CT = CNT \dots\dots\dots 7.13$$

Substitusi ruas kanan Persamaan (1) dan Persamaan (2) ke dalam Persamaan (3) akan menghasilkan

$$CTE + \frac{nR}{m} = n (TFD) [(FDP)(CIR) + (FDW)(CWR)] \dots\dots\dots 7.14$$

$$n = \frac{CTE}{TFD [(FDP)(CIR) + (FDW)(CWR)] - \frac{R}{m}} \dots\dots\dots 7.15$$

dimana :

n^* adalah jumlah item yang akan diuji (diperiksa) untuk biaya impas.

BAB 8

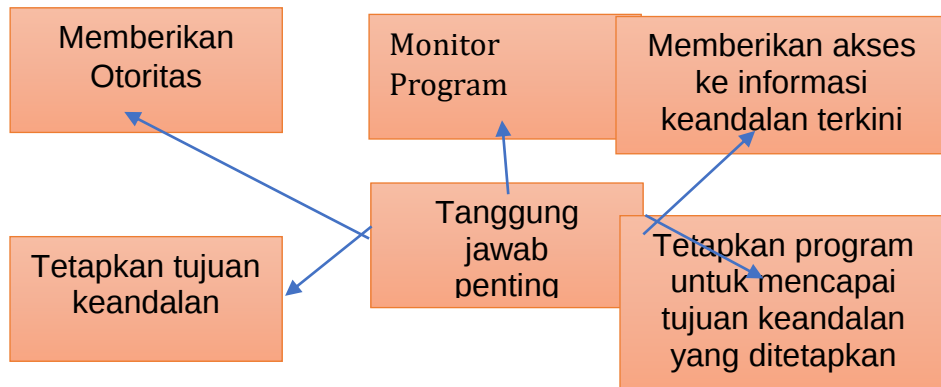
MANAJEMEN KEANDALAN DAN PENETAPAN BIAYA

8.1 Pendahuluan

Manajemen keandalan berkaitan dengan pengarahan dan pengendalian aktivitas terkait keandalan organisasi, termasuk penetapan tujuan dan kebijakan keandalan, penugasan staf, dan memfasilitasi interaksi tenaga kerja keandalan dengan bagian lain dari organisasi. Sejarah manajemen keandalan dapat ditelusuri kembali ke akhir tahun 1950-an ketika Divisi Rudal Balistik Angkatan Udara AS mengembangkan dokumen program keandalan (yaitu, Lampiran 58-10). Selanjutnya, Departemen Pertahanan AS mengembangkan spesifikasi militer, MIL-R-27542. Ini adalah hasil dari upaya Departemen untuk mengembangkan persyaratan untuk program keandalan kontraktor yang terorganisir. Biaya adalah faktor penting dalam setiap program keandalan. Hal ini terkait dengan berbagai aktivitas yang berhubungan dengan keandalan termasuk prediksi, alokasi, dan pengujian. Biaya keandalan secara langsung atau tidak langsung merupakan komponen penting dari biaya siklus hidup barang/produk dan selama bertahun-tahun banyak publikasi yang secara langsung atau tidak langsung berkaitan dengannya telah muncul. Bab ini menyajikan berbagai aspek penting dari manajemen keandalan dan penetapan biaya.

8.2 Manajemen Umum Terkait Program Keandalan Tanggung Jawab dan Kekuatan Pemandu yang Berkaitan Fakta untuk Program Keandalan yang Efektif

Manajemen umum memainkan peran kunci dalam memiliki program keandalan yang efektif. Beberapa tanggung jawab pentingnya ditunjukkan pada Gambar 1 [Heyel, C., 1979]. Tanggung jawab “Menetapkan sasaran keandalan” berkaitan dengan pengembangan sasaran keandalan yang paling tepat dan dapat dicapai bagi organisasi.



Gambar 8. 1. Keandalan tanggung jawab terkait program manajemen umum.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Beberapa fakta yang dapat menjadi pedoman bagi manajemen umum untuk memiliki program keandalan yang efektif, adalah sebagai berikut [Finch, W.L.,1981]:

- Keandalan ditentukan oleh desain dasar.
- Keandalan produk hanya dapat ditingkatkan melalui perubahan desain.

- Keandalan merupakan elemen penting dalam perencanaan, pengelolaan, dan desain suatu item teknik.
- Untuk mengendalikan keandalan dalam tahap desain, manufaktur, pengujian, dan lapangan dari produk rekayasa, program yang direncanakan dengan baik sangatlah penting.
- Keandalan desain diturunkan karena perubahan dalam bidang manufaktur, penyimpanan dan pengiriman, pemeliharaan, pengujian dan penggunaan di bidang produk rekayasa.
- Keandalan produk dapat ditingkatkan secara paling ekonomis selama tahap awal program pengujian desain dan evaluasi.
- Untuk mencapai keandalan yang diinginkan dalam produk rekayasa yang matang secara tepat waktu, pengumpulan data kekurangan, analisis, dan umpan balik sangat penting.
- Terjadinya kesalahan manusia menurunkan keandalan desain.

8.3 Pendekatan untuk Mengembangkan Tujuan Keandalan dan Pedoman Berguna untuk Mengembangkan Program Keandalan

Pengembangan sasaran keandalan sangat penting ketika bekerja berdasarkan persyaratan keandalan yang telah ditetapkan sebelumnya. Ini melibatkan pengurangan keseluruhan persyaratan menjadi serangkaian sub tujuan. Meskipun demikian, pendekatan/prosedur untuk mengembangkan tujuan keandalan disajikan di bawah ini [Grant Ireson, W., Coombs, 1996].

- Memperjelas persyaratan dan meninjau tujuan organisasi dan misi unit organisasi sebelum menetapkan tujuan unit untuk mencapai tujuan keseluruhan atau tujuan utama.
- Identifikasi area hasil yang diinginkan dan tentukan area dimana hasil tertinggi terlihat menjanjikan.
- Pilih bidang hasil yang paling menjanjikan untuk dicapai dan pilih calon sasaran yang sesuai.
- Meninjau kebutuhan sumber daya untuk mencapai dan mencapai tujuan kandidat dengan sukses.
- Identifikasi seluruh area masalah yang mungkin terjadi dalam mencapai tujuan dan solusi yang diusulkan.
- Urutkan sasaran kandidat dengan mempertimbangkan tingkat imbalan dan kemudahan pembayaran.
- Meninjau independensi tujuan dan membuat perubahan yang sesuai pada calon tujuan untuk mencapai tingkat koordinasi maksimum.
- Meninjau calon tujuan sehubungan dengan faktor-faktor seperti keterukuran, penerimaan, kompatibilitas, dukungan, relevansi, dan penerimaan, dan membuat pilihan akhir tujuan dan menetapkan tonggak yang tepat untuk pencapaian keberhasilan mereka dengan mengembangkan parameter keterukuran keberhasilan.
- Mengembangkan rencana aksi untuk mencapai tujuan dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti dukungan manajemen dan ketentuan untuk inisiatif/pengawasan yang memotivasi.
- Komunikasikan tujuan secara tertulis kepada semua pihak yang berkepentingan.

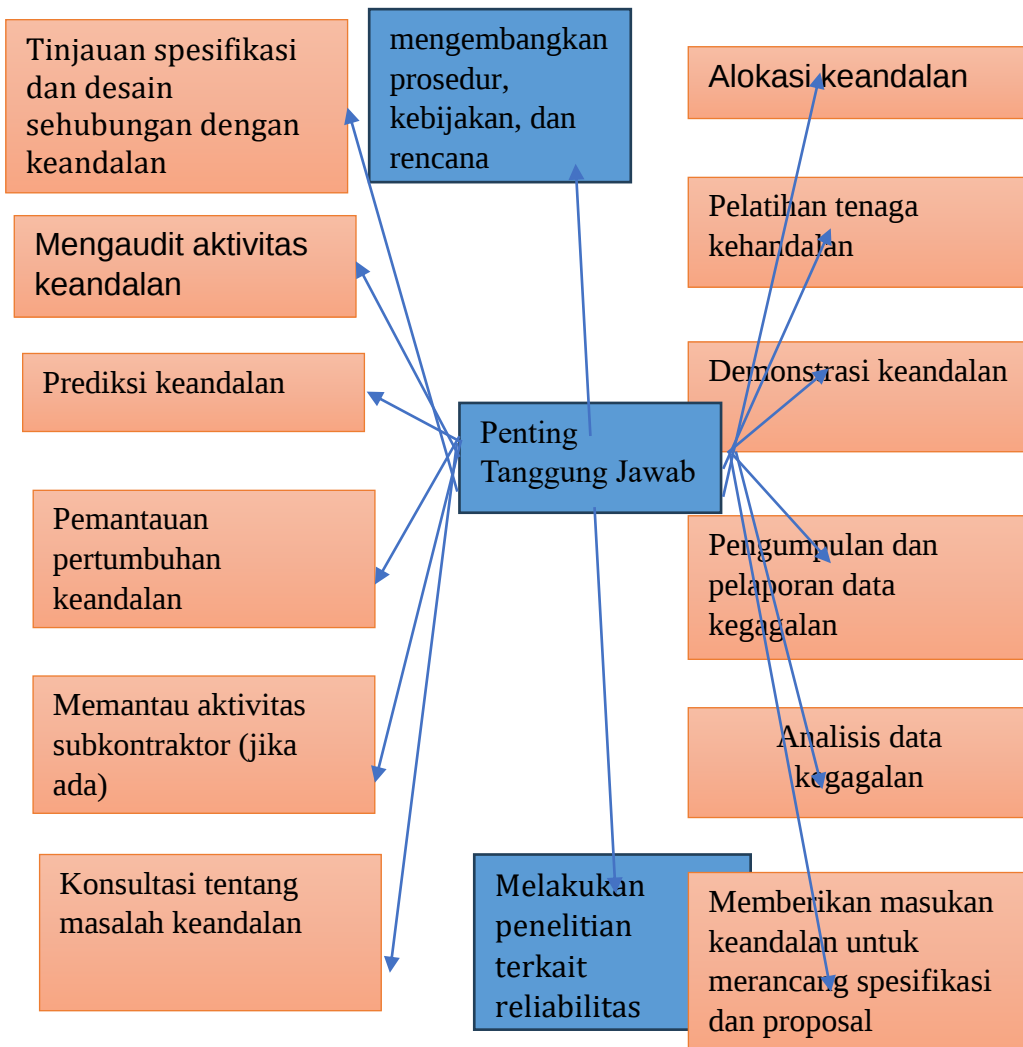
- Meninjau kemajuan tujuan secara teratur dan melakukan penyesuaian.

Beberapa pedoman yang berguna untuk mengembangkan program keandalan adalah sebagai berikut [Karger, D.W. and Murdick, R.G,1980]:

- Tetapkan tujuan terkait keandalan untuk produk/sistem yang sedang dipertimbangkan.
- Untuk mendapatkan “keandalan produk inheren” yang maksimal, lakukan upaya maksimal selama tahap desain.
- Mengevaluasi margin keandalan dan melakukan tinjauan spesifikasi. •
- Melakukan tinjauan prosedur dan desain. • Mengembangkan program pengujian.
- Tinjau spesifikasi dan gambar perubahan sehubungan dengan keandalan.
- Menetapkan dan memelihara pengendalian selama produksi melalui aktivitas seperti pengujian sampel, inspeksi, dan pengendalian produksi yang efektif.
- Membangun sistem loop tertutup untuk pelaporan kegagalan, analisis, dan umpan balik kepada profesional teknik untuk mengambil tindakan yang tepat guna mencegah terulangnya kembali kegagalan.
- Menugaskan tanggung jawab atas keandalan kepada kelompok yang paling tepat.
- Memastikan bahwa untuk kinerja aktivitas keandalan yang efektif, kelompok keandalan melapor kepada otoritas yang berwenang.
- Membangun fasilitas dan program pelatihan kerja yang sesuai.

8.3. Tanggung Jawab Departemen Rekayasa Keandalan dan Keandalan Tugas Insinyur

Departemen teknik keandalan menjalankan berbagai jenis fungsi terkait keandalan. Beberapa tanggung jawab pentingnya ditunjukkan pada Gambar 8.2 [Dhillon, B.S.,1999]

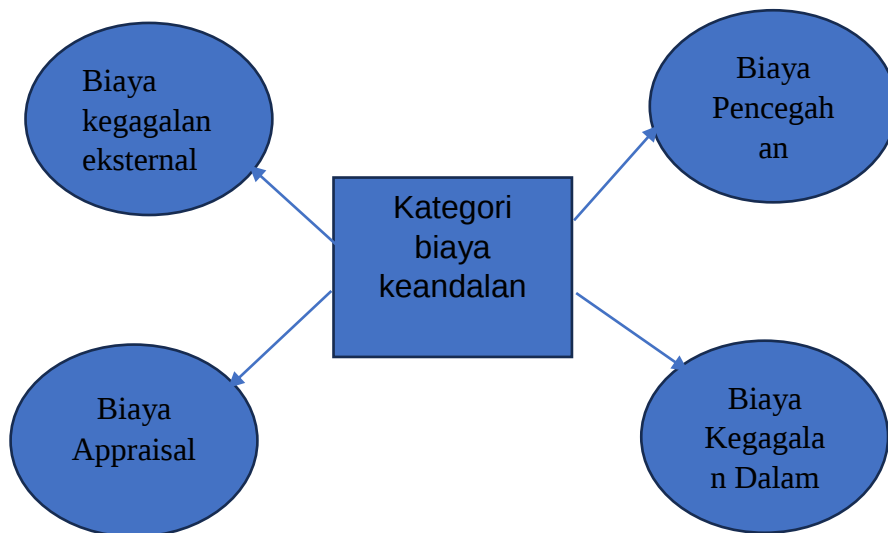


Gambar 8. 2. Tanggung jawab penting departemen teknik keandalan.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

8.4 Biaya Keandalan

Program keandalan melibatkan kinerja berbagai aktivitas atau tugas. Beberapa contoh tugas ini adalah prediksi keandalan, pemodelan/alokasi keandalan, menyiapkan rencana program keandalan dan pemeliharaan, pengujian keandalan, dan melakukan mode kegagalan dan analisis efek (FMEA). Jam kerja yang diperlukan untuk melakukan tugas-tugas seperti ini dapat diperkirakan dengan menggunakan berbagai model matematika berbasis empiris RADC. (Pusat Pengembangan Udara Roma, Dhillon, B.S.,1999] dan pada gilirannya, biaya untuk melakukan tugas-tugas tersebut.



Gambar 8. 3. Kategori biaya keandalan.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

8.5 Model Estimasi Biaya Aktivitas Keandalan

1. Reliability Prediction Manhour Estimation Model

$$MHrp = 4.54(POC)(LOD)^2 (RF)^2 \dots\dots\dots 8.1$$

Dimana:

MHrp = jumlah total jam kerja yang diperlukan untuk prediksi keandalan.

POC = menunjukkan persentase perangkat keras komersial yang digunakan dalam sistem/item yang dipertimbangkan.

Nilai POC yang direkomendasikan sbb:

1. (76–100%),
2. (51–75%),
3. (26–50%), dan
4. (0–25%).

LOD = menunjukkan tingkat detail.

Nilai LOD yang direkomendasikan adalah

- 1 (jika ada prediksi),
- 2 (jika prediksi dibuat menggunakan data sistem serupa), dan
- 3 (jika prediksi stres penuh MIL-HDBK-217 diperlukan).

RF = menunjukkan formalitas laporan (yaitu, jenis laporan yang diperlukan). Nilai RF yang direkomendasikan adalah 1 (jika diperlukan laporan internal), dan 2 (jika diperlukan laporan formal).

2. Pemodelan Keandalan/Model Estimasi Jam Kerja Alokasi

$$MHrma = 4.05 (MAAC)^2 (NOIAP) \dots\dots\dots 8.2$$

Dimana:

MHrma = jumlah total jam kerja yang diperlukan untuk pemodelan/alokasi

keandalan.

MAAC = menunjukkan kompleksitas pemodelan dan alokasi.

Nilai MAAC yang disarankan adalah

8. (jika sistem seri),
9. (jika redundansi sederhana), dan
10. (jika redundansi sangat kompleks).

NOIIAP = menunjukkan jumlah item dalam proses alokasi.

Nilai minimum NOIIAP yang disarankan adalah 7 dan maksimum 445.

3. Model Estimasi Manhour Rencana Program Keandalan dan Pemeliharaan

Model ini berkaitan dengan memperkirakan jumlah jam kerja yang diperlukan untuk menyiapkan **rencana program keandalan dan pemeliharaan**. Jumlah total jam kerja yang dibutuhkan untuk melakukan tugas ini dinyatakan dengan

$$\text{MHrmp} = 2.073 \alpha^2 \dots\dots\dots 8.3$$

Di mana MHrmp adalah jumlah total jam kerja yang diperlukan untuk menyiapkan rencana program keandalan dan pemeliharaan dan α adalah jumlah total tugas MIL-STD-785/470 (Pusat Pengembangan Udara Roma (RADC),

yang diperlukan. Nilai minimum α yang disarankan adalah 4 dan maksimum 22.

4. Pengujian Reliabilitas Model Estimasi Manhour

Model ini berkaitan dengan memperkirakan jumlah jam kerja yang diperlukan untuk melakukan tugas pengujian keandalan. Jumlah total jam kerja yang dibutuhkan untuk melakukan tugas tersebut dinyatakan dengan (Pusat Pengembangan Udara Roma (RADC)

$$MHrt = (182.07)(HC) \dots\dots\dots 8.4$$

Dimana:

MHrt adalah jumlah total jam kerja yang diperlukan untuk pengujian keandalan dan

HC menunjukkan kompleksitas perangkat keras.

Nilai HC yang disarankan adalah 1 (jika bagiannya kurang dari 15.000), 2 (jika bagiannya 15.000–25.000), dan 3 (jika bagiannya lebih besar dari 25.000).

5. Model Estimasi Manhour Mode Kegagalan dan Analisis Efek (FMEA).

Model ini dapat digunakan untuk memperkirakan jam kerja yang dibutuhkan untuk melakukan FMEA. Jumlah total jam kerja yang dibutuhkan untuk melakukan tugas ini dinyatakan dengan (Pusat Pengembangan Udara Roma (RADC).

$$MH_{FM} = 17.79(NUI) \dots\dots\dots 8.5$$

Dimana:

MHFM adalah jumlah total jam kerja yang diperlukan untuk melakukan FMEA.

NUI adalah jumlah item unik yang memerlukan FMEA (misalnya, jumlah peralatan untuk FMEA tingkat peralatan atau jumlah kartu sirkuit untuk bagian bagian dan FMEA tingkat sirkuit).

Nilai NUI minimum yang disarankan adalah 3 dan maksimum 206.

6. Model Estimasi Jam Kerja Sistem Pelaporan Kegagalan dan Tindakan Perbaikan (FRACAS).

Model ini berkaitan dengan memperkirakan jumlah jam kerja yang dibutuhkan untuk FRACAS. Jumlah total jam kerja yang dibutuhkan dinyatakan dengan (Pusat Pengembangan Udara Roma (RADC)

$$MHFR = 8.25(DOFI)2$$

.....8.6

dimana

MHFR adalah jumlah total jam kerja yang dibutuhkan untuk FRACAS dan DOFI adalah durasi implementasi FRACAS yang dinyatakan dalam bulan. Nilai DOFI minimum yang disarankan adalah 2,5 dan maksimum 38.

7. Model Estimasi Manhour Manajemen Keandalan dan Pemeliharaan

Model ini berkaitan dengan memperkirakan jam kerja yang diperlukan untuk melakukan aktivitas manajemen keandalan dan pemeliharaan. Jumlah total jam kerja yang dibutuhkan dinyatakan (Pusat Pengembangan Udara Roma (RADC)

$$MH_{RM} = [MH_{rp} + MH_{rmp} + MH_{rt} + MH_{PM} + MH_{FR}] \left[\frac{16}{100} \right]8.7$$

di mana MHRM adalah jumlah total jam kerja yang diperlukan untuk melaksanakan tugas manajemen keandalan dan pemeliharaan.

1. **Metode Evaluasi Keandalan**
2. **Pengujian Keandalan**
3. **Pengelolaan Keandalan dan Nilai Keandalan**

BAB 9

PANGANTAR KUALITAS

9.1 Pendahuluan

Penting nya kualitas dalam bisnis dan Industri meningkat pesat, fungsi produk dan pelayanan yang memuaskan (komputer, mobil dan pasokan listrik yang berkelanjutan). Biaya pengendalian kualitas menyumbang 7 - 10 % dari total pendapatan penjualan produsen. tantangan di hadapi adalah tingkat biaya kualitas sangat tinggi, peningkatan persyaratan kualitas pelanggan, perlunya perbaikan melalui metode dan praktek yang terkait dengan kualitas dan ekonomi internet, sebagai berikut:

1. Konsep Kualitas :

- *Tingkat kesempurnaan, keunggulan, atau standar yang dicapai oleh suatu produk, layanan, atau proses.
- * Sejauh mana suatu produk atau layanan memenuhi atau melampaui ekspektasi pelanggan dan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

2. Definisi

- * Derajat ketepatan suatu produk atau layanan dalam memenuhi kebutuhan atau harapan pelanggan.
- * Kesempurnaan, esesuaian dengan tujuan dan spesifikasi atau standar yang ditetapkan.

3. Dimensi:

- * Kinerja (Performance, Keandalan (Reliability)
- * Kemampuan produk atau layanan untuk berfungsi secara konsisten selama periode waktu tertentu.
- * Kesesuaian dengan Standar (Conformance to Specification)
- * Seberapa baik produk atau layanan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
- * Daya Tahan (Durability), Estetika (Aesthetics) dan Pelayanan Purna Jual (Serviceability)

4. Manajemen

- * Pendekatan sistematis yang digunakan oleh organisasi untuk memastikan produk dan layanan yang mereka hasilkan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.
- * Tujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

5. Beberapa Pendekatan

- * Total Quality Management (TQM): Filosofi yang mengedepankan keterlibatan seluruh anggota organisasi dalam upaya meningkatkan kualitas.
- * Six Sigma: Metodologi yang berfokus pada pengurangan variasi dalam proses untuk meningkatkan kualitas dan kepuasan pelanggan.

- * ISO 9001: Standar internasional untuk sistem manajemen kualitas yang dapat diterapkan oleh organisasi di berbagai industri.

6. Penting

- * Meningkatkan kepuasan pelanggan: Produk dan layanan berkualitas akan meningkatkan kepuasan pelanggan dan mendorong loyalitas.
- * Keunggulan bersaing: Perusahaan yang menyediakan produk atau layanan berkualitas dapat memperoleh keunggulan kompetitif di pasar.
- * Efisiensi Operasional: Manajemen kualitas yang baik membantu mengurangi pemborosan, meningkatkan produktivitas, dan mengoptimalkan sumber daya.
- * Reputasi dan citra perusahaan: Kualitas yang tinggi akan membangun reputasi perusahaan yang baik, yang pada gilirannya dapat meningkatkan pangsa pasar dan profitabilitas.

7. Kualitas dalam Berbagai Bidang (bukan hanya bidang Manufaktur)

- * Layanan kesehatan: Kualitas pelayanan medis dan pengelolaan rumah sakit sangat berpengaruh pada keselamatan dan kepuasan pasien.
- * Pendidikan: Kualitas pendidikan berhubungan dengan kemampuan institusi pendidikan untuk memberikan pengalaman belajar yang efektif dan relevan bagi siswa.
- * Teknologi: Kualitas dalam perangkat lunak, perangkat keras, dan aplikasi mempengaruhi fungsionalitas serta pengalaman pengguna.

8. Tantangan dalam Menjaga Kualitas

- * Variasi Proses: Variasi dalam proses produksi atau penyediaan layanan dapat menyebabkan perbedaan kualitas yang besar.

- * Tekanan Biaya: Dalam beberapa kasus, tekanan untuk menurunkan biaya dapat mengorbankan kualitas produk atau layanan.
- * Kompleksitas Produk: Semakin kompleksnya produk dan layanan, semakin sulit untuk memastikan kualitas pada setiap elemen.

Maka Kualitas bukan hanya soal produk atau layanan yang bagus, tetapi juga bagaimana organisasi secara konsisten memenuhi atau melampaui harapan pelanggan melalui manajemen yang efektif, inovasi, dan perbaikan berkelanjutan. Dengan fokus yang kuat pada kualitas, perusahaan tidak hanya dapat meningkatkan daya saing mereka, tetapi juga menciptakan nilai lebih bagi pelanggan dan pemangku kepentingan lainnya. Manajemen kualitas yang baik adalah kunci untuk mencapai kesuksesan jangka panjang dalam dunia bisnis yang semakin kompetitif.

9.2 Perbandingan Produk Modern dan Tradisional, Faktor Langsung yang Mempengaruhi Kualitas Produk dan Layanan, dan Karakteristik Desain Kualitas

Produk modern sangat berbeda dengan produk tradisional, seperti terlihat pada Tabel 9.1 menyajikan perbandingan produk modern dan tradisional dengan berkaitan dengan berbagai faktor. Faktor-faktor penting yang secara langsung mempengaruhi kualitas produk dan jasa adalah sebagai berikut: mesin yang digunakan dalam pembuatan, metode informasi modern, uang, tenaga kerja, dan material, meningkatnya persyaratan produk, motivasi karyawan, pasar produk dan jasa manajemen.

Tabel 9. 1. Perbandingan Produk Modern dan Tradisional Berdasarkan Berbagai Faktor

No	FAKTOR	PRODUK MODERN	PRODUK TRADISIONAL
1	Pemahaman Produk oleh Pengguna	low	high
2	Volume Produksi	Selalu tinggi	Selalu rendah
3	Presisi	Tinggi	Rendah
4	Kesederhanaan	Kompleks dan dinamis	Sederhana dan dinamis
5	Desain kehidupan	Pendek (Biasanya kurang dr 10 tahun)	Panjang (Decade)
6	Gunakan Lingkungan	Tidak alami	Alami
7	Pentingnya bagi kesehatan manusia dan keamanan	Seringkali penting	Jarang penting
8	Persyaratan untuk pertukaran kemampuan	Selalu luas	Selalu dibatasi
9	Dasar Ilmiah desain	Umumnya ilmiah	Pada dasarnya empiris
10	Penyebab umum kegagalan lapangan	Kekurangan Desain	Kesalahan manufaktur
11	Biaya siklus hidup bagi pengguna	Jauh lebih tinggi dari biaya pengadaan	Mirip dengan biaya pengadaan
12	Dasar Keandalan dan Pemeliharaan	Terkualifikasi	Tidak Jelas

Karakteristik desain kualitas, di bawah kendali produsen, baik untuk produk manufaktur maupun produk jasa adalah kinerja, fitur, kesesuaian, keandalan, daya tahan, kemudahan servis, dan estetika.

Contohnya :

1. Produk manufaktur (Penguat stereo) masing-masing adalah rasio signal-to-noise, kendali jarak jauh, pengerjaan, waktu rata-rata hingga kegagalan, masa pakai, kemudahan perbaikan, dan kabinet kayu ek.
2. Produk jasa (Rekening giro) adalah waktu untuk memproses permintaan pelanggan, pembayaran tagihan otomatis, akurasi,

variabilitas waktu untuk memproses permintaan, mengikuti tren industri, penyelesaian kesalahan, dan tampilan lobi bank, masing-masing.

9.3 Sasaran Mutu

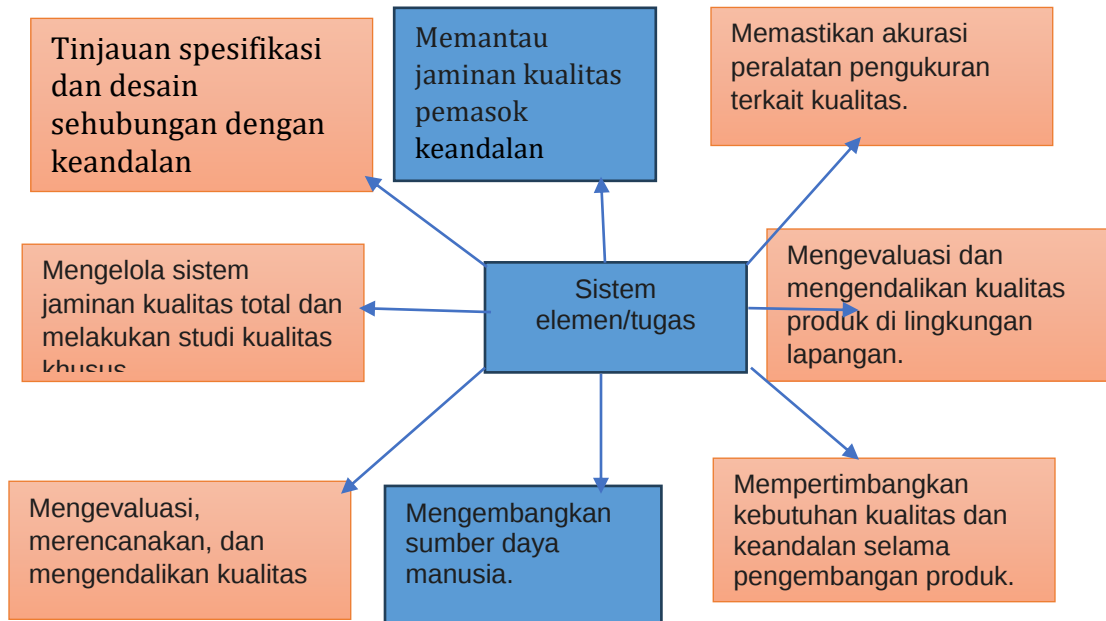
Biasanya dalam organisasi, sasaran mutu yang dapat dicapai dikembangkan terlebih dahulu, dan kemudian upaya diarahkan untuk mencapai sasaran tersebut. Beberapa organisasi mungkin mengelompokkan sasaran mutunya dalam dua kategori adalah tujuan terobosan dan tujuan pengendalian

Tujuan terobosan pada dasarnya berkaitan dengan peningkatan kualitas produk atau layanan yang ada. Ada berbagai alasan untuk menetapkan tujuan tersebut termasuk meningkatkan citra perusahaan di pasar, ketidakpuasan pelanggan dan pihak lain terhadap produk atau layanan yang ada, mempertahankan atau mencapai kepemimpinan kualitas, dan kehilangan pangsa pasar karena kegagalan bersaing dengan produk atau layanan serupa yang disediakan oleh perusahaan. yang lain.

Tujuan pengendalian berkaitan dengan pemeliharaan kualitas produk atau jasa pada tingkat yang ada selama periode tertentu. Beberapa alasan mengapa tujuan tersebut adalah: perbaikan tidak ekonomis, jumlah pelanggan yang sedikit atau keluhan lain mengenai kualitas produk atau layanan, dan daya saing yang dapat diterima pada tingkat kualitas saat ini. Secara keseluruhan, sasaran mutu harus dikembangkan dengan mengikuti langkah-langkah seperti mengidentifikasi tujuan-tujuan potensial, mengukur tujuan-tujuan potensial dan menetapkan prioritas tujuan

9.4 Elemen Sistem Penjaminan Mutu

Tujuan utama dari sistem penjaminan mutu adalah untuk mempertahankan tingkat mutu yang dibutuhkan, elemen/tugas pentingnya ditunjukkan pada Gambar 9.1.

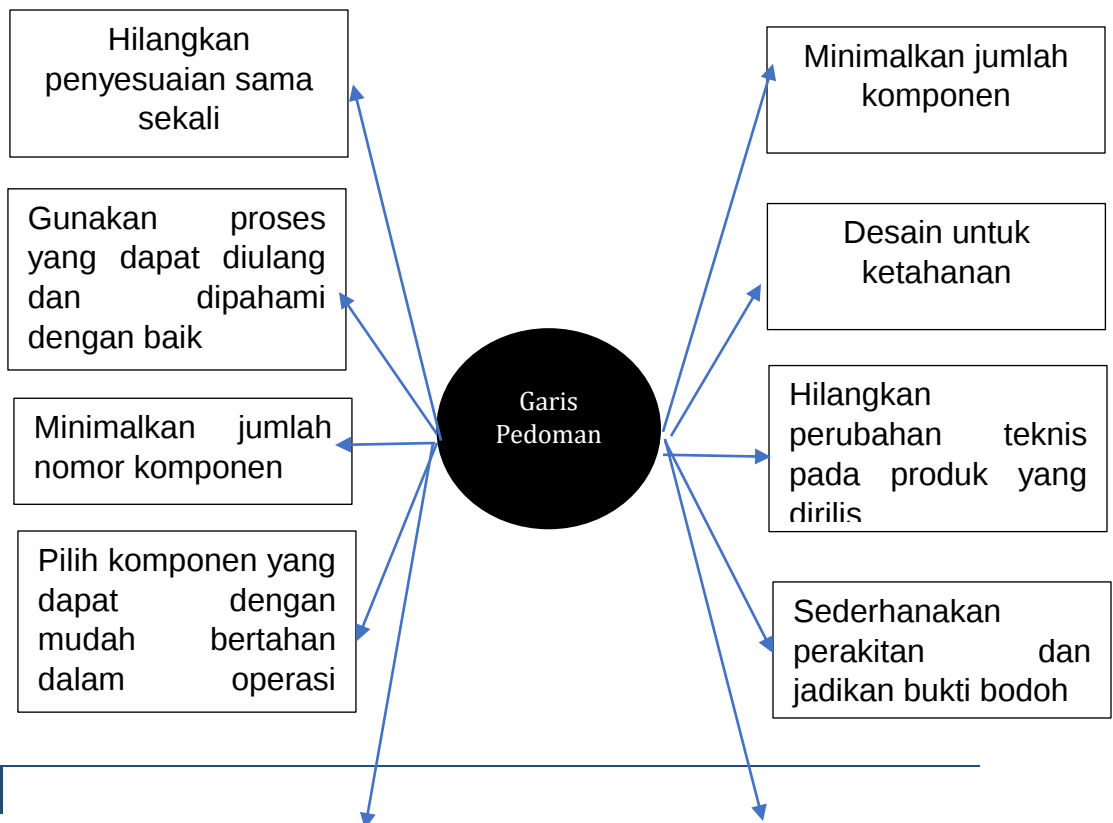


Gambar 9. 1. Elemen/tugas sistem penjaminan mutu.
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

9.5 Desain untuk kualitas

Ada banyak aspek desain produk yang dapat menurunkan kualitas secara signifikan, desain suatu produk mempengaruhi kualitas dalam dua bidang utama yaitu di pabrik milik produsen sendiri dan di pabrik pemasok. Pada gambar 9.2 menyajikan sejumlah pedoman desain untuk peningkatan kualitas. Pedoman “meminimalkan jumlah komponen” akan memberikan hasil (bersama dengan peningkatan kualitas spesifiknya) seperti perakitan

yang lebih mudah (tingkat kesalahan perakitan yang lebih rendah), gambar komponen dan gambar perakitan yang lebih sedikit (volume gambar dan instruksi yang lebih sedikit), komponen yang mengalami kegagalan lebih sedikit. (keandalan lebih tinggi), dan lebih sedikit komponen yang dapat memenuhi karakteristik kualitas yang disyaratkan (konsistensi kualitas komponen tertinggi). Pedoman “menghilangkan penyesuaian sama sekali” memberikan hasil (bersama dengan peningkatan kualitas spesifiknya) seperti tidak adanya kesalahan penyesuaian perakitan (hasil lintasan pertama lebih tinggi) dan penghapusan suku cadang yang dapat disesuaikan dengan tingkat kegagalan tinggi (tingkat kegagalan lebih rendah). Pedoman “desain untuk ketahanan” menyebabkan (bersama dengan peningkatan kualitas spesifiknya) sensitivitas yang rendah terhadap variabilitas komponen (degradasi kinerja yang lebih sedikit dari waktu ke waktu dan hasil first-pass yang lebih besar).





Gambar 9. 2. Pedoman desain untuk meningkatkan kualitas produk.
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

9.6 Manajemen Mutu Total (TQM)

Istilah manajemen kualitas total (TQM) diciptakan oleh Nancy Warren, seorang ilmuwan perilaku, pada tahun 1985. Itu terdiri dari tiga kata, yang masing-masing dijelaskan secara rinci di bawah.

1. **Total.** Hal ini memerlukan upaya tim yang efektif dari semua pihak yang terlibat
 - Pelanggan membuat pemasok memahami kewajiban atau kebutuhannya secara efektif.
 - Pengembangan hubungan pelanggan-pemasok berdasarkan rasa saling percaya dan hormat.
 - Pemantauan produk dan proses pemasok oleh pelanggan secara rutin.
 - Pelanggan mengembangkan kebutuhan internalnya.
2. **Kualitas.** Ada banyak definisi kualitas. Meskipun demikian, kualitas harus dilihat oleh pelanggan dan bukan oleh pemasok.
3. **Manajemen.** Pendekatan manajemen yang efektif sangat penting dalam membuat keputusan perusahaan karena partisipasi dan kontribusi mereka dipandang penting untuk membentuk semua bidang bisnis dalam menyediakan produk dan layanan berkualitas tinggi kepada pelanggan untuk mempraktikkan konsep TQM secara efektif, penting untuk memahami perbedaan mendasar antara TQM dan manajemen

penjaminan mutu tradisional (TQM). Tabel 9.2 menyajikan perbandingan di sejumlah bidang antara TQM dan TQAM.

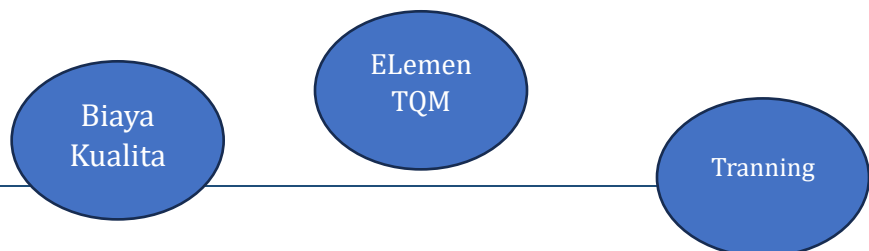
9.6.1 Elemen TQM dan Tujuan Keberhasilan Proses TQM

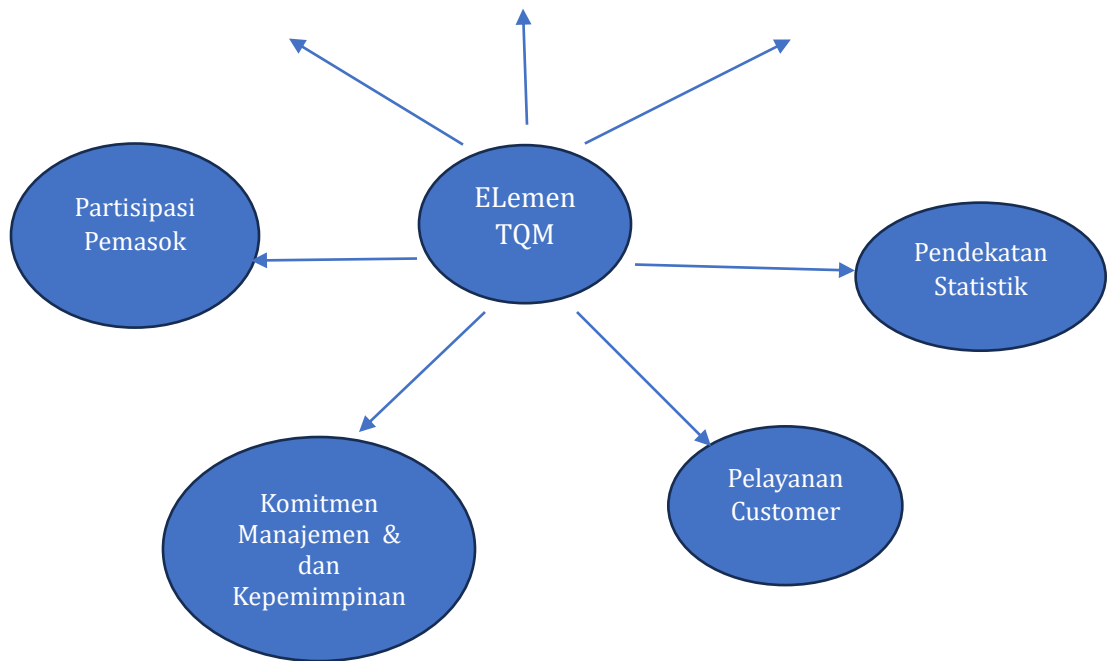
TQM terdiri dari banyak elemen. Yang penting ditunjukkan pada Gambar 9.3.

Tabel 9. 2. Perbandingan Antara Total Quality Management (TQM) dan Manajemen Penjaminan Mutu Tradisional (TQAM)

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

No	Area	TQM	TQAM
1	Pelanggan	Pendekatan yang terdefinisi dengan baik untuk memahami dan memenuhi kebutuhan pelanggan	Pemahaman yang ambigu tentang kebutuhan pelanggan atau konsumen
2	Membuat Keputusan	Mempraktikkan pendekatan tim yang efektif dengan tim karyawan	Mempraktikkan metode top-down yang biasa
3	Kualitas ditentukan.	Produk yang cocok untuk aplikasi konsumen.	Produk memenuhi spesifikasi
4	Tujuan Mencegah	Trejadinya kesalahan	Temukan kesalahan
5	Tanggung jawab kualitas.	Semua orang dalam organisasi terlibat.	Kelompok kendali mutu/pusat inspeksi
6	Biaya	Kualitas yang lebih baik menurunkan biaya dan meningkatkan produktivitas.	Peningkatan kualitas menghasilkan biaya yang lebih tinggi
7	Definisi	Didorong oleh pelanggan.	Berbasis Produk





Gambar 9. 3. Elemen penting TQM.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Untuk keberhasilan proses TQM, ada sejumlah tujuan yang harus dipenuhi secara efektif. Beberapa tujuan tersebut adalah sebagai berikut:

- Pemahaman yang jelas tentang kebutuhan pelanggan internal dan eksternal oleh seluruh karyawan perusahaan.
- Penetapan penghargaan dan insentif bagi karyawan ketika pengendalian proses dan hasil kepuasan pelanggan tercapai.
- Penggunaan sistem untuk terus meningkatkan proses agar dapat mem
- Memenuhi pedoman pengendalian sesuai kebutuhan pelanggan oleh semua sistem dan proses terkait

9.6.2 Pendekatan Deming terhadap TQM

Ada banyak orang yang selama bertahun-tahun secara langsung atau tidak langsung telah memberikan kontribusi terhadap TQM. Salah satu kontributor ini adalah W.E. Deming, lulusan bidang teknik, matematika, dan fisika. Pendekatan empat belas langkahnya untuk meningkatkan kualitas adalah sebagai berikut:

- Mengembangkan keteguhan tujuan untuk meningkatkan layanan/produk. Lebih khusus lagi, hal ini memerlukan pengembangan
- Memimpin untuk mendorong perubahan. Secara lebih spesifik, hal ini berarti bahwa tingkat kecacatan, keterlambatan, atau kesalahan yang dapat diterima tidak dapat diterima terkait bekerja sama untuk memperbaiki permasalahan yang ada.
- Berhenti bergantung pada inspeksi massal dan tingkatkan kualitas pada produk/jasa.
- Berhenti memberikan bisnis atau kontrak berdasarkan harga dan menge
- Meningkatkan produk, kualitas, dan layanan secara terus-menerus.
- Melembagakan langkah-langkah pelatihan yang mencakup pendekatan, metode, dan teknik modern/terkini.
- mempraktikkan pendekatan dan metode pengawasan modern/terkini.
- Hilangkan unsur ketakutan sama sekali.
- Meruntuhkan hambatan yang ada antar kelompok/unit/departemen dan menekankan upaya tim.
- Hilangkan slogan-slogan, sasaran numerik, dan poster karena hal-hal tersebut menciptakan hubungan yang saling bermusuha

- Menghapuskan kuota numerik dan praktik manajemen berdasarkan tujuan (MBO).
- Hilangkan semua hambatan yang ada terhadap kebanggaan karyawan dalam pengerjaan.
- Mendorong program pendidikan dan pengembangan diri yang dinamis.
- Menjadikan transformasi sebagai tugas semua orang dan memaksa semua pihak untuk mengerjakannya dengan cara yang efektif.

9. 6.3 Hambatan Implementasi TQM

Selama bertahun-tahun, individu yang terlibat dalam penerapan TQM mengalami banyak kendala. Pengetahuan tentang hambatan-hambatan ini dianggap penting sebelum memulai proses penerapan TQM. Tabel 9.3 menyajikan beberapa kendala tersebut dalam bentuk pertanyaan.

Tabel 9. 3. Beberapa Hambatan TQM Berupa Pertanyaan

No	Pertanyaan yang terkait
1	Akankah manajemen tingkat atas mendukung pengenalan program TQM?
2	Apakah manajemen memahami dengan jelas tujuan TQM?.
3	Apakah mungkin untuk mengukur kebutuhan pelanggan? Jika ya, bagaimana caranya?.
4	Apakah mungkin memperoleh dukungan efektif dari manajer dan bawahannya yang memiliki sikap “independen”?.
5	Siapa yang akan menetapkan visi TQM?.
6	Bagaimana meyakinkan individu akan perlunya perubahan?.
7	Apakah ada cukup waktu yang tersedia untuk melaksanakan program TQM secara efektif?.
8	Bagaimana meyakinkan semua orang yang terlibat bahwa TQM itu berbeda?

9. 6.4 Buku Pilihan tentang TQM dan Organisasi yang Mempromosikan Konsep TQM

Selama bertahun-tahun banyak buku tentang TQM dan organisasi yang mempromosikan konsep TQM telah bermunculan. Bagian ini mencantumkan beberapa buku dan organisasi tersebut secara terpisah

BAB 10

METODE ANALISIS KUALITAS

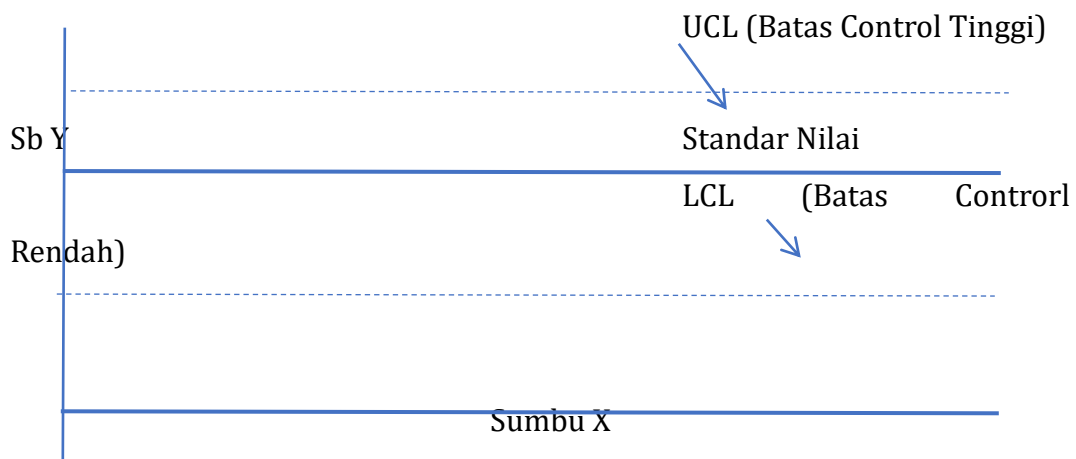
10.1 Pendahuluan

Metode analisis kualitas digunakan untuk mengevaluasi dan memastikan bahwa produk, layanan atau proses memenuhi standar dan spesifikasi yang ditentukan. Dalam konteks manajemen kualitas, ada beberapa pendekatan dan metode yang digunakan untuk menganalisis dan meningkatkan kualitas. Berikut adalah beberapa metode analisis kualitas yang umum digunakan:

10.2 Metode Statistik (*Statistical Quality Control*)

Metode ini mengandalkan penerapan teknik statistik untuk memantau dan mengendalikan kualitas produk atau proses. Beberapa teknik yang digunakan dalam metode ini antara lain:

* **Peta Kendali (*Control Charts*)**: Digunakan untuk memantau variabilitas proses dan mendeteksi apakah proses berada dalam kondisi terkendali.



Gambar 10. 1. Sketsa Kasar Peta kendali

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Biasanya, sampel acak dari nilai-nilai yang diambil dari suatu proses diplot pada grafik kontrol. Ketika nilai sampel berada di luar batas kontrol

atas dan bawah, itu menandakan bahwa proses tersebut berada di luar kendali statistik. Meskipun grafik kontrol awalnya dikembangkan dan digunakan di bidang manufaktur, grafik kontrol dapat dengan mudah diterapkan di organisasi jasa. Misalnya, di organisasi (bersama dengan ukuran kualitas masing-masing) seperti rumah sakit (akurasi uji laboratorium, pengiriman makanan dan obat tepat waktu, dan akurasi klaim asuransi), kantor pos (akurasi penyortiran, waktu pengiriman, dan persentase surat ekspres yang dikirim tepat waktu), hotel (waktu check-out, jumlah keluhan yang diterima, dan proporsi kamar yang dibersihkan dengan memuaskan), bank (akurasi pemrosesan cek), departemen kepolisian (jumlah tilang lalu lintas dan insiden kejahatan di suatu wilayah), ambulans (waktu respons), layanan otomotif (persentase waktu kerja yang diselesaikan sesuai janji dan jumlah keluhan), dan perusahaan asuransi (akurasi penagihan dan waktu respons pemrosesan klaim). Terdapat banyak jenis bagan kendali yang berbeda dan bagan yang paling banyak digunakan dijelaskan di bawah ini.

10.2.1. Grafik-P

Seringkali, grafik ini disebut grafik kontrol untuk atribut. Atribut umumnya tidak dapat diukur, tetapi dapat dengan mudah dihitung. Populasi data diklasifikasikan menjadi dua kelompok (yaitu, baik atau buruk, lulus atau gagal, dll.). Contoh populasi data adalah komponen dengan cacat dan komponen tanpa cacat. Keuntungan utama dari data atribut adalah biasanya mudah dikumpulkan dan kerugian utamanya adalah perlunya mengumpulkan sampel besar untuk mendapatkan hasil statistik yang valid. Akhirnya, dapat dikatakan bahwa grafik kontrol atribut menggunakan informasi lulus-gagal untuk pembuatan grafik dan grafik p hanyalah grafik tunggal yang melacak proporsi item yang tidak sesuai di setiap

sampel. Dengan menggunakan Distribusi Binomial untuk menetapkan batas kendali atas dan bawah dari grafik p

$$UCL_{pc} = \mu_b + 3 \sigma_k \dots\dots\dots 10.1$$

Dan

$$LCL_{pc} = \mu_b - 3 \sigma_k \dots\dots\dots 10.2$$

Dimana:

UCL_{pc} = batas kendali atas p-chart

LCL_{pc} = batas kendali bawah p-chart

$$\mu_b = \text{Mean Distribusi Binomial} = \frac{n}{m\alpha}$$

σ_k = simpangan baku distribusi

n = Jumlah sampel

m = ukuran sampel

α = Jumlah total cacat (kegagalan, dll) dalam klasifikasi

$$\text{Standar Deviasi} = [\mu_b (1 - \mu_b/m)]^{1/2} \dots\dots\dots 10.3$$

Contoh:

Asumsikan enam sampel diambil dari jalur produksi perusahaan yang memproduksi komponen listrik tertentu. Setiap sampel berisi 50 bagian. Setelah dilakukan pemeriksaan yang cermat, disimpulkan bahwa sampel 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 masing-masing mengandung 2, 4, 10, 6, 5, dan 8 bagian yang rusak. Buatlah diagram p untuk bagian-bagian listrik.

Dengan mensubstitusikan nilai-nilai yang ditentukan ke dalam Persamaan (10.3), kita peroleh:

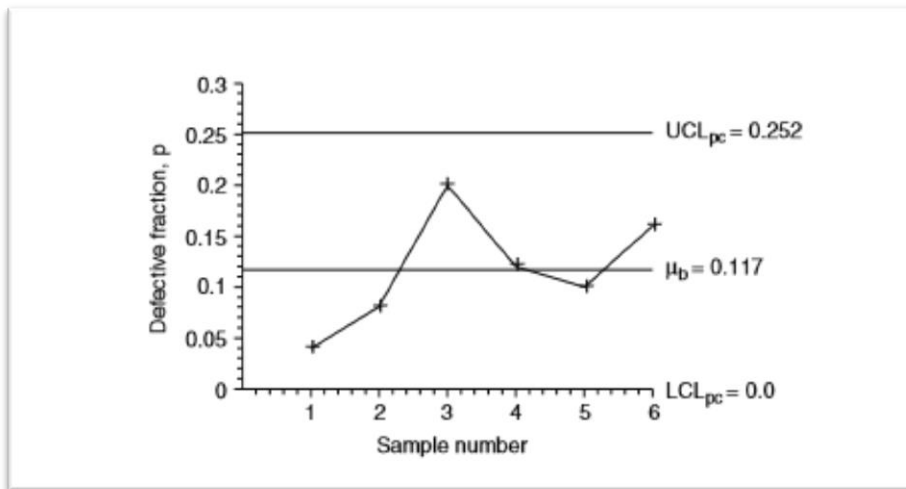
$$\mu_b = \frac{n}{m \cdot \infty} \dots\dots\dots 10.4$$

$$\mu_b = \frac{2+4+10+6+5+8}{(50)(6)} = 0,117$$

Menggunakan nilai perhitungan di atas dan nilai data lain yang diberikan dalam Persamaan (10.4) menghasilkan hasil

$$\sigma_b = [\mu_b(1 - \mu_b)/m]^{1/2}$$

$$\sigma_b = [0,117(1 - 0,117)/50]^{1/2} \\ = 0,045$$



Gambar 10. 2. p-chart untuk komponen listrik.

Fraksi cacat p dalam sampel 1 diberikan oleh

$$p = \frac{2}{50} = 0,04$$

Demikian pula, fraksi bagian cacat pada sampel 2, 3, 4, 5, dan 6 masing-masing adalah 0,08, 0,2, 0,12, 0,1, dan 0,16. Dengan menggunakan nilai μ_b dan σ_b yang dihitung di atas pada Persamaan (10.1) dan Persamaan (10.2), kita peroleh

Dan

$$UCL_{pc} = 0,117 + 3 (0,045) = 0,252$$

dan

$$LCL_{pc} = 0,117 - 3 (0,045) = 0$$

Gambar 10.2 menunjukkan diagram p untuk nilai perhitungan di atas. Tanda silang pada gambar menunjukkan fraksi bagian yang cacat dalam setiap sampel. Karena seluruh fraksi sampel berada dalam batas kendali atas dan bawah, berarti tidak ada kelainan pada proses produksi

10.2.2 Grafik-R

Bagan ini dikenal sebagai bagan kendali untuk rentang karena menggambarkan variasi dalam rentang sampel. Alasan utama penggunaan rentang dibandingkan deviasi standar adalah karena rentang tersebut lebih mudah dihitung oleh individu, khususnya di pabrik. Meskipun demikian, kisaran sampel ditentukan oleh selisih antara nilai observasi tertinggi dan terendah dalam sampel. Rentang sampel diplot pada diagram R. Batas kendali atas dan bawah untuk R-chart dinyatakan dengan rumus di bawah ini,

$$UCL_R = \left[1 + \frac{3d_3}{d_2}\right] \cdot \bar{R} \quad \dots\dots\dots 10.5$$

$$LCL_R = \left[1 - \frac{3d_3}{d_2}\right] \cdot \bar{R} \quad \dots\dots\dots 10.6$$

Dimana:

$\bar{R}$ = nilai rata-rata rentang sampel

UCLR = batas kendali atas R-chart

LCLR = batas kendali bawah R-chart

d_2 dan d_3 = faktor-faktor yang nilainya bergantung pada ukuran sampel n . Hal ini ditabulasikan pada Tabel 10.1 (Nilai faktor-faktor ini dihitung dengan asumsi bahwa distribusi mean sampel adalah normal). Nilai diambil $\left[1 - \frac{3d_3}{d_2}\right] = \text{nol}$ jika sampel berisi kurang dari tujuh observasi

Tabel 10. 1. Nilai untuk Faktor d_2 dan d_3

No.	n (sample size)	d_2	d_3
1	2	1.13	0.85
2	3	1.69	0.89
3	4	2.06	0.88
4	5	2.33	0.86
5	6	2.53	0.85
6	7	2.70	0.83
7	8	2.85	0.82
8	9	2.97	0.81
9	10	3.08	0.80
10	11	3.17	0.79
11	12	3.26	0.78
12	13	3.34	0.77
13	14	3.41	0.76
14	15	3.47	0.76
15	16	3.53	0.75
16	17	3.59	0.74
17	18	3.64	0.74
18	19	3.69	0.73
19	20	3.74	0.73
20	21	3.78	0.72
21	22	3.82	0.72
22	23	3.86	0.72
23	24	3.90	0.71

Tabel 10. 2. Waktu Pengamatan untuk Delapan Sampel Berlabel A hingga H

Observation No.	Sample							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	25	15	30	15	23	15	18	14
2	10	13	14	26	15	7	25	28
3	15	9	25	15	24	10	22	9
4	8	15	15	18	26	15	23	16
5	10	18	12	20	14	8	20	14
6	12	20	10	13	25	14	15	19
7	16	23	18	18	13	11	21	17
8	18	10	16	16	10	9	14	15
9	12	11	21	20	11	13	13	13
10	15	19	11	10	19	16	13	16

Tabel 10. 3. Sampel A-Rentang H

	Samples							
	A	B	C	D	E	F	G	H
sample range	17	14	20	16	16	9	12	19

Contoh 10.2

Suatu tugas dilakukan secara berulang-ulang pada jalur perakitan komponen mekanis. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan tugas dikumpulkan secara acak delapan kali selama periode waktu tertentu. Setiap kali tugas diamati sepuluh kali. Tabel 10.2 menyajikan waktu pengamatan pada delapan kesempatan berbeda. Kembangkan diagram R. Kisaran untuk Sampel A pada Tabel 10.2 adalah

$$\begin{aligned} &= (\text{Nilai tertinggi dalam sampel}) - (\text{Nilai terendah dalam sampel}) \\ &= 25 - 8 = 17 \end{aligned}$$

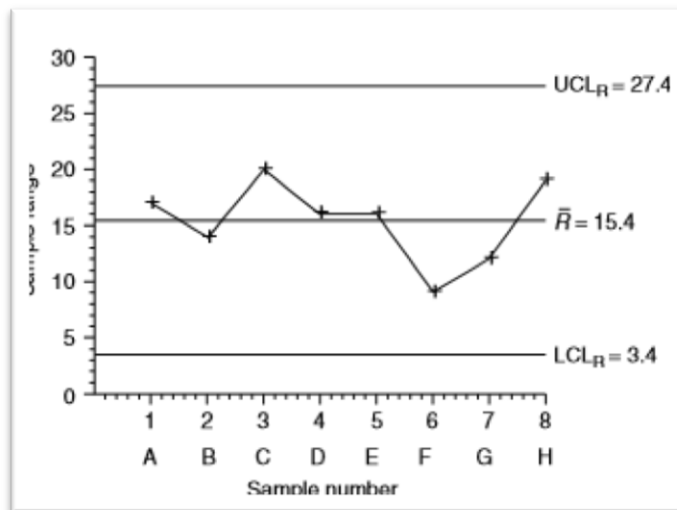
Demikian pula, rentang untuk sampel lain dapat diperoleh. Tabel 10.3 menyajikan rentang sampel A-H.

Rata-rata rentang $\bar{R}$ Tabel 10.3 adalah

$$\bar{R} = 15,4$$

Untuk ukuran sampel n sama dengan sepuluh, dari Tabel 10.1 kita peroleh

$$d_2 = 3,08$$



Gambar 10. 3. Grafik R

$$d_3 = 0,80$$

Dengan mensubstitusi ketiga nilai di atas ke dalam Persamaan (10.5) dan Persamaan (10.6) kita peroleh

$$UCL_R = \left[1 + \frac{3,0,80}{3,08} \right] \cdot (15,04) = 27,4$$

$$LCL_R = \left[1 - \frac{3,0,80}{3,08} \right] \cdot 15,4 = 3,4$$

Untuk $UCL_R = 27.4$, $LCL_R = 3.4$, $\bar{R} = 15.4$, dan nilai Tabel 10.3 R-chart ditunjukkan pada Gambar 10.3. Pada gambar seluruh nilai Tabel 10.3 berada dalam batas kendali yang berarti tidak ada kelainan apapun.

10.2.3 Grafik- $\bar{X}$

Bagan ini termasuk dalam kelompok bagan kendali untuk variabel dan juga dikenal sebagai bagan kendali untuk rata-rata. Mereka digunakan untuk menunjukkan variasi nilai rata-rata proses. Rata-rata sampel diplot pada

grafik. Distribusi rata-rata sampel menjadi mendekati normal ketika ukuran setiap sampel berjumlah empat atau lebih [8]. Rata-rata mean sampel dinyatakan dengan

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m} \quad 10.7$$

dimana m adalah jumlah sampel dan $\bar{x}_i$ merupakan mean sampel i, untuk i = 1, 2, ..., m. Batas kendali atas dan bawah untuk grafik $\bar{X}$ diberikan oleh

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + 3 s \quad 10.8$$

Dan

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - 3 s \quad 10.9$$

dimana :

$UCL_{\bar{x}}$ = batas kendali atas grafik $\bar{X}$

$LCL_{\bar{x}}$ = batas kendali bawah grafik $\bar{X}$

s = standar deviasi rata-rata sampel

Dalam prakteknya, untuk menyederhanakan perhitungan, $UCL_{\bar{x}}$ dan $LCL_{\bar{x}}$ didefinisikan sebagai berikut [7]:

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + W\bar{R} \quad 10.10$$

Dan

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - W\bar{R} \quad 10.11$$

Dimana

$$W = \frac{3}{n^{1/2} d_2} \dots\dots\dots 10.12$$

dimana n adalah ukuran sampel.

Contoh 10.3

Dengan menggunakan data Contoh 10.2, kembangkan grafiknya. Rata-rata rentang sampel data Contoh 10.2 adalah $\bar{R} = 15,4$

Tabel 10. 4. Nilai Rata-rata Sampel A-H

	Samples							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Sample mean	14.1	15.3	17.2	17.1	18	11.8	18.4	16.1

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Dengan menggunakan data Tabel 10.2, rata-rata sampel A-H ditabulasikan pada Tabel 10.4. Dengan mensubstitusi nilai Tabel 10.4 ke dalam Persamaan (10.7), diperoleh hasil

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m} = 0,31$$

Menggunakan data yang ditentukan pada Tabel 10.1 dan kemudian gambar yang dihasilkan dan data yang ditentukan dalam Persamaan (10.12) menghasilkan

$$W = \frac{3}{10^{1/2} (3,08)} = 0,31$$

Dengan memasukkan ketiga nilai hitung di atas ke dalam Persamaan (10.10) dan Persamaan (10.11), kita peroleh

$$UCL_{xb} = 16 + 0,31. 15,4 = 20,77$$

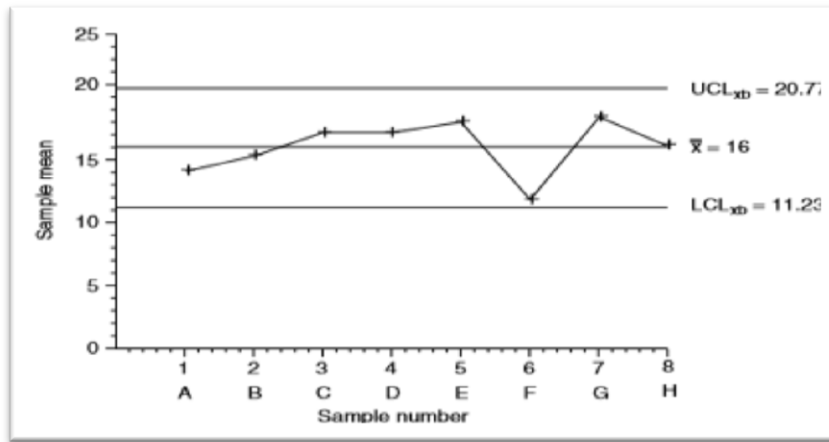
$$LCL_{xb} = 16 - 0,31. 15,4 = 11,23$$

Dengan menggunakan data Tabel 10.4 dan nilai perhitungan di atas, grafik $\bar{X}$ yang ditunjukkan pada Gambar 10.4 dikembangkan. Grafik menunjukkan bahwa seluruh nilai data Tabel 10.4 berada dalam batas kendali atas dan bawah. Artinya tidak ada kelainan apapun.

10.2.4. Grafik-C

Dari waktu ke waktu, bagan ini juga disebut sebagai bagan kendali untuk cacat per unit. C-chart digunakan jika ukuran subgroup adalah m unit yang diperiksa seperti pesawat terbang, kano, dan rim kertas. Lebih khusus lagi, grafik ini digunakan untuk mengontrol terjadinya jumlah total cacat per unit ketika ukuran subkelompok tidak bervariasi atau tetap konstan. Secara umum, dapat ditambahkan bahwa c-chart digunakan ketika kemungkinan terjadinya cacat pada suatu item tinggi. Matematika c-chart didasarkan pada distribusi Poisson. Jadi, mean distribusi Poisson dalam bentuk c-chart diberikan oleh

$$\bar{C} = \frac{TNF}{TNI} \quad 10.13$$



Gambar 10. 4. Grafik -x

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

dimana TNF adalah jumlah cacat dan TNI adalah jumlah barang. Jadi, simpangan baku dinyatakan dengan

$$\sigma_p = \sqrt{\bar{c}} \quad 10.14$$

dimana σ_p adalah simpangan baku dari distribusi Poisson. Batas kendali atas dan bawah dari c-chart dinyatakan dengan [5]

$$UCL_c = \bar{c} + 3 \sigma_p \quad 10.15$$

Dan

$$LCL_c = \bar{c} - 3 \sigma_p \quad 10.16$$

dimana UCL_c adalah batas kendali atas dari c-chart dan LCL_c adalah batas kendali bawah dari c-chart.

Contoh 10.4.

Sebanyak 12 pompa diperiksa apakah ada kerusakan. Pompa 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, dan 12 berisi 15, 10, 7, 13, 10, 12, 18, 8, 10, 6, 11, dan 12 cacat, masing-masing. Kembangkan diagram c. Jumlah total pompa = 12

Jumlah gabungan kerusakan seluruh pompa diberikan oleh

$$\begin{aligned} &= 12+10+7+ 13+ 10+12+ 18+8+10 +6+11+12 \\ &= 132 \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusi dua nilai di atas ke dalam Persamaan (10.13), diperoleh hasil

$$\bar{C} = \frac{TNF}{TNI} = \frac{132}{12} = 11 \text{ Cacat/pump}$$

Dengan menggunakan nilai di atas pada Persamaan (10.14), kita peroleh

$$\sigma_p = \sqrt{\bar{C}} = \sqrt{11} = 3,32$$

Memasukkan nilai perhitungan di atas ke dalam Persamaan (10.15) dan Persamaan (10.16) kita peroleh

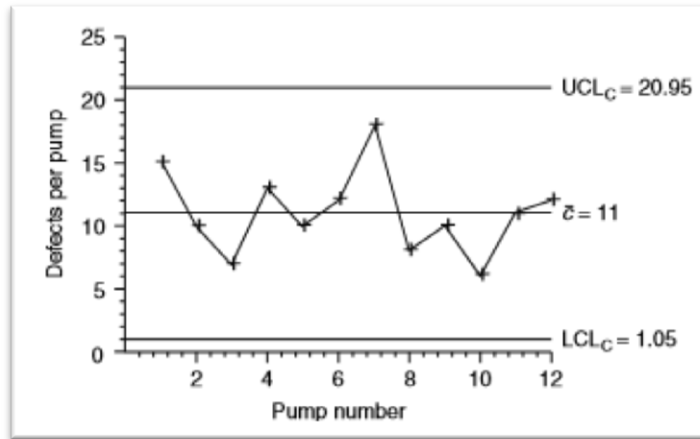
$$UCL_c = 11 + 3 \cdot 3,32 = 20,95$$

Dan

$$LCL_c = 11 - 3 \cdot 3,32 = 1,05$$

Dan

Dengan menggunakan hasil di atas dan data yang ditentukan, grafik c Gambar 10.5 dikembangkan. Bagan tersebut menggambarkan bahwa semua nilai data yang ditentukan pada Contoh 10.4 berada dalam batas kendali atas dan bawah. Artinya tidak ada kelainan.



Gambar 10.5. Grafik-c
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

- **Uji Hipotesis:** Untuk menguji perbedaan antara dua kelompok atau perbandingan kondisi sebelum dan sesudah perbaikan kualitas.
- **Analisis Varians (ANOVA):** Digunakan untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara beberapa grup atau kondisi.

10.3 Pareto Analysis

Metode ini menggunakan Prinsip Pareto (80/20) untuk mengidentifikasi masalah kualitas utama yang memiliki dampak terbesar. Dalam konteks kualitas, ini berarti 80% masalah biasanya disebabkan oleh 20% penyebab utama.

Dengan menggunakan analisis Pareto, organisasi dapat memfokuskan upaya perbaikan pada area yang paling berdampak.

Diagram ini secara sederhana dapat digambarkan sebagai diagram batang sederhana yang memberi peringkat pada tindakan/masalah terkait dalam mengurangi frekuensi kejadian. Nama diagram ini diambil dari Vilfredo Pareto (1848–1923), seorang ekonom dan sosiolog Italia, yang melakukan penelitian tentang penyebaran kekayaan dan kemiskinan di Eropa pada awal tahun 1900-an. Ia terkejut saat mengetahui bahwa kekayaan terkonsentrasi di tangan sekitar 20% masyarakat dan kemiskinan di tangan sekitar 80% individu.

Temuannya bisa disebut sebagai Hukum “yang signifikan vs. yang banyak yang sepele.” Lebih khusus lagi, beberapa hal penting biasanya mencakup sekitar 80% dari keseluruhan dan hal-hal sepele sekitar 20%. Dengan demikian, tujuan diagram Pareto adalah untuk menyorot aspek-aspek penting dari suatu permasalahan tertentu dari aspek-aspek sepele. Hal ini, pada gilirannya, membantu pengambil keputusan untuk mengarahkan upaya perbaikan.

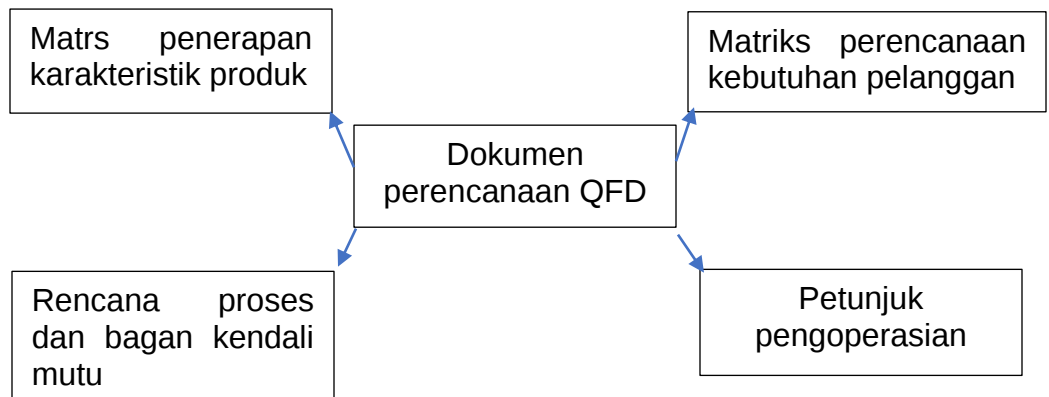
Dalam pekerjaan pengendalian kualitas, prinsip Pareto diperkenalkan oleh Juran. Dia sangat yakin bahwa selalu ada beberapa jenis cacat dalam pembuatan perangkat keras yang memiliki frekuensi dan tingkat keparahan yang besar.

Lebih khusus lagi, sekitar 80% kerusakan disebabkan oleh sekitar 20% masalah. Diagram Pareto dapat dibuat dengan mengikuti langkah-langkah di bawah ini:

- Menentukan pendekatan dalam mengklasifikasikan data (yaitu berdasarkan penyebab, jenis ketidaksesuaian, masalah, dll.).
- Putuskan apa yang akan digunakan untuk menentukan peringkat karakteristik (misalnya dolar atau frekuensi).
- Dapatkan semua data yang diperlukan (yaitu, untuk interval waktu yang sesuai).
- Ringkaslah data: Urutkan klasifikasi dari yang terbesar hingga yang terkecil, hitung persentase kumulatifnya, jika perlu, buatlah diagram Pareto dan tentukan beberapa yang penting.

10.4 Quality Function Deployment (QFD)

QFD adalah metode yang digunakan untuk mentransformasikan kebutuhan dan harapan pelanggan menjadi spesifikasi teknis produk atau layanan. QFD menggunakan **House of Quality**, yang merupakan matriks untuk menghubungkan kebutuhan pelanggan dengan fitur teknis yang relevan. QFD Ini adalah pendekatan efektif yang digunakan untuk mengoptimalkan proses pengembangan dan pembuatan produk baru sesuai dengan kebutuhan pelanggan. QFD dikembangkan di Jepang pada akhir tahun 1960 an oleh dua Profesor, Mizuno dan Akao. Ini pertama kali diperkenalkan ke AS dan Eropa pada tahun 1983.



Gambar 10. 5. Dokumen perencanaan penerapan fungsi kualitas yang penting (QFD).

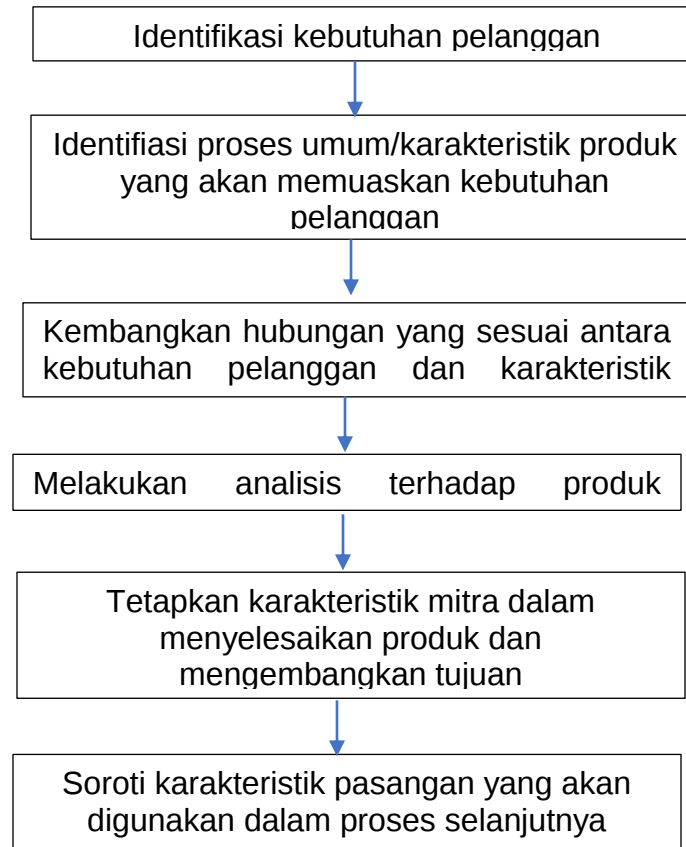
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Dalam konteks yang lebih luas, QFD secara sederhana dapat digambarkan sebagai proses formal yang digunakan untuk menerjemahkan kebutuhan pelanggan ke dalam serangkaian persyaratan teknis. Metode ini menggunakan sekumpulan matriks untuk menghubungkan kebutuhan pelanggan dengan karakteristik mitra yang dinyatakan sebagai spesifikasi teknis dan persyaratan pengendalian proses. Dokumen perencanaan QFD yang penting ditunjukkan pada Gambar 10.6. Rencana proses dan bagan kendali mutu mengidentifikasi proses utama dan parameter produk serta titik kendali. Matriks perencanaan kebutuhan pelanggan menerjemahkan kebutuhan konsumen ke dalam karakteristik produk. Matriks penerapan karakteristik produk menerjemahkan karakteristik produk akhir menjadi karakteristik komponen penting. Petunjuk pengoperasian mengidentifikasi operasi yang harus diselesaikan dengan sukses untuk mencapai parameter kritis. Seringkali matriks QFD disebut “Rumah Kualitas” karena kemiripannya dengan struktur rumah. Langkah-langkah utama yang diperlukan untuk membangun rumah berkualitas ditunjukkan pada Gambar 10. Keuntungan

utama QFD adalah membantu mendorong organisasi untuk fokus pada proses itu sendiri daripada berfokus pada layanan atau produk. Akibatnya, hal ini mengurangi perubahan desain teknik dan biaya awal serta meningkatkan kepuasan pelanggan. Keterbatasan utama QFD adalah persyaratan pastinya harus diidentifikasi secara lengkap dan rinci.

10.5 Scatter atau Plot Diagram Sebaran (Scatter)

Scatter plot adalah grafik yang digunakan untuk melihat hubungan antara dua variabel. Dalam analisis kualitas, scatter plot dapat membantu mengidentifikasi korelasi antara faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas produk atau proses. Diagram sebar adalah alat yang berguna untuk mempelajari hubungan antara dua variabel. Satu variabel diplot pada sumbu vertikal dan variabel lainnya diplot pada sumbu horizontal. Meskipun diagram sebar tidak dapat membuktikan bahwa satu variabel menyebabkan hal tersebut.



Gambar 10. 6. Langkah-langkah membangun rumah berkualitas

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

lainnya, mereka menunjukkan adanya suatu hubungan dan kekuatannya. Diagram sebar bisa sangat berguna baik dalam pengendalian kualitas maupun pemecahan masalah karena diagram tersebut menampilkan apa yang terjadi pada satu variabel ketika variabel lain diubah. Kemiringan diagram menunjukkan jenis hubungan antar variabel. Biasanya, diagram sebar menunjukkan satu dari enam kemungkinan korelasi antar variabel. Korelasi tersebut adalah: korelasi positif kuat (yaitu, nilai variabel Y jelas

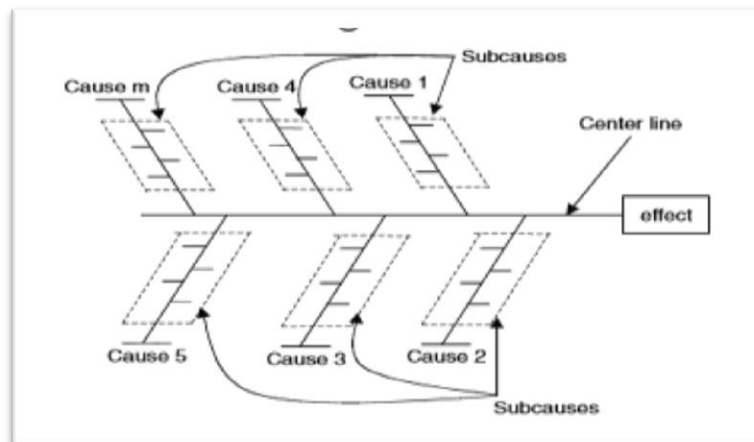
meningkat seiring dengan peningkatan nilai variabel X), korelasi positif lemah (yaitu, nilai variabel Y sedikit meningkat seiring dengan peningkatan nilai variabel X), korelasi negatif yang kuat (yaitu, nilai variabel Y jelas menurun seiring dengan meningkatnya nilai variabel X), korelasi negatif lemah (yaitu, nilai variabel Y sedikit menurun seiring dengan meningkatnya nilai variabel X), korelasi kompleks (yaitu, nilai variabel Y tampaknya berkaitan dengan nilai variabel X, namun hubungannya tidak mudah ditentukan), dan tidak ada korelasi apa pun (yaitu, tidak ada hubungan yang ditunjukkan antara variabel X dan Y). Empat langkah berikut terlibat dalam konstruksi diagram sebar:

- Kumpulkan dua bagian data (sepasang angka) pada suatu proses, produk, atau item lain yang sedang dipertimbangkan dan kembangkan tabel ringkasan data.
- Buatlah diagram yang memberi label pada sumbu vertikal dan horizontal.
- Plot pasangan data pada diagram dengan menempatkan, katakanlah sebuah tanda silang, pada perpotongan koordinat variabel X dan Y untuk setiap pasangan data.
- Membuat interpretasi diagram pencar akhir untuk mengetahui arah dan kekuatannya.

10.6 Diagram Sebab Akibat

Diagram ini dikembangkan oleh seorang Jepang bernama Kaoru Ishikawa pada tahun 1943 dan pada dasarnya adalah gambar yang terdiri dari simbol dan garis yang dirancang untuk menunjukkan hubungan yang bermakna antara suatu efek dan penyebab yang terkait. Diagram ini juga dikenal sebagai diagram Ishikawa (yaitu, sesuai dengan nama penciptanya)

atau diagram “tulang ikan” karena kemiripannya yang mencolok dengan kerangka ikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.8. Persegi panjang (yaitu, efek) di sisi kanan pada gambar menunjukkan “Kepala Ikan” dan sisi kiri persegi panjang menunjukkan semua kemungkinan penyebab efek yang terhubung ke garis tengah yang disebut “Tulang Belakang Ikan.” Dari sudut pandang kualitas, pada Gambar 10.8, efeknya adalah karakteristik kualitas yang membutuhkan perbaikan dan penyebab 1, 2, 3, 4, 5, dan m menunjukkan penyebab utama metode kerja, orang, bahan, pengukuran, peralatan, dan lingkungan, masing-masing. Masing-masing penyebab utama ini terdiri dari banyak penyebab kecil yang diidentifikasi sebagai sub-penyebab pada Gambar 10.8. Pengalaman masa lalu menunjukkan bahwa diagram sebab-akibat merupakan metode yang sangat berguna untuk menentukan akar penyebab suatu masalah dan menghasilkan ide-ide yang relevan. Terdapat peluang tak terbatas untuk penerapan metode ini.



Gambar 10. 7. Diagram Sebab Akibat

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Metode di berbagai bidang seperti penelitian, manufaktur, operasi kantor, dan pemasaran. Secara umum, langkah-langkah yang tercantum di bawah ini diikuti dalam mengembangkan diagram sebab-akibat:

Lakukan brainstorming secara sistematis untuk mengidentifikasi semua kemungkinan penyebab.

- Mengembangkan kategori penyebab utama dengan membuat stratifikasi ke dalam pengelompokan alami dan langkah-langkah proses.
- Gambarkan diagram dengan menghubungkan sebab-sebabnya dengan mengikuti langkah-langkah proses secara
- cermat dan isikan akibat atau masalahnya pada kotak di sisi paling kanan diagram.
- Sempurnakan kategori penyebab dengan mengajukan pertanyaan seperti mengapa kondisi ini terjadi? Dan apa penyebabnya?

Secara keseluruhan, beberapa manfaat penting dari diagram sebab-akibat adalah alat yang berguna untuk mengidentifikasi akar permasalahan, metode yang efektif untuk menghasilkan ide, dan pendekatan yang sangat berguna untuk menyajikan susunan teori yang teratur.

10.7 Hoshin Kanri

Metode ini dikembangkan di Jepang dan secara sederhana dapat digambarkan sebagai pendekatan sistem terhadap pengelolaan perubahan dalam proses bisnis penting dengan menggunakan proses perencanaan, implementasi, dan peninjauan yang sistematis. Hoshin dan Kanri adalah dua kata dalam bahasa Jepang. Kata Hoshin dapat dibagi menjadi dua bagian: ho

(berarti arah) dan shin (berarti jarum). Demikian pula kata Kanri juga dapat dibagi menjadi dua bagian: kan (berarti kendali atau penyaluran) dan ri (berarti akal atau logika). Oleh karena itu, kedua kata tersebut jika digabungkan pada dasarnya berarti pengelolaan dan pengendalian arah atau fokus perusahaan. Hoshin Kanri digunakan secara luas di Jepang pada pertengahan tahun 1970an dan mulai merambah ke AS pada awal tahun 1980 an. Faktor-faktor seperti yang tercantum di bawah ini berkaitan dengan Hoshin Kanri.

- Identifikasi tujuan yang terukur.
- Penetapan tujuan organisasi jangka panjang dan pendek.
- Identifikasi proses-proses utama dalam mencapai tujuan atau sasaran di atas.
- Bimbingan anggota tim untuk mencapai konsensus mengenai indikator kinerja terkait pada tahapan proses.
- Menantang setiap tingkat proses untuk memaksa perusahaan atau organisasi melakukan perubahan yang sesuai terhadap budaya mutunya.
- Menggunakan tujuan perusahaan atau organisasi sebagai tujuan terukur untuk membuat seluruh karyawan yang terlibat me

10.8 Desain Eksperimen (DOE)

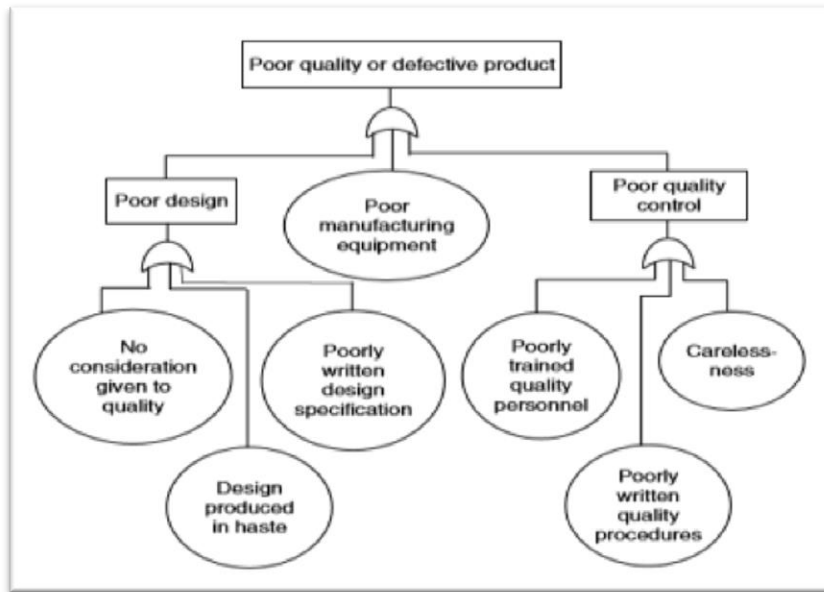
Ini hanyalah sebuah strategi penelitian perencanaan yang pertama kali diperkenalkan oleh seorang ilmuwan pertanian, Ronald Fisher, di Inggris pada awal tahun 1920 an [18]. Dia mengembangkannya untuk menunjukkan betapa validnya eksperimen dapat dilakukan dengan adanya banyak kondisi yang berfluktuasi seperti curah hujan, suhu, dan kondisi tanah. Sejak tahun

1940an, DOE telah berhasil diterapkan dalam aplikasi industri dan militer. Saat ini, pendekatan ini banyak digunakan oleh perusahaan untuk memecahkan masalah serius yang menimpa operasi mereka karena pendekatan ini memberikan informasi mengenai interaksi faktor-faktor dan cara keseluruhan sistem berfungsi serta menunjukkan bagaimana faktor-faktor yang saling berhubungan merespons dalam rentang nilai yang luas tanpa menguji semuanya. nilai yang mungkin secara langsung. Meskipun demikian, tujuan DOE adalah untuk menentukan variabel produk atau proses penting dan nilai targetnya. Ada tiga pendekatan berikut untuk DOE:

- Klasik. Hal ini didasarkan pada karya Ronald Fisher di bidang pertanian.
- Shainin. Ini dikembangkan oleh Dorian Shainin dan menggunakan berbagai metode pemecahan masalah setelah produk dimasukkan ke dalam produksi.
- Taguchi. Ini dikembangkan oleh Genichi Taguchi dan pada dasarnya merupakan pendekatan klasik yang disederhanakan dengan tambahan konsep desain teknik.

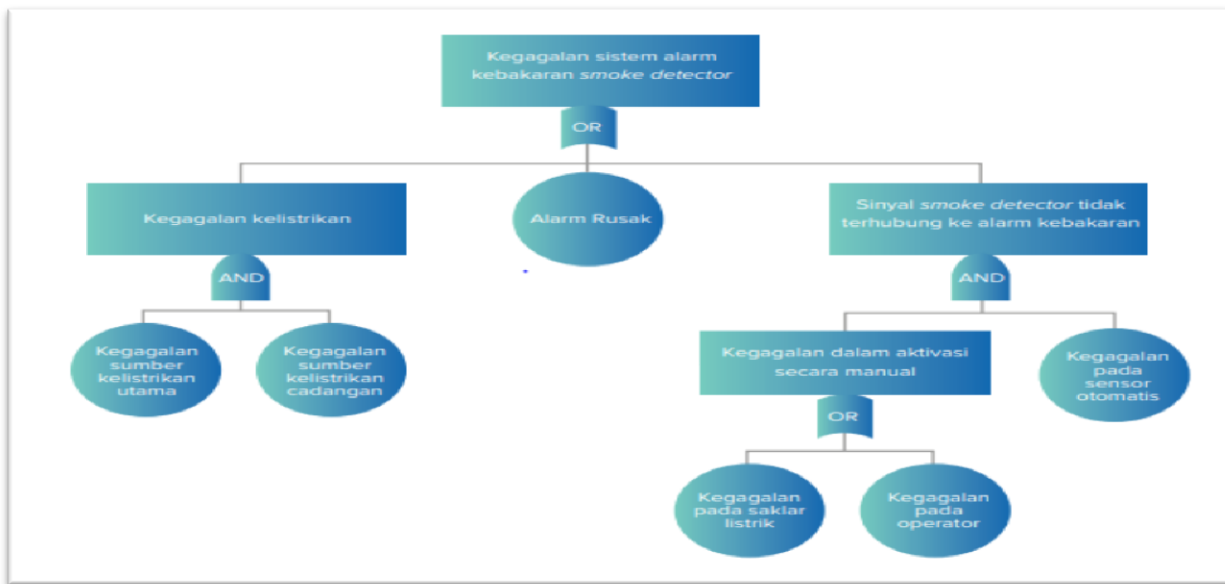
Secara keseluruhan, disarankan agar para praktisi terlebih dahulu memahami ketiga pendekatan ini dan kemudian merumuskan metodologi mereka sendiri. Metode DOE dijelaskan secara rinci dalam Pustaka.

10.9 Analisis Pohon Kesalahan (FTA)



Gambar 10. 8. Diagram Pohon Kesalahan

Sebuah ilustrasi pohon kesalahan di mana dalam ilustrasi ini didapatkan visualisasi dari sebuah peristiwa risiko yang menggambarkan hubungan logis antara peristiwa risiko utama dengan penyebab-penyebabnya yang dapat memicu peristiwa risiko utama tersebut terjadi. FTA membantu pembacanya untuk memahami dengan cepat sebuah peristiwa risiko agar dapat membuat keputusan yang tepat dalam penanganan suatu peristiwa risiko. Berikut ini adalah contoh analisis pohon kesalahan:



Maka metode analisis pohon kesalahan kualitas bertujuan memahami berbagai faktor yang memengaruhi kualitas, mengidentifikasi potensi perbaikan, dan mengimplementasikan solusi yang efektif. Sehingga Penggunaan metode-metode ini sangat bergantung pada konteks dan jenis industri atau organisasi yang bersangkutan, serta tujuan kualitas yang ingin dicapai.

10.10. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

FMEA adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu sistem atau proses dan menganalisis dampaknya. Tujuan dari FMEA adalah untuk mengurangi risiko kegagalan dengan memberikan prioritas pada masalah yang paling kritis berdasarkan tingkat keparahan, kemungkinan terjadinya, dan kemampuan deteksi.

Metode ini awalnya dikembangkan di bidang keandalan dan juga dapat digunakan untuk melakukan analisis kualitas. Metode ini dijelaskan secara rinci dalam Bab 6. Tujuh langkah dasar berikut terkait dengan metode ini.

- Mendefinisikan sistem yang sedang dipertimbangkan dan persyaratan terkait.
- Menetapkan peraturan dasar.
- Jelaskan sistem dan perangkat keras yang terkait.
- Jelaskan blok fungsional sistem.
- Mengidentifikasi mode kegagalan dan dampaknya.
- Kumpulkan daftar hal-hal penting dengan mengkaji analisis di atas.
- Dokumentasikan analisis dan ambil tindakan perbaikan yang tepat.

BAB 11

KUALITAS MANAJEMEN DAN BIAYA

11.1. Pendahuluan

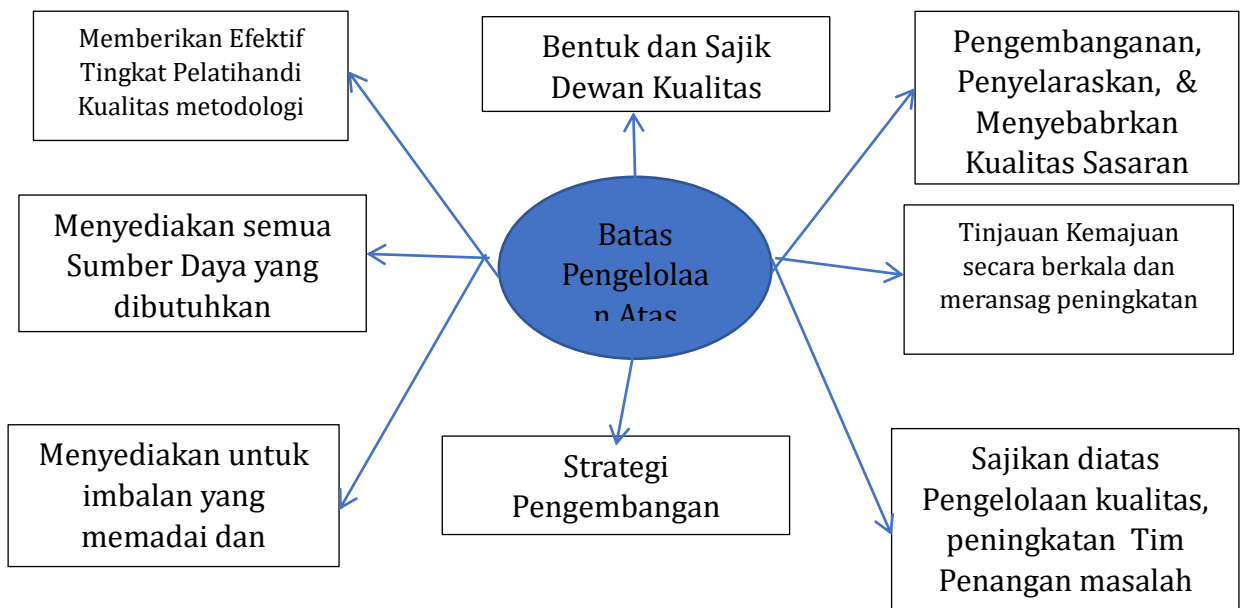
Manajemen memainkan peran penting dalam kinerja efektif aktivitas terkait kualitas dalam suatu organisasi, organisasi berkualitas yang dikelola dengan baik dapat bermanfaat dalam banyak . Komunikasi yang lebih baik, berkurangnya konflik tanggung jawab dan aktivitas, kepuasan pelanggan yang lebih baik, dan biaya yang lebih rendah. Sederhananya, organisasi berkualitas yang dikelola dengan baik sangat penting dalam menghasilkan barang berkualitas yang dapat diterima dengan harga yang kompetitif. Jika tidak, dalam ekonomi global saat ini, perusahaan dengan fungsi kualitas yang dikelola dengan buruk mungkin tidak akan bertahan lama.

Biaya kualitas memainkan peran penting dalam pengambilan keputusan manajemen. Dalam hal bisnis, biaya kualitas menyediakan penyebut umum ekonomi yang memungkinkan individu yang terlibat dalam manajemen dan kualitas dapat berinteraksi secara efektif. Demikian pula, dalam hal moneter, biaya kualitas sangat berguna dalam mengukur efektivitas departemen kualitas, perencanaan kualitas, dan sebagainya. Selain itu, biaya kualitas dapat menjadi faktor kunci dalam kelangsungan hidup perusahaan. Misalnya, pada tahun fiskal 1977 untuk Firestone, biaya penggantian 7,5 juta ban berkualitas buruk dalam kasus penarikan kembali adalah sekitar \$135 juta setelah pajak, yaitu lebih besar dari pendapatan

bersih perusahaan untuk tahun tersebut. Manajemen mutu dan penetapan biaya: dua aspek penting dalam pengelolaan organisasi atau proyek, yang saling terkait untuk mencapai efisiensi dan keberhasilan jangka panjang. Berikut adalah penjelasan mengenai keduanya:

11.2 Peran Manajemen Tingkat Atas dan Menengah yang Berkaitan dengan Kualitas

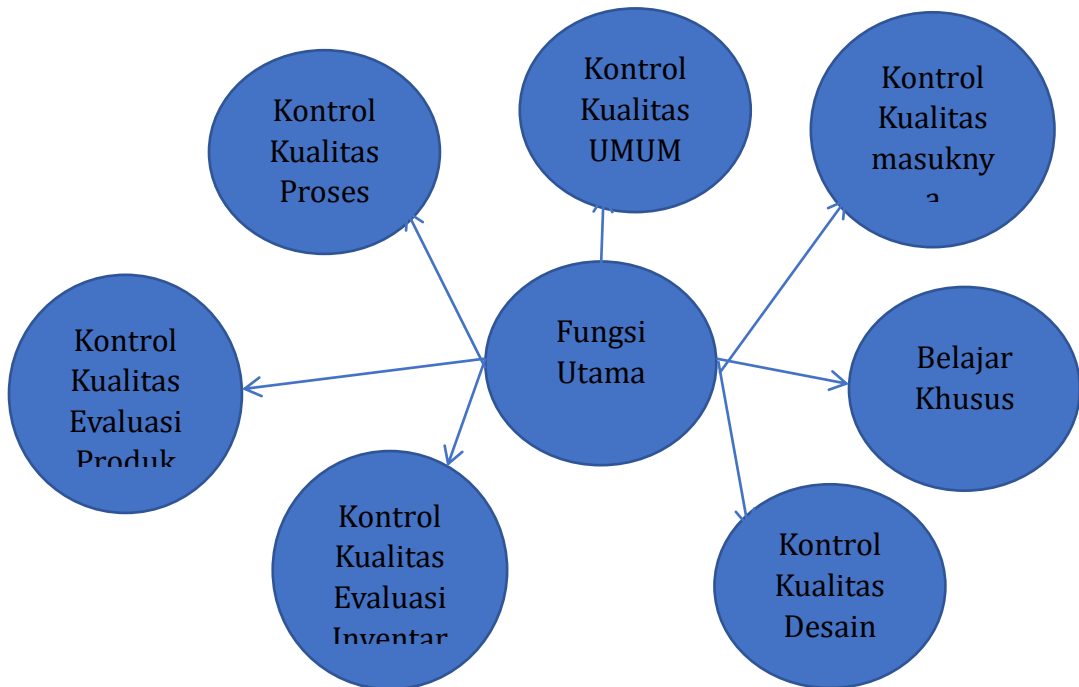
Manajemen tingkat Atas: Manajer, supervisor, spesialis profesional, dan tenaga kerja. Manajemen Tingkat menengah: Supervisor, spesialis, melayani gugus tugas membantu dewan mutu dalam pengembangan elemen strategi mutu, anggota, pemimpin berbagai jenis tim kualitas. Mengidentifikasi pemasok dan pelanggan dan memimpin kegiatan kualitas.



Gambar 11. 1. Peran Penting Manajemen Tingkat Atas yang terkait dengan kualitas.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

11.3 Fungsi Rekayasa Pengendalian Mutu dan Tanggung Jawab Terkait Kualitas Diantara Berbagai Kelompok Organisasi.



Gambar 11. 2. Fungsi Utama Teknik Kendali

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Rekayasa pengendalian mutu melakukan banyak fungsi. Fungsi-fungsi tersebut dapat dikelompokkan dalam tujuh kategori berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.2. Kategori-kategori tersebut adalah pengendalian mutu proses, pengendalian mutu desain, pengendalian mutu evaluasi produk, pengendalian mutu evaluasi persediaan, studi khusus, pengendalian mutu bahan baku, dan pengendalian mutu umum. Terdapat banyak bidang tanggung jawab terkait mutu dan terdapat banyak kelompok organisasi yang bertanggung jawab atas bidang-bidang tersebut. Sebagian

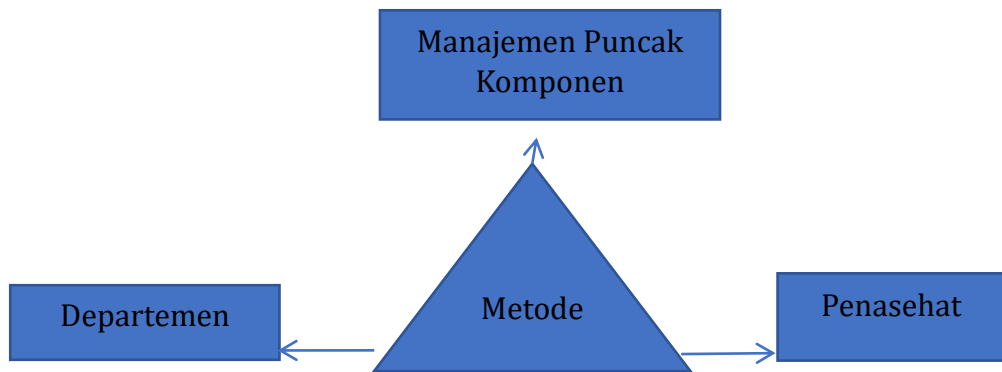
besar bidang tanggung jawab ini (beserta kelompok organisasi yang bertanggung jawab), adalah untuk menentukan kebutuhan pelanggan (pemasaran), merencanakan sistem mutu (manajemen umum/manajer, pengendalian mutu), menetapkan spesifikasi desain produk (rekayasa), dan memproduksi produk sesuai dengan desain. spesifikasi (operasi toko), mengumpulkan data keluhan (pemasaran), mengembangkan desain proses manufaktur (teknik manufaktur), mengembangkan tingkat kualitas untuk bisnis (manajemen umum/manajer), menganalisis data keluhan (kontrol kualitas), menentukan kemampuan proses (kontrol kualitas), menyusun biaya kualitas (keuangan), mengkualifikasi pemasok berdasarkan kualitas (bahan), menganalisis biaya kualitas (kontrol kualitas), merancang peralatan uji dan inspeksi (kontrol kualitas), inspeksi produk akhir (kontrol kualitas), merencanakan prosedur inspeksi dan pengujian(kontrol kualitas), pengukuran kualitas dalam proses (kontrol kualitas), audit kualitas dalam proses (kontrol kualitas), memberikan umpan balik informasi kualitas (kontrol kualitas), dan mendapatkan tindakan korektif (kontrol kualitas).

11.4 Langkah-langkah Perencanaan Struktur Organisasi Pengendalian Mutu dan Metode. Organisasi Pengendalian Mutu

Selama bertahun-tahun, banyak profesional telah menguraikan berbagai langkah untuk merencanakan struktur organisasi pengendalian mutu. Langkah-langkah berikut dianggap paling bermanfaat untuk mencapai tujuan ini secara efektif:

1. Menentukan tujuan perusahaan/usaha yang menjadi dasar pembentukan organisasi mutu.

2. Mengembangkan tujuan untuk mengimplementasikan tujuan perusahaan.
3. Mengidentifikasi aktivitas kerja dasar untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan.
4. Mengelompokkan aktivitas kerja ke dalam fungsi-fungsi dasar.



Gambar 11. 3. Metode Organisasi Pengendalian Kualitas

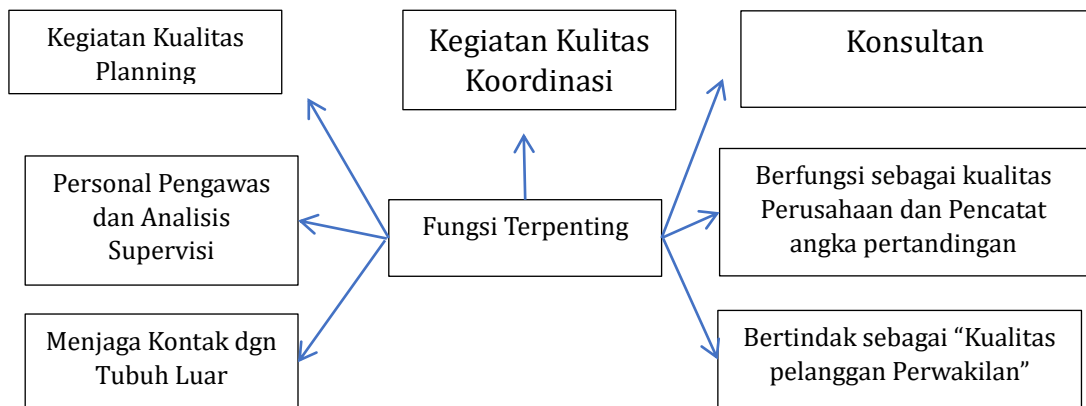
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

11.5 Atribut, Fungsi, dan Alasan Kegagalan Manajer Mutu

Beberapa alasan menyebabkan kegagalan kinerja manajer mutu pekerjaan mereka secara efektif. Sebagai berikut:

1. Kegagalan berkomunikasi secara efektif dengan individu yang tepat
2. Mengabaikan untuk menekankan kesesuaian untuk digunakan, malah menekankan kesesuaian dengan spesifikasi
3. Memberikan penekanan pada permasalahan yang sudah ada solusi yang memuaskan

4. Kegagalan dalam mendiagnosis masalah terlebih dahulu, malah menenkan hal yang khusus keterampilan sebagai solusi atas segala permasalahan
5. Kegagalan untuk mendapatkan masukan yang tepat dari semua hal yang khusus keterampilan sebagai solusi atas segala permasalahan.
6. Kegagalan untuk mendapatkan masukan yang tepat dari semua hal yang di inginkan /penting individu karena berfungsi sebagai penyendiri.



Gambar 11. 4. Fungsi Penting dari Manajer Mutu

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

11.6 Manual Pengendalian Mutu dan Audit Mutu

Manual Pengendalian Mutu: Dokumen yg sangat penting berbagai jenis inf. (organisasi bagan, tanggung jawabkebijakan dan prosedur, prosedur inspeksi, biaya kualitas, pemasaran, tenaga kerja, metodologi statistik, cacat pencegahan, peralatan pengukuran dan prosedur pengendalian kualitas vendor).

Audit Adalah elemen penting dari pengendalian kualitas, ada beberapa pedoman audit yang berguna sbb:

1. Gunakan daftar periksa untuk melakukan audit
2. Pilih orang yang tidak memihak untuk melakukan audit
3. Melakukan audit tanpa memberikan sebelumnya
4. Menjaga jadwal audit
5. Hindari melakukan audit dengan tujuan menangkap seseorang melakukan tugasnya dengan tidak benar
6. Pastikan tidak ada individu yang melakukan audit mutu lebih dari enam bulan sekali
7. Jangan membuat kesepakatan dengan orang lain saat mengaudit
8. Memastikan seluruh hasil audit di catat secara efektif
9. Audit semua shift kerja yang terlibat
10. Mendistribusikan hasil audit kepada seluruh individu yang berkepentingan
11. Ambil semua tindakan tindak lanjut yang diperlukan.

11.7 Pengendalian Mutu Pengadaan

Biasanya produsen produk banyak membeli suku cadang dan bahan dari luar pemasok. Diperusahaan AS > 50 % pendapatannya berasal dari penjualan produk, di habiskan untuk pembelian suku cadang, bahan, perlengkapan lain. Selain itu, kualitas suku cadang dan bahan yang masuk menjadi lebih baik menjadi lebih penting dengan meningkatnya otomatisasi. Tak perlu dikatakan lagi, untuk melakukan nya menghasilkan produk berkualitas baik, kualitas suku cadang dan bahan yang dibeli digunakan harus diawasi dengan baik. Meskipun demikian, beberapa alasan khusus

untuk memiliki jaminan mutu pengadaan adalah untuk menentukan apakah bersifat teknis dan kontraktual, persyaratan di rinci secara memadai dalam permintaan dokumen proposal, untuk membantu pemasok suku cadang/bahan yang dibeli memahami persyaratan yang ditentukan untuk menilai kesesuaian vendor, untuk menilai kinerja vendor, dan untuk menentukan apakah persyaratan tersebut dipenuhi secara efektif.

11.7.1 Pedoman berguna untuk mengontrol Suku Cadang/Bahan Masuk **Beberapa pedoman sebagai berikut:**

1. Mengembangkan hubungan dekat dengan pemasok
2. Mengembangkan prosedur pengukuran kualitas yang kompatibel antara pemasok dan pengguna
3. Menjamin ketersediaan fasilitas penyimpanan yang memuaskan
4. Audit dan survei pemasok suku cadang/bahan
5. Gunakan tabel pengambilan sampel penerimaan
6. Memastikan ketersediaan peralatan penanganan material yang efektif dan layanan
7. Membangun sistem untuk segera membuang barang-barang yang tidak sesuai bahan dan suku cadang
8. Meninjau secara berkala efektivitas pemeriksaan suku cadang yang masuk dan bahan
9. Memastikan peralatan ukur dan alat pengukur yang di gunakan sesuai kualitas pekerjaan tetap dalam kondisi baik
10. Menjamin tersedianya pemeriksaan dan pengujian penerimaan yang memuaskan fasilitas.

11. Gunakan metode statistik untuk menganalisis data material yang masuk
12. Memberikan pelatihan yang memadai kepada pengawas material yang masuk dan bagian
13. Menyediakan pengadaan yang berkualitas dan informasi penting lainnya kepada vendor

11.7.2 Inpeksi Material Masuk

Barang yang dibeli diperiksa lebih dahulu, dengan alasan sbb:

1. Kemungkinan ada cacat dpt menurunkan kualitas, efisiensi manufacturing dan kualitas keluar
2. Pemeriksaan berbagai cara, hingga 100 %/Spesifikasi sesuai
3. Tidak aman bagi pekerja

11.7.3 Rumus Penentuan Akurasi dan Pemborosan Pemeriksaan barang harus Prosedur hingga total out (Semua item yang di terima dan di tolak)

$$PDC = \left[\frac{N - M}{N - M + \theta} \right] (100) \dots\dots\dots 11.1$$

Dimana:

PDC = % Cacat yang yg diidentifikasi dengan benar oleh pemeriksaan reguler.

N = Jumlah barang 151dalah151a di temukan oleh pemeriksaan 151dalah151

M = Jumlah barang tanpa cacat di tolak oleh pemeriksa biasa as di ungkapkan oleh pemeriksa cek.

θ = Jumlah barang 151dalah151a terlewatkan oleh pemeriksaan 151dalah151 as di ungkapkan oleh pemeriksa 151dalah151 cek.

11.7.4 Formula Estimasi Limbah Reguler.

Persentase (%) Barang bagus yg ditolak oleh pemeriksa biasanya di nyatakan dengan,

$$PGIR = \frac{M (100)}{TI (N-M+\theta)} \dots\dots\dots 11.2$$

Dimana:

PGIR : % barang bagus yg di tolak pemeriksa 152 adalah 152 dan

TI : Jumlah item yang di tolak

Contoh;

Asumsikan seorang inspektur biasa memeriksa sejumlah barang tertentu dalam 1 lot dan menemukan 30 cacat. Selanjutnya pemeriksa cek memeriksa 152 adalah 152 semanya item (yaitu, baik dan cacat), dan menemukan empat item tanpa cacat di tolak oleh inspektur 152 adalah 152 dan lima item cacat terlewatkan oleh inspektur 152 adalah 152 inspektur. Hitung % 152 adalah 152 a di temukan dengan benar secara 152 adalah 152 inspektur. Dengan menggunakan data yg di berikan pada Pers diatas. Kita peroleh.

$$PDC = \left[\frac{30 - 4}{30 - 4 + 5} \right] (100) = 83,87 \%$$

Artinya 83,87 % cacat ditemukan dengan benar oleh pemeriksan regular

11.7.5. Formula Penilaian Kualitas Vendor

Peringkat Kualitas vendor di perlukan untuk memastikan kualitas pembelian yang memadai item. Biasanya kinerja vendor diukur dengan mempertimangkan 152 adalah faktor seperti biaya, pengiriman, dan kualitas barang yang dibeli. Seringkali, beban di tugaskan untuk biaya , pengiriman,

dan kualitas masing2 sebesar 40,30 dan 30 % . Meskipun demikian peringkat kualitas vendor di tentukan oleh

$$VQRI = \frac{LAB (100)}{LRB}$$

Dimana:

VQRI = Indeks peringkat kualitas vendor

LAB = Jumlah lot yg di terima pembeli

LRB = Jumlah Total lot yg di terima pembeli (yaitu semua lot apakah di terima atau di di tolak). Pers diatas tidak memperhitungkan 153dalah biaya dan pengiriman.

Contoh 2:

Asumsikan bahwa produsen produk 153dalah menerima total 10, pengiriman yg sama atas komponen tertentu dari vendor selama jangka waktu tahun. Dua dari pengiriman ini di tolak oleh kelompok inspeksi material yg masuk. Hitung nilai indeks peringkat kualitas. Jadi Jumlah lot yg di terima oleh pabrikan di berikan

$$\begin{aligned} LAB &= \text{Jumla banyak yg tdk di terima} - 153\text{dalah} 153\text{a di dikeluarkan} \\ &= 40 - 2 = 38 \end{aligned}$$

153dalah153akann lai perhitungan diatas dan yg di berikan dari pers. Datas. Menghasilkan

$$VQRI = \frac{38 (100)}{40} = 95 \%$$

Dengan demikian, nilai indeks penilaian mutu 153dalah 95 %

11.8 Baya Kualitas

Biaya Kualitas = 10 % dari Pendapatan Kualitas (Tahunan 50 an) di banyak organisasi manufactur

11.8.1 Klasifikasi Biaya Kualitas ada 5 katagori

1. Biaya Kegagalan Internal:

Barang bekas, komponen dan bahan internal kegagalan, pengerjaan ulang, inspeksi ulang dan pengujian ulan, desain ulang dan analisis kegagalan.

2. Biaya Kegagalan Eksternal Biaya Penyeahan kepada pembeli)

Produk rusak, analisis kegagalan, perbaikan, investigasi keluhan pelanggan, penggantian barang cacat, tanggung jawab, garansi biaya dan pembelotan pelanggan.

3. Biaya Adm

Biaya Hubungan dengan adm. Menyiapkan proposal, peramalan manajemen, menyiapkan anggaran dan melakukan analisis data

4. Biaya pencegahan:

Tindakan yg diambil untuk mencegah produksi komponen, Produk, bahan cacat, evaluasi pemasok, peninjauan desain, koordinasi rencana dan program, pelatihan personel kalibrasi dan sertifikasi perangkat inpeksi dan pengujian. Instrumen, menerima inspeksi, mngumpulkan data terkait kualitas dan menerapkan seta memelihara renca pengambilan sampel.

5. Biaya Penilaian dan deteksi:

Biaya pengujian, biaya audit, inspeksi (dalam proses, sumber, pengiriman dan penerimaan)

11.9 Indeks Biaya Kualitas

IBK digunakan oleh organisasi untuk memantau kinerja. Nilai-nilai indeks ini di Plot secara berkala dan tren keseluruhan di pantau. Untuk itu ada 3 (tiga) indeks:

11.9.1 Indeks I

$$\alpha = \frac{TQC}{DLC} (100) \dots\dots\dots 11.3$$

Dimana:

α = indeks biaya kualitas yg dinyatakan dengan dlam %

TQC = Biaya kualitas Total

DLC = Biaya tenaga kerja langsung

Perlu dicatat bahwa indeks ini tidak memberikan hal tersebut kepada manajemen informasi yg berguna untuk pengambilan keputusan dan diagnsis masalah. Sering indeks ini menghilangkan efek inflasi.

11.9.2 Indeks II

$$\theta = \frac{TQC}{TS} (100) \dots\dots\dots 11.4$$

Dimana θ : indeks biaya kualitas yg dinyatakan dalam % dan TS :Jumlah Penjualan

11.9.3 Indeks III

$$\gamma = \left[\frac{TQC (100)}{VO} \right] + 100 \dots\dots\dots 11.5$$

Dimana:

γ = indeks biaya kualitas

VO = Nilai out put

Nilai γ di artikan :

1. $\gamma = 100$ Tidak ada keluaran yg cacat
2. $\gamma = 105$ (Dapat dgn mudah di capai dlm lingkaran kehidupan yg nyata)
3. $\gamma = 110 - 130$ (hal ini terjadi pada organisasi yg mengutamakan kalitas di abaikan).

Dengan menerapkan manajemen mutu yang baik, perusahaan dapat mengurangi biaya kegagalan dan meningkatkan kualitas, yang pada akhirnya juga mengarah pada pengendalian biaya yang lebih baik dan pencapaian tujuan finansial yang lebih efisien.

Secara keseluruhan, pengelolaan mutu yang efektif berkontribusi pada pengendalian biaya, dan penetapan biaya yang tepat mendukung upaya dalam mempertahankan atau meningkatkan kualitas.

BAB 12

KESELAMATAN (SAFETY)

12.1 Perlunya safety

Kebutuhan akan Rasa Aman Keinginan untuk merasa aman dan tenteram selalu menjadi perhatian penting bagi manusia. Misalnya, manusia purba mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan untuk menjaga diri dari bahaya alam di sekitar mereka. Terlebih lagi, pada tahun 2000 SM, Hammurabi, seorang penguasa Babilonia kuno, mengembangkan sebuah kode yang dikenal sebagai Kode Hammurabi. Kode ini mencakup klausul mengenai hal-hal seperti ganti rugi moneter terhadap orang yang menyebabkan cedera pada orang lain dan biaya yang diperbolehkan untuk dokter. Saat ini, keselamatan telah menjadi isu yang krusial karena setiap tahunnya banyak sekali orang yang meninggal dan mengalami luka berat akibat kecelakaan kerja dan kecelakaan lainnya. Misalnya, pada tahun 1996 di negara bagian AS menurut Dewan Keamanan Nasional (NSC), terdapat 93.400 kematian dan sejumlah besar cedera yang menyebabkan kelumpuhan akibat kecelakaan. Total kerugian akibat kecelakaan ini diperkirakan sekitar \$121 miliar.

Beberapa faktor lain yang juga berperan penting dalam menuntut perlunya keselamatan yang lebih baik adalah peraturan pemerintah, tekanan masyarakat, dan meningkatnya jumlah tuntutan hukum.

12.2 Fakta dan angka terkait keselamatan.

Beberapa fakta dan angka yang secara langsung atau tidak langsung berkaitan dengan keselamatan adalah sebagai berikut: Pada tahun 2000, ada sekitar 97.300 kematian akibat cedera yang tidak disengaja di AS. Biaya mereka diperkirakan sekitar \$512,4 miliar.

- Di Uni Eropa (UE), setiap tahun sekitar 5.500 orang meninggal karena kecelakaan terkait pekerjaan
- Di AS, pada tahun biasa sekitar 35 juta jam kerja hilang karena kecelakaan].
- Pada tahun 2000, ada 3,8 kematian per 100.000 pekerja di AS

12.3 Insinyur dan Keselamatan.

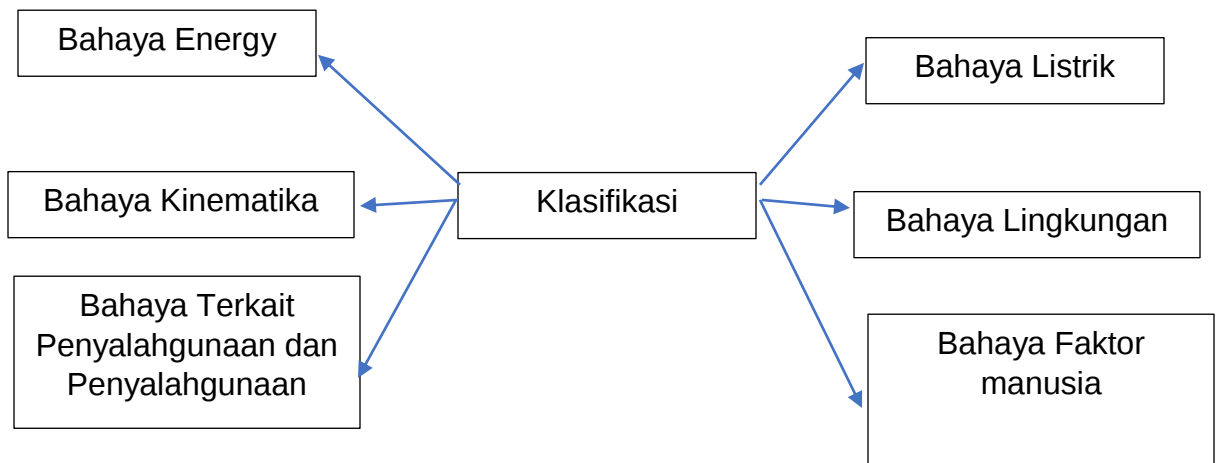
Di zaman modern, masalah dengan keamanan produk rekayasa dapat ditelusuri kembali ke kereta api. Misalnya, pada hari yang sama jalur kereta api pertama Stephenson didedikasikan, kecelakaan kereta api yang fatal terjadi (yaitu, seorang legislator Inggris terkemuka terbunuh). Setahun kemudian, boiler lokomotif pertama yang dibangun di AS meledak dan menewaskan satu orang dan melukai sejumlah server bahan bakar. Saat ini, produk rekayasa menjadi sangat kompleks dan canggih. Keamanan mereka adalah masalah yang menantang, karena persaingan dan faktor lain insinyur ditekan untuk menyelesaikan desain baru dengan cepat dan dengan biaya lebih rendah. Pengalaman masa lalu menunjukkan bahwa hal ini, pada gilirannya, biasanya menghasilkan lebih banyak kekurangan desain, kesalahan, dan penyebab kecelakaan. Kekurangan desain dapat menyebabkan atau berkontribusi pada kecelakaan. Kekurangan desain dapat terjadi karena desainer/desain:

- Belum selesai, salah, atau membingungkan.

- Diabaikan untuk memperingatkan secara memadai tentang potensi

12.4 Klasifikasi Bahaya Produk dan Cedera Mekanis yang Umum

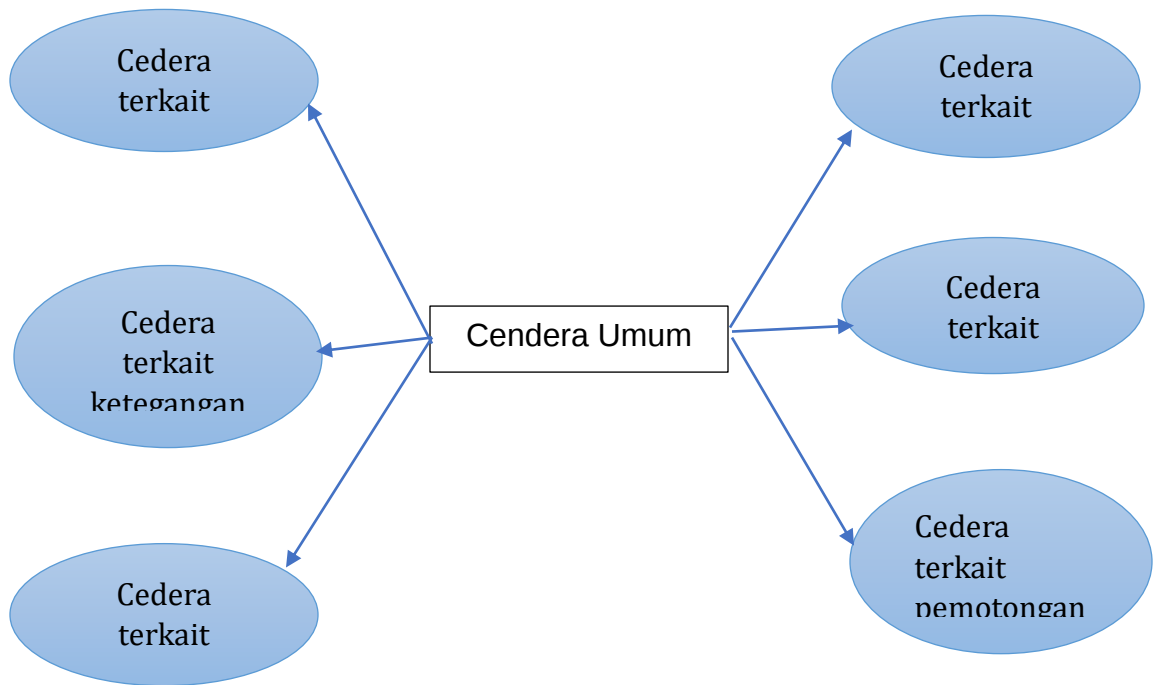
1. Klasifikasi Bahaya Produk



Gambar 12. 1. Klasifikasi bahaya terkait produk.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

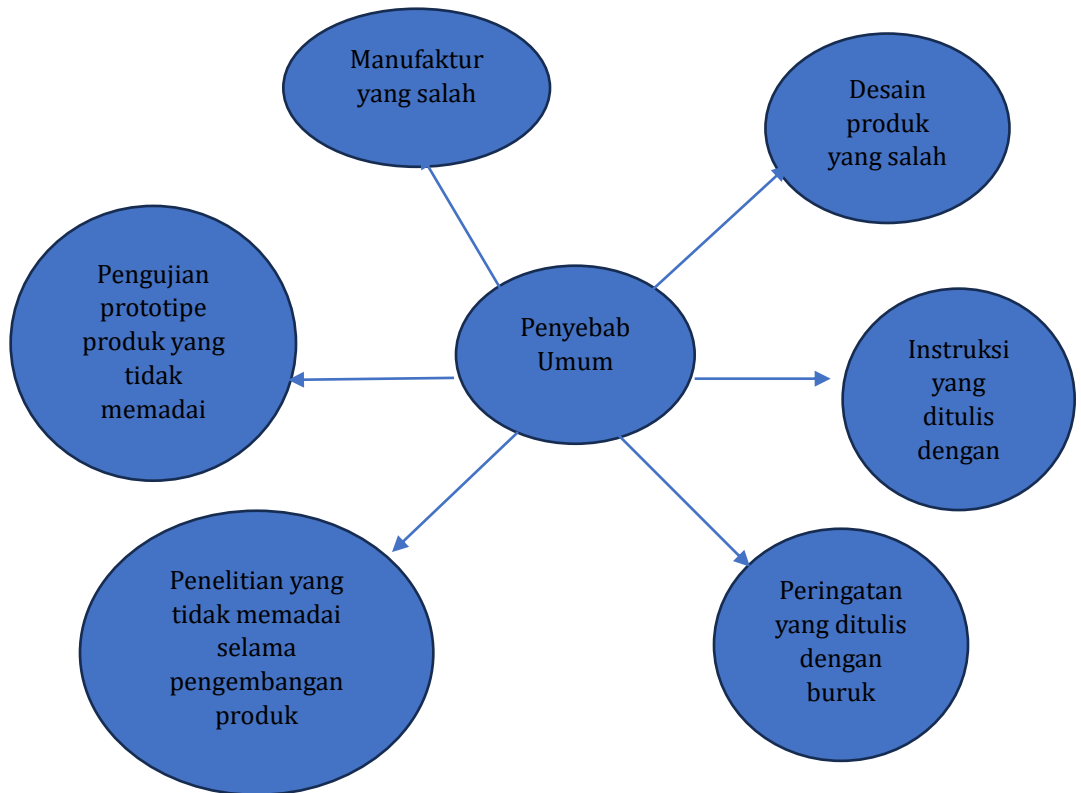
2. Cedera Umum



Gambar 12. 2. Cedera mekanis yang umum.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

12.5 Undang-Undang Undang-undang, Undang-Undang Umum, Administratif, dan Kewajiban serta Kewajiban Produk



Gambar 12.3 Penyebab umum paparan kewajiban produk
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

12.6 Kompensasi Pekerja

Kompensasi pekerja dalam keselamatan tempat kerja. Undang-undang kompensasi pekerja pertama kali disahkan di Prusia pada tahun 1838 untuk melindungi pekerja kereta api.

Namun, di AS, baru pada tahun 1908: UU kompensasi pekerja pertama disahkan untuk melindungi pegawai pemerintah federal yang melakukan berbagai jenis tugas

Tujuh tujuan Mendasar:

1. Mendorong studi yang jujur dan adil tentang penyebab kecelakaan,
2. (Memberikan pendekatan yang tepat untuk mengurangi tingkat litigasi cedera pribadi di pengadilan,
3. emberikan pendapatan dan manfaat medis yang cepat dan wajar kepada korban kecelakaan kerja atau manfaat pendapatan kepada tanggungan korban, terlepas dari kesalahannya,
4. Meminimalkan sebanyak mungkin, penderitaan manusia dan kecelakaan yang dapat dicegah,
5. Menghilangkan persidangan dan banding yang memakan waktu dan mahal,
6. Membebaskan badan amal dari beban terkait keuangan yang diciptakan oleh kecelakaan kerja yang tidak dikompensasi,
7. Memaksimalkan keterlibatan pemberi kerja dalam keselamatan dan rehabilitasi melalui penggunaan mekanisme penilaian pengalaman. Subjek kompensasi pekerja.

BAB 13

METODE ANALISIS KEAMANAN

13.1 Pendahuluan

Pengembangan metode analisis keselamatan relatif baru. Beberapa metode ini secara khusus dikembangkan untuk aplikasi di area keamanan dan yang lainnya untuk aplikasi di area yang berbeda.

Beberapa metode analisis keamanan, sebagai berikut:

1. Mode kegagalan
2. Analisis efek (FMEA),
3. Metode Markov,
4. Diagram sebab dan akibat, dan bagan kontrol kualitas. FMEA dan metode Markov dikembangkan untuk aplikasi di area keandalan
5. Diagram sebab dan akibat serta bagan kontrol kualitas

Tujuan utama dari semua metode analisis keselamatan ini adalah untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan bahaya. Berbasis matematis dan berbasis non matematis.

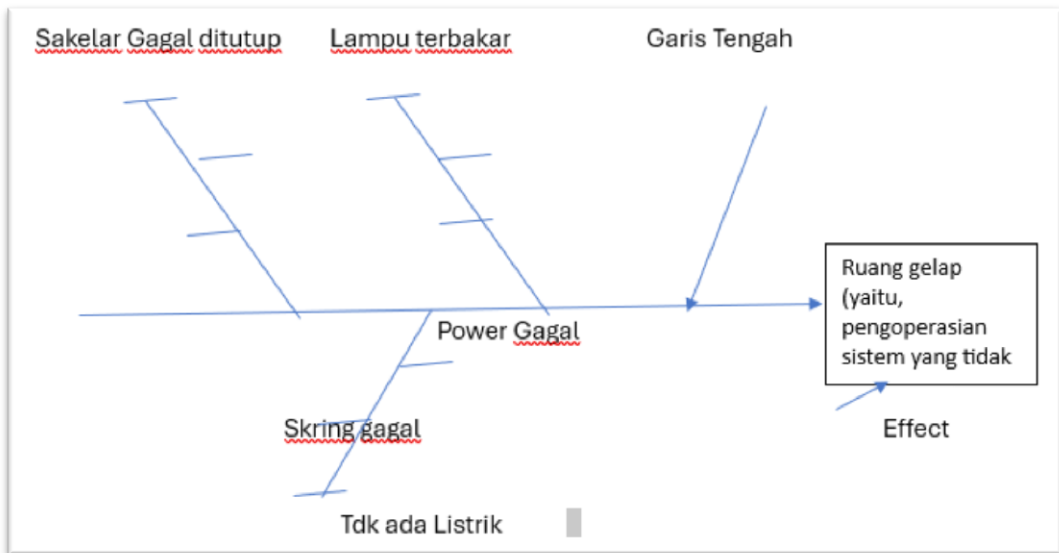
Misalnya, pada metode Markov dan bagan kontrol kualitas termasuk dalam kelompok berbasis matematis dan diagram sebab dan akibat serta FMEA ke kategori berbasis nonmatematis.

Meskipun masalah keselamatan telah ada sejak lama, pengembangan metode analisis keselamatan relatif baru. Beberapa metode ini dikembangkan secara khusus untuk aplikasi di bidang keselamatan dan yang lainnya untuk aplikasi di berbagai bidang. Beberapa contoh metode ini adalah

analisis mode kegagalan dan dampaknya (FMEA), metode Markov, diagram sebab dan akibat, dan bagan kendali mutu. FMEA dan metode Markov dikembangkan untuk aplikasi di bidang keandalan dan diagram sebab dan akibat serta bagan kendali mutu untuk digunakan dalam pekerjaan kendali mutu. Meskipun demikian, tujuan utama dari semua metode analisis keselamatan ini adalah untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan bahaya. Karena efektivitas metode ini dapat bervariasi dari satu aplikasi ke aplikasi lainnya, pertimbangan yang cermat diperlukan dalam memilih metode untuk aplikasi tertentu. Metode analisis keselamatan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama: berbasis matematika dan non-matematika. Misalnya, metode Markov dan bagan kendali mutu termasuk dalam kelompok berbasis matematika dan diagram sebab dan akibat serta FMEA termasuk dalam kategori non-matematika. Bab ini menyajikan metode analisis keselamatan penting yang diambil dari literatur yang diterbitkan.

13.2 Diagram Sebab dan Akibat (*Cause and Effect Diagram* atau CAED)

Metode ini dikembangkan oleh K. Ishikawa di Jepang pada awal tahun 1950-an untuk digunakan dalam pekerjaan pengendalian mutu [6]. Metode ini juga dapat digunakan untuk melakukan berbagai jenis analisis keselamatan. Metode ini juga dikenal sebagai Diagram Tulang Ikan dan Diagram Ishikawa. Secara visual, CAED dapat dibagi menjadi dua bagian: sisi kanan dan sisi kiri. Sisi kanan, yaitu persegi panjang atau kepala ikan, mewakili efek dan di sebelah kirinya (yaitu sisi kiri) semua kemungkinan penyebab yang terhubung ke tulang punggung “ikan” di tengah.



Gambar 13. 1. Diagram sebab dan akibat untuk memiliki ruangan gelap.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

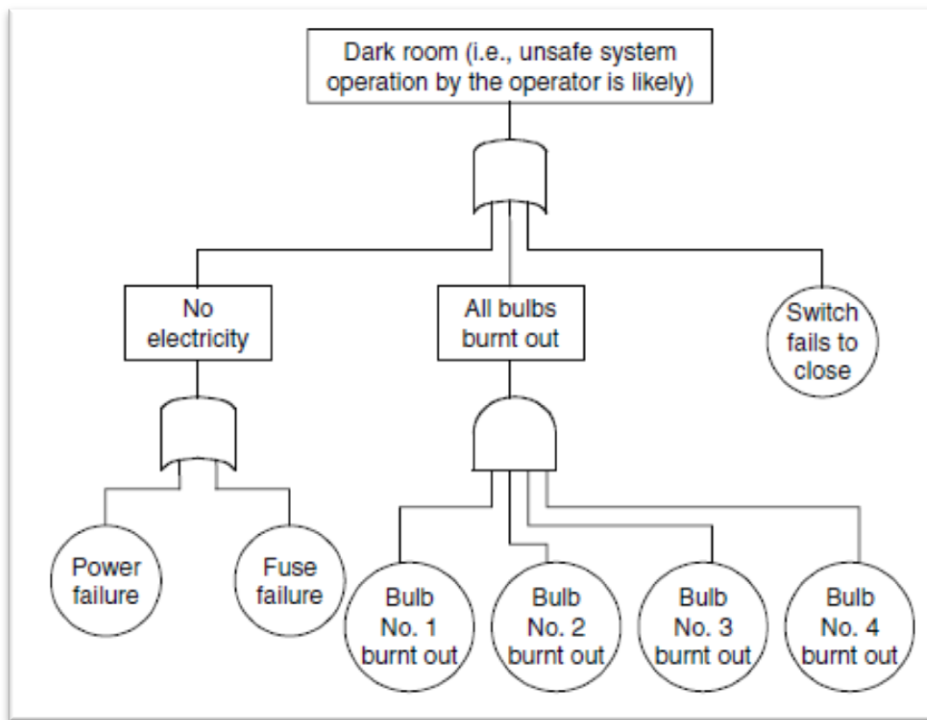
13.3 FTA (*Fault Tree Analysis*)

Metode ini dikembangkan pada awal tahun 1960-an di Bell Telephone Laboratories untuk melakukan analisis keandalan dan keselamatan Sistem Kontrol Peluncuran Minuteman. Saat ini, FTA digunakan secara luas di industri untuk melakukan berbagai jenis analisis keandalan dan keselamatan. Analisis Pohon Kesalahan (*Fault Tree Analysis/FTA*) dimulai dengan mengidentifikasi peristiwa yang tidak diinginkan, yang dikenal sebagai peristiwa puncak, yang terkait dengan sistem yang sedang dipertimbangkan. Peristiwa yang dapat menyebabkan terjadinya peristiwa puncak dihasilkan dan dihubungkan oleh operator logika seperti OR dan AND. Gerbang OR menghasilkan keluaran benar (misalnya, tidak aman) jika dan hanya jika satu atau lebih masukan benar (yaitu, rusak atau tidak aman). Gerbang AND

memberikan keluaran benar (misalnya, tidak aman) jika dan hanya jika semua masukan benar (yaitu, rusak atau tidak aman). Konstruksi pohon kesalahan berlanjut dengan menghasilkan peristiwa (yaitu, rusak atau tidak aman) secara berurutan hingga peristiwa tersebut tidak perlu dikembangkan lebih lanjut. Peristiwa-peristiwa ini dikenal sebagai peristiwa primer (kesalahan atau tidak aman). Pohon kesalahan itu sendiri adalah struktur logika yang secara grafis menghubungkan peristiwa puncak dengan peristiwa primer. Selain itu, dalam konstruksinya melibatkan pertanyaan secara berurutan “Bagaimana peristiwa ini bisa terjadi?” FTA dijelaskan secara rinci di Bab 6. Penerapan FTA pada masalah keselamatan ditunjukkan melalui contoh berikut:

Contoh 13.2

Asumsikan bahwa pada Contoh 13.1 ruangan tersebut memiliki empat bola lampu yang independen dan identik. Kemungkinan operator melakukan operasi yang tidak aman meningkat secara dramatis jika ruangan tersebut gelap gulita. Buatlah pohon kesalahan untuk kejadian puncak: ruangan gelap (yaitu, kemungkinan besar operator melakukan operasi sistem yang tidak aman), dengan menggunakan simbol pohon kesalahan yang diberikan pada Bab 6. Pohon kesalahan untuk contoh tersebut ditunjukkan pada Gambar 13.2.



Gambar 13.2. Diagram pohon kesalahan untuk Contoh 13.2.
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

13.4 Bagan Kontrol

Pengendalian mutu. Bagan kendali juga dapat digunakan untuk melakukan berbagai jenis analisis keselamatan. Bagan kendali adalah teknik grafis yang digunakan untuk mengevaluasi apakah suatu proses berada dalam “keadaan kendali statistik” atau di luar kendali. Lebih spesifiknya, ketika nilai sampel berada di luar batas kendali atas dan bawah bagan kendali, itu berarti proses tersebut berada di luar kendali statistik dan memerlukan investigasi. Dalam pekerjaan keselamatan, proses tersebut dapat berupa frekuensi kecelakaan, tingkat keparahan kecelakaan, dll.

Terdapat banyak jenis bagan kendali yang dapat digunakan dalam studi keselamatan. Di sini, penerapannya pada masalah yang berkaitan dengan keselamatan ditunjukkan melalui satu jenis bagan kendali saja (yaitu, bagan C). Bagan C didasarkan pada distribusi Poisson. Rata-rata dan deviasi standar dari distribusi Poisson dinyatakan oleh untuk melakukan berbagai jenis analisis keselamatan.

Bagan control adalah teknik grafis yang digunakan untuk mengevaluasi apakah proses tertentu berada dalam "keadaan kontrol statistik" atau di luar kendali. Lebih khusus lagi, ketika nilai sampel berada di luar batas kontrol atas dan bawah bagan kontrol, itu berarti bahwa proses tersebut berada di luar kontrol statistik dan memerlukan penyelidikan. Dalam pekerjaan keselamatan, prosesnya bisa berupa frekuensi kecelakaan, tingkat keparahan kecelakaan, dll. Ada banyak jenis bagan kontrol yang dapat digunakan dalam studi keselamatan. Di sini, penerapannya pada masalah terkait keselamatan ditunjukkan melalui satu jenis bagan kontrol saja (yaitu, bagan C).

C-chart didasarkan pada distribusi Poisson.

$$\mu = \frac{TA}{TP} \dots\dots\dots 13.1$$

Dimana: μ = rata-rata distribusi Poisson

TA = jumlah total kecelakaan

TP = total periode waktu m = rata-rata distribusi Poisson

$$\sigma = (\mu)^{1/2} \dots\dots\dots 13.2$$

di mana σ adalah standar deviasi dari distribusi Poisson.

Dengan demikian, batas kontrol atas dan bawah bagan-C

$$UCL_c = \mu + 3 \sigma \dots\dots\dots 13.3$$

$$UCL_c = \mu - 3 \sigma \dots\dots\dots 13.4$$

Contoh 13.3

Dalam sebuah organisasi selama periode 12 bulan, total 150 kecelakaan terjadi. Rincian bulanan mereka diberikan dalam Tabel 13.1. Kembangkan C-chart dan komentari di atasnya.

Tabel 13. 1. Kejadian Kecelakaan Bulanan

Month	No. of accidents
December (D)	18
November (N)	7
October (O)	16
September (S)	16
August (A)	9
July (J)	6
June (JE)	13
May (M)	17
April (AL)	11
March (MH)	12
February (F)	10
January (JY)	15

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Jawab :

$$\mu = \frac{150}{12} = 12,5 \text{ Kejadian / bulan}$$

$$\sigma = (12,5)^{1/2} = 3,53$$

di mana σ adalah standar deviasi dari distribusi Poisson.

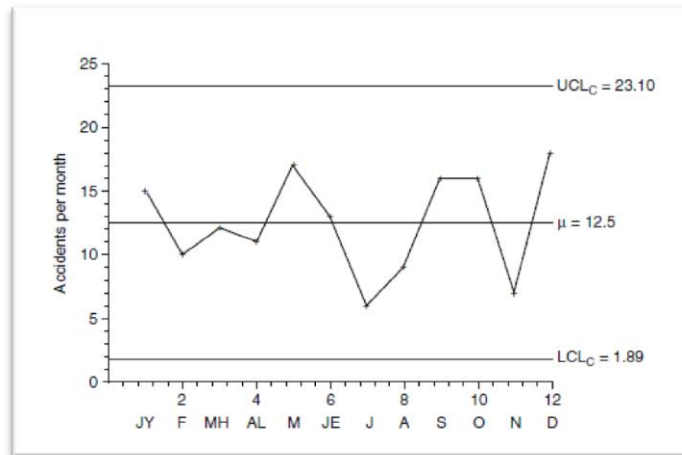
Dengan demikian, batas kontrol atas dan bawah bagan-C

$$UCL_c = 12,5 + 3 \cdot 3,53 = 23,10$$

$$LCL_c = 12,5 - 3 \cdot 3,53 = 1,89$$

13.5 Metode Markove

Metode ini dikenal berdasarkan nama seorang matematikawan Rusia bernama Andrei A. Markov (1856–1922). Metode ini banyak digunakan untuk melakukan analisis keandalan sistem teknik ketika tingkat kejadian (yaitu, tingkat kegagalan dan perbaikan) konstan atautidak bergantung pada waktu. Metode ini juga dapat digunakan untuk melakukan berbagai jenis analisis keselamatan. Deskripsi rinci tentang metode ini diberikan dalam Bab 6. Contoh berikut menunjukkan penerapan metode Markov pada masalah keselamatan.



Gambar 13. 2. The C-chart

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

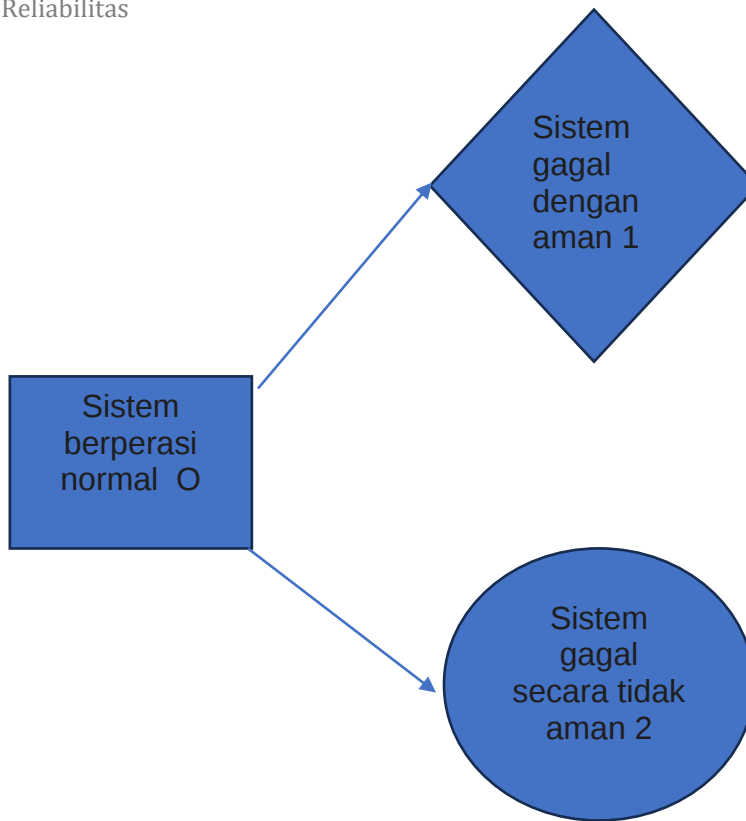
Contoh 13.4

Suatu sistem dapat gagal dengan aman atau tidak aman. Baik tingkat kegagalan aman maupun tidak aman bersifat konstan. Diagram ruang keadaan sistem ditunjukkan pada Gambar 13.4. Angka-angka dalam kotak, belah ketupat, dan lingkaran menunjukkan keadaan sistem. Kembangkan persamaan untuk probabilitas keadaan sistem dan hitung probabilitas bahwa selama 500 jam operasi sistem akan gagal secara tidak aman, jika tingkat kegagalan aman dan tidak aman sistem masing-masing adalah 0,009 kegagalan/jam dan 0,001 kegagalan/jam. Asumsikan bahwa semua kegagalan sistem secara statistik independen. Dengan bantuan metode Markov, kita menuliskan persamaan berikut untuk diagram Gambar 13.4.

$$\frac{dP_0(t)}{dt} - P_0(t)\lambda_1 + P_0(t)\lambda_2 = 0 \quad \dots 13.5$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} + P_0(t)\lambda_1 = 0 \quad \dots 13.6$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} - P_0(t)\lambda_2 = 0 \quad \dots 13.7$$



Gambar 13. 3. Diagram Ruang Keadaan Sistem

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Pada waktu $t=0$, $P_0(0) = 1, P_1(0) = 0$, dan $P_2(0) = 0$. Simbol yang digunakan dalam Persamaan (13.5 – 13.7) di definisikan di bawah ini.

Dimana:

$P_i(t)$ = Probabilitas bahwa sistem berada dalam keadaan i pada waktu t , untuk $i = 0$ (beroperasi normal),

$i = 1$ (gagal dengan aman), dan

$i = 2$ (gagal dengan tidak aman).

λ_1 = konstanta sistem tingkat kegagalan aman.

λ_2 = konstanta sistem tingkat kegagalan tidak aman.

Dengan menyelesaikan Persamaan (13.5–13.7), kita peroleh

$$P_0(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} \dots\dots\dots 13.8$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} [1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}] \dots\dots\dots 13.9$$

$$P_2(t) = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} [1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}] \dots\dots\dots 13.10$$

Dengan menggunakan nilai data yang diberikan pada Persamaan (13.10) diperoleh

$$P_2(500) = \frac{0,001}{0,009 + 0,001} [1 - e^{-(0,009 + 0,001) 500}]$$

$$= 0,0993$$

Persamaan (13.8–13.10) adalah untuk probabilitas keadaan sistem dan probabilitas bahwa selama 500 jam operasi sistem akan gagal secara tidak aman adalah 0,0993.

13.6 Metode FMEA

Ini adalah teknik yang banyak digunakan untuk melakukan analisis keandalan sistem rekayasa. Teknik ini menganalisis setiap potensi mode kegagalan dalam sistem tertentu untuk menentukan dampak mode kegagalan

tersebut pada seluruh sistem. FMEA juga dapat digunakan untuk melakukan berbagai jenis analisis keselamatan. Metode ini pada dasarnya terdiri dari tujuh langkah utama:

1. Menetapkan definisi sistem (yaitu, mendefinisikan sistem dan persyaratan terkaitnya)
2. Menetapkan aturan dasar untuk melakukan FMEA
3. Mengembangkan deskripsi perangkat keras sistem
4. Mengembangkan deskripsi blok fungsional sistem
5. Mengidentifikasi mode kegagalan dan dampaknya untuk setiap item dalam sistem
6. Menyusun daftar item kritis dan
7. Mendokumentasikan analisis. FMEA dijelaskan secara rinci dalam Bab 6.

13.7 Analisis Bahaya dan Pengoperasian (HAZOP)

Metode ini dikembangkan untuk digunakan dalam industri kimia. Sangat berguna untuk mengidentifikasi masalah terkait keselamatan sebelum ketersediaan data lengkap mengenai suatu barang.

Tiga tujuan mendasar dari HAZOP:

1. Menghasilkan deskripsi lengkap tentang proses/fasilitas,
2. Meninjau setiap elemen proses/fasilitas untuk menentukan bagaimana penyimpangan dari niat desain dapat terjadi, dan
3. Memutuskan apakah penyimpangan tersebut dapat menyebabkan masalah/bahaya operasi.

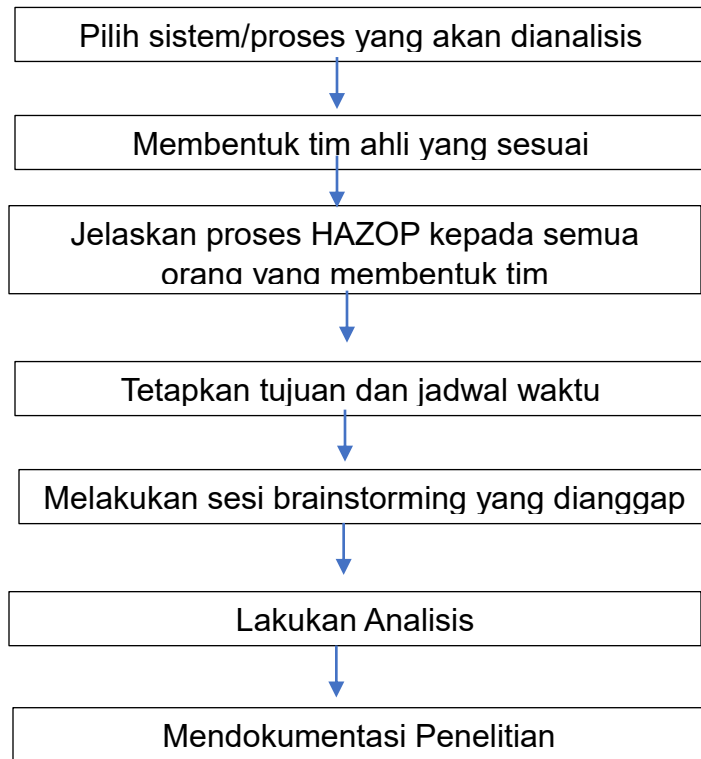
Studi HAZOP dilakukan dengan mengikuti tujuh langkah yang ditunjukkan pada Gambar 10.2.

HAZOP pada dasarnya memiliki kelemahan yang sama dengan FMEA. Misalnya, keduanya memprediksi masalah yang terkait dengan kegagalan proses/sistem, tetapi tidak memperhitungkan kesalahan manusia ke dalam persamaan. Ini adalah kelemahan utama karena kesalahan manusia sering menjadi faktor kecelakaan.

13.8 Tinjauan Teknis Operasi (TOR).

Metode analisis keselamatan lain dan dikembangkan oleh DA Weaver dari American Society of Safety Engineers (ASSE) pada awal 1970-an.. Ini dapat digambarkan secara sederhana sebagai metodologi atau pendekatan analitik langsung yang dikembangkan untuk menentukan akar penyebab sistem akar dari kegagalan atau malfungsi operasi.

Metode ini menggunakan lembar kerja yang berisi istilah sederhana dan lugas yang membutuhkan keputusan ya/tidak. Dasar untuk aktivasi



Gambar 13. 4. Langkah-langkah untuk melakukan studi HAZOP.

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

13.9 Analisis Keamanan Antarmuka (ISA)

Metode ini berkaitan dengan penentuan ketidakcocokan antara subsistem dan rakitan item / produk tertentu yang dapat mengakibatkan kecelakaan. Lebih khusus lagi, metode ini menetapkan bahwa item/bagian/unit yang berbeda dapat diintegrasikan ke dalam sistem yang layak dan operasi normal unit atau suku cadang individu tidak akan mengganggu kinerja atau menyebabkan kerusakan pada bagian/unit lain

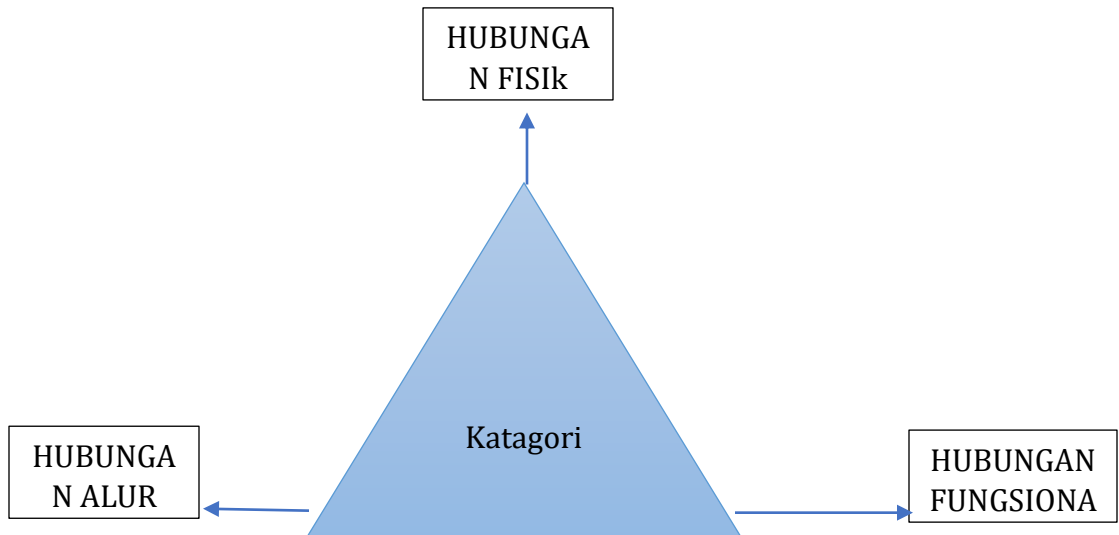
atau keseluruhan sistem. Meskipun, ISA mempertimbangkan berbagai hubungan tetapi mereka dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok yang ditunjukkan pada Gambar 13.6

Hubungan fungsional dikaitkan dengan beberapa item atau unit, sebagai berikut:

1. Dalam situasi di mana output dari suatu item/unit merupakan input ke item/unit hilir,
2. Kesalahan apa pun dalam output dan input dapat menyebabkan kerusakan pada item/unit hilir dan
3. Pada gilirannya membahayakan keselamatan.

Hubungan alur dikaitkan dengan dua unit atau lebih. Selain itu, aliran antara dua unit mungkin melibatkan barang-barang seperti udara, air, energi listrik, uap, bahan bakar, atau minyak pelumas. Biasanya, masalah umum yang terkait dengan banyak produk adalah aliran energi dan cairan yang efektif dari satu item ke item lain melalui saluran terbatas, sehingga menghasilkan masalah terkait keselamatan langsung / tidak langsung. Secara keseluruhan, sehubungan dengan cairan, faktor-faktor seperti kehilangan tekanan, kontaminasi, toksisitas, korosif, pelumasan, dan mudah terbakar harus dipertimbangkan dengan hati-hati dari aspek keamanan.

Kemudian hubungan fisik dikaitkan dengan aspek fisik unit atau baran., misalnya pada beberapa unit atau item mungkin berfungsi dengan baik secara individual, tetapi mungkin gagal cocok bersama karena perbedaan dimensi atau masalah lainnya. Pada gilirannya, hal ini dapat menyebabkan berbagai jenis masalah keselamatan.



Gambar 13. 5. Kategori hubungan yang dipertimbangkan oleh ISA

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

13.10 Analisis Keselamatan Kerja (JSA).

Metode ini berkaitan dengan menemukan dan memperbaiki potensi bahaya yang intrinsik atau melekat di tempat kerja tertentu. Terjadi pada setiap individu seperti pekerja, supervisor, dan profesional keselamatan berpartisipasi dalam JSA.

Langkah-langkah berikut dikaitkan dengan kinerja JSA, sebagai berikut:

1. Pilih pekerjaan untuk analisis.
2. Pecahkan pekerjaan menjadi berbagai tugas/langkah.
3. Identifikasi semua kemungkinan bahaya dan usulkan langkah-langkah yang sesuai untuk mengendalikannya ke tingkat yang sesuai.

4. Terapkan langkah-langkah yang diusulkan.
5. Evaluasi hasil akhir.

Pengalaman masa lalu menunjukkan bahwa keberhasilan JSA tergantung pada tingkat ketelitian yang dilakukan oleh tim JSA selama proses analisis.

13.11 Indeks Keselamatan.

Indeks ini berkaitan dengan pengukuran kinerja keselamatan suatu organisasi. Selama bertahun-tahun banyak indeks seperti itu telah dikembangkan.

Dua indeks keamanan yang diusulkan oleh American National Standards Institute adalah sebagai berikut

13.11.1 Menonaktifkan Tingkat Keparahan Cedera (DISR), Ini didefinisikan sebagai

berikut:

$$\text{DISR} = \frac{D_c \cdot 1.000.000}{EET} \dots\dots\dots 3.11$$

Di mana:

EET = aktu paparan karyawan yang dinyatakan dalam jam dan

DC = Jumlah total hari yang dibebankan. Indeks ini didasarkan pada empat faktor yang terjadi selama periode yang dicakup oleh tarif (yaitu, total biaya terjadwal (hari) untuk semua kematian, total permanen, dan cacat parsial permanen, dan jumlah total hari cacat dari semua cedera sementara).

Beberapa keunggulan indeks adalah sebagai berikut:

4. Berguna untuk membuat perbandingan yang bermakna antara organisasi yang berbeda.
5. Alat yang berguna untuk menjawab pertanyaan: "seberapa serius cedera dalam organisasi kita?"
6. Alat yang berguna untuk mempertimbangkan perbedaan dalam kuantitas paparan dari waktu ke waktu.

13.11.2 Menonaktifkan Tingkat Frekuensi Cedera (DIFR) Ini didefinisikan oleh

$$DIFR = \frac{TNDI \cdot 1.000.000}{EET} \dots\dots\dots 3.12$$

Dimana:

TNDI = Jumlah total cedera yang melumpuhkan. Indeks ini didasarkan pada total empat

peristiwa yang terjadi selama periode waktu yang dicakup oleh tingkat (yaitu, kematian, cacat tetap, cacat parsial permanen, dan cacat sementara).

Salah satu manfaat penting dari indeks ini adalah mempertimbangkan perbedaan dalam kuantitas eksposur karena jam kerja karyawan/pekerja yang bervariasi, baik dalam kerangka organisasi selama periode berturut-turut atau di antara organisasi yang diklasifikasikan di bawah kelompok industri serupa.

BAB 14

MANAJEMEN SAFETY DAN PENGHITUNGAN BIAYA

14.1 Pendahuluan

Manajemen keselamatan merupakan elemen penting dari program keselamatan dalam suatu organisasi. Awal mula manajemen keselamatan tampaknya terjadi pada periode tahun 1950-an dan 1960-an [1]. Tonggak penting dalam sejarah manajemen keselamatan terjadi pada tahun 1970 dengan disahkannya Undang-Undang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (OSHA) oleh Kongres AS. Sejak tahun 1970, banyak perkembangan baru terkait manajemen keselamatan telah terjadi. Manajemen keselamatan dapat didefinisikan secara sederhana sebagai pencapaian keselamatan melalui upaya orang lain [1–4]. Meskipun demikian, tujuan mendasar dari manajemen keselamatan adalah untuk menghilangkan penderitaan manusia dan kesengsaraan serta untuk mencapai ekonomi operasi. Sama seperti di bidang teknik lainnya, biaya juga merupakan faktor penting dalam keselamatan. Bahkan, pada dasarnya karena biaya sistem pengamanan, faktor keselamatan umumnya diabaikan selama tahun-tahun awal Revolusi Industri. Misalnya, seorang eksekutif kereta api pernah berkomentar: “Biaya

untuk mengubur seseorang yang tewas dalam kecelakaan akan lebih murah daripada memasang rem udara pada sebuah gerbong”.

Saat ini, salah satu faktor utama meningkatnya perhatian terhadap keselamatan adalah biaya kecelakaan. Biaya ini mencakup hal-hal seperti biaya pengobatan, kehilangan upah, jumlah kerusakan properti, biaya gugatan, dan kerugian produktivitas.

Bab ini menyajikan berbagai aspek penting dari manajemen keselamatan dan

14.2 Prinsip Manajemen Keselamatan dan Pengembangan

Rencana program keselamatan mempunyai prinsip manajemen safety dan pengembangan. Beberapa prinsip penting sebagai berikut:

1. Fungsi keselamatan adalah untuk menemukan dan mendefinisikan kesalahan operasional yang menyebabkan kecelakaan.
2. Sistem keselamatan harus disesuaikan agar sesuai dengan budaya organisasi/perusahaan. Manajemen harus mengelola keselamatan seperti halnya mengelola fungsi lain dalam organisasi (yaitu, dengan menetapkan tujuan yang dapat dicapai, merencanakan, mengorganisasi, dan mengendalikan).
3. Dalam mengembangkan sistem keselamatan yang efektif, pertimbangkan dengan cermat tiga subsistem utama, yaitu manajerial, fisik, dan perilaku.
4. Manajemen memiliki tanggung jawab untuk melakukan perubahan pada lingkungan yang menyebabkan perilaku tidak aman karena perilaku tidak aman adalah hasil dari reaksi orang normal terhadap lingkungan sekitarnya.

5. Kunci untuk memiliki sistem keselamatan yang efektif adalah fleksibilitas, partisipasi pekerja, dukungan manajemen puncak yang terlihat, dll.
6. Penyebab yang mengarah pada perilaku tidak aman dapat diidentifikasi, diklasifikasikan, dan dikendalikan.
7. Mengembangkan dan mengumumkan kebijakan keselamatan. Langkah ini berkaitan dengan mempersiapkan dan mengumumkan kebijakan untuk mengendalikan bahaya di dalam organisasi dan menetapkan wewenang dan akuntabilitas untuk pelaksanaannya.
8. Menunjuk kepala keselamatan. Langkah ini berkaitan dengan menunjuk seorang individu dengan kualifikasi dan pengalaman yang tepat untuk mengurus semua hal yang berkaitan dengan keselamatan di dalam organisasi.
9. Menganalisis catatan cedera operasional.

Langkah ini berkaitan dengan melakukan analisis catatan operasional tentang cedera, penyakit terkait pekerjaan, dan kerusakan properti.

1. Mengevaluasi cakupan dan tingkat keparahan bahaya operasional. Langkah ini berkaitan dengan hal-hal seperti mengevaluasi kualitas pengamanan fisik yang ada, menentukan sifat dan tingkat keparahan bahaya operasional yang melekat, menentukan tindakan korektif yang diperlukan, dan
2. Membangun estimasi waktu dan anggaran untuk melaksanakan tindakan korektif.
3. Memilih dan menjadwalkan metode komunikasi yang tepat.

Langkah ini berkaitan dengan pemilihan dan penjadwalan pendekatan komunikasi yang tepat untuk berbagai tujuan, termasuk memberikan pelatihan keselamatan kepada pekerja dan menginformasikan manajemen

tingkat atas tentang kemajuan keselamatan organisasi dan persyaratan terkait yaitu menetapkan jadwal untuk tinjauan berkala.

Langkah ini berkaitan dengan pengembangan jadwal untuk tinjauan berkala program dan fasilitas terkait keselamatan adalah menetapkan tujuan.

Langkah ini berkaitan dengan pengembangan tujuan jangka pendek dan jangka panjang yang tepat untuk program keselamatan.

14.3 Fungsi Departemen Keselamatan

Departemen keselamatan melakukan berbagai jenis fungsi. Fungsi-fungsi inidapat bervariasi dari satu organisasi ke organisasi lain. Meskipun demikian, beberapa fungsi khas dari departemen keselamatan ditunjukkan pada Gambar 14.1.

14.4 Fungsi dan Kualifikasi Profesional Keselamatan

Dua profesional kunci yang memainkan peran penting dalam program keselamatan suatu organisasi adalah manajer keselamatan dan insinyur keselamatan. Fungsi dan kualifikasi masing-masing dari kedua individu ini disajikan di bawah ini secara terpisah.

14.4.1 Manajer Keselamatan

Individu ini harus memiliki kualifikasi tertentu agar dapat melaksanakan tugasnya secara efektif. Beberapa kualifikasi tersebut adalah kualifikasi akademis yang sesuai, pengetahuan yang efektif dalam bidang keselamatan dan pengalaman terkait keselamatan, pengetahuan yang baik tentang administrasi bisnis, pengetahuan yang efektif tentang prinsip-prinsip

teknik, pikiran terbuka untuk mencoba ide dan metode baru, dorongan, antusiasme, dan ketekunan yang baik; kemampuan untuk membuat orang lain melakukan tugas mereka secara efektif, dan keterampilan pengawasan yang baik . Seorang manajer keselamatan menjalankan berbagai fungsi termasuk mengawasi karyawan departemen, mengelola dan merumuskan program keselamatan, berpartisipasi dalam tinjauan spesifikasi pengadaan, memperoleh informasi terbaru tentang pengendalian bahaya



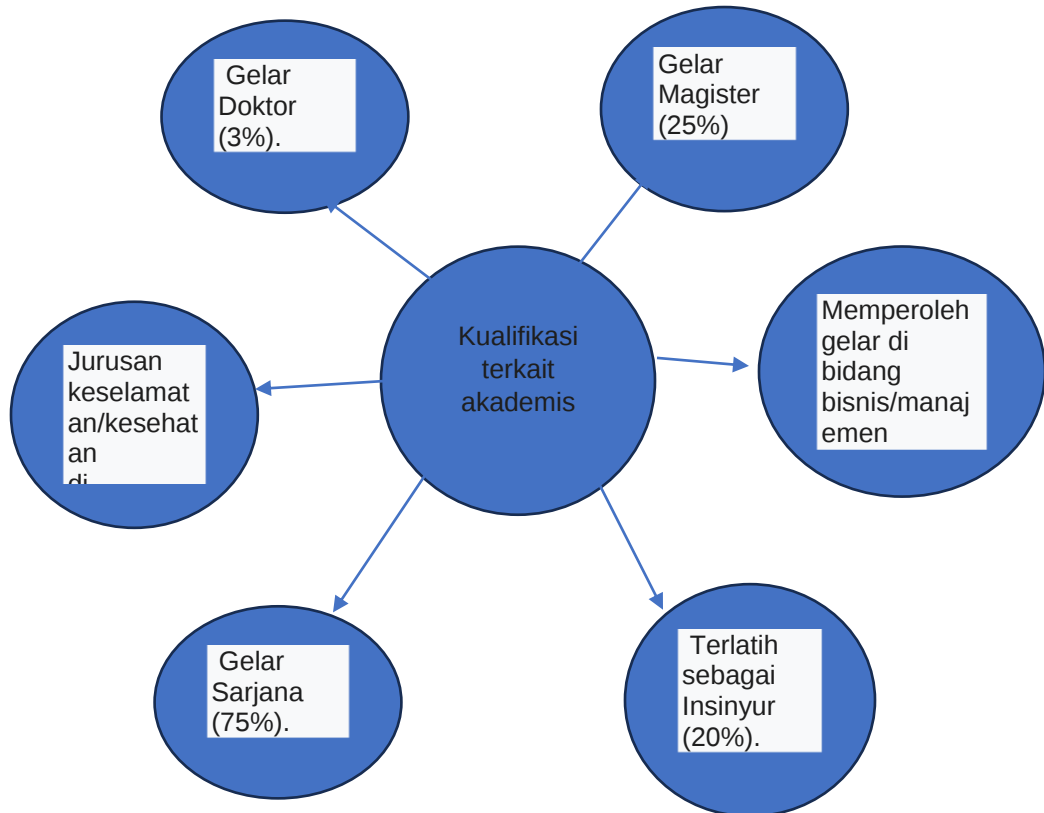
Gambar 14. 1. Fungsi-fungsi umum departemen keselamatan

(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

informasi, berpartisipasi dalam desain tata letak fasilitas/peralatan/tata letak proses baru, melaporkan kepada manajemen tingkat atas secara berkala mengenai kondisi upaya keselamatan perusahaan, mewakili manajemen kepada publik, lembaga pemerintah, perusahaan asuransi, dll. terkait keselamatan, mengarahkan pengumpulan dan pencatatan informasi yang relevan mengenai hal-hal seperti cedera dan kecelakaan kerja, mengiklankan isu keselamatan di semua tingkatan manajemen, dan mengarahkan inspeksi fasilitas untuk kepatuhan terhadap peraturan badan eksternal.

14.4.2 Safety Engineer

Seorang insinyur keselamatan harus memiliki kualifikasi akademis dan kualifikasi lainnya agar dapat menjalankan pekerjaannya secara efektif. Pada tahun 1992, American Society of Safety Engineers (ASSE) melakukan survei terhadap 27.000 anggotanya mengenai kualifikasi akademis mereka. Hasil survei tersebut ditunjukkan pada Gambar 14.2. Kualifikasi lainnya meliputi kesiapan untuk mencoba ide dan pendekatan baru, antusiasme, dorongan, ketekunan, mudah bergaul dengan pengalaman terkait keselamatan, dan pengetahuan yang baik tentang masalah keselamatan. Beberapa fungsi yang dilakukan oleh seorang insinyur keselamatan adalah melakukan inspeksi keselamatan, berkolaborasi dengan komite keselamatan, melakukan studi keselamatan, melakukan investigasi kecelakaan, dan berkoordinasi dengan manajemen mengenai berbagai hal.



Gambar 14. 2. Kualifikasi terkait akademis dari Anggota American Society of Safety Engineers.
(Sumber: Dhillon, B. S, 2004)

Berkaitan dengan keselamatan, memberikan pelatihan keselamatan, memproses klaim kompensasi pekerja, dan memastikan bahwa tindakan korektif yang tepat diambil untuk menghindari terulangnya kecelakaan.

14.5 Komite Safety dan Memotivasi karyawan untuk bekerja dengan aman

Komite keselamatan memainkan peran penting dalam mempromosikan keselamatan di dalam suatu organisasi. Mereka menyediakan struktur sistematis untuk menyalurkan masalah kesehatan dan keselamatan oleh pekerja dan manajemen. Sebelum memulai komite keselamatan, perhatian cermat harus diberikan pada faktor-faktor seperti ruang lingkup/tanggung jawab komite, otoritas komite, dan prosedur. Prosedur tersebut berkaitan dengan hal-hal seperti frekuensi pertemuan, catatan yang harus disimpan, persyaratan kehadiran, waktu dan tempat pertemuan dan toritas kepada siapa laporan komite harus diserahkan

Pengalaman masa lalu menunjukkan bahwa keberhasilan atau kegagalan komite keselamatan sebagian besar bergantung pada komposisinya. Artinya, untuk keberhasilan komite, anggota komite harus berasal dari berbagai kalangan yang mewakili semua unit dalam organisasi. Hal ini akan memberikan semua karyawan suara yang mewakili di dalam komite. Meskipun demikian, anggota komite yang berprofesi di bidang kesehatan dan keselamatan berperan sebagai fasilitator, penasihat, dan katalis. Anggota komite menunjuk seorang ketua dan seorang sekretaris untuk mencatat risalah rapat. Pengalaman masa lalu menunjukkan bahwa biasanya hasil terbaik diperoleh ketika baik profesional kesehatan dan keselamatan maupun manajer eksekutif tidak menjabat sebagai ketua komite. Selain itu, semua anggota komite keselamatan dilatih di bidang-bidang seperti metode pemecahan masalah kelompok dan analisis sebab-akibat.

Beberapa tugas penting dari komite keselamatan adalah memberikan bantuan

dalam pelatihan keselamatan, memberikan bantuan kepada para profesional keselamatan, mempromosikan pencegahan kecelakaan, melakukan tur inspeksi, membuat rekomendasi keselamatan, memberikan bantuan dalam investigasi kekurangan keselamatan, dan memberikan bantuan dalam memilih poster terkait keselamatan. Pengawas memainkan peran kunci dalam memotivasi karyawan untuk bekerja dengan aman. Mereka dapat memotivasi karyawan secara langsung atau tidak langsung melalui tindakan seperti:

1. Memfokuskan perhatian pada pentingnya kinerja yang aman.
2. Mengingatkan pekerja tentang metode kinerja yang aman.
3. Meluangkan lebih banyak waktu untuk mengenali dan memberi penghargaan atas kinerja yang aman daripada meluangkan waktu untuk mendisiplinkan karyawan karena kinerja yang tidak aman.
4. Memperkuat dan meningkatkan pentingnya standar manajemen untuk kinerja yang aman.

14.6 Kerugian atau biaya produsen akibat kecelakaan

Kerugian atau biaya produsen akibat kecelakaan yang terlibat sebagai berikut:

1. Pembayaran untuk penyelesaian klaim cedera/kematian.
2. Biaya bantuan hukum untuk pembelaan terhadap klaim.
3. Biaya investigasi kecelakaan.
4. Biaya tindakan korektif yang diperlukan untuk mencegah terulangnya kecelakaan.

5. Waktu yang hilang dari personel produsen yang terlibat dalam kecelakaan
6. Peningkatan biaya asuransi.
7. Pembayaran klaim kerusakan properti yang tidak ditanggung oleh asuransi.
8. Hilangnya pendapatan karena menurunnya kepercayaan publik.

14.7 Metode dan model estimasi biaya keselamatan

Beberapa metode dan model yang digunakan untuk memperkirakan berbagai jenis biaya keselamatan, sebagai berikut:

14.7.1 Metode Simonds

Metode ini dikembangkan oleh Profesor R.H. Simonds dari Michigan State College dengan alasan bahwa biaya suatu kecelakaan terdiri dari dua elemen utama, yaitu biaya yang diasuransikan dan biaya yang tidak diasuransikan. Lebih lanjut, ia berpendapat bahwa biaya yang diasuransikan dapat dengan mudah diperkirakan hanya dengan memeriksa beberapa catatan atau data akuntansi, tetapi estimasi biaya yang tidak diasuransikan jauh lebih menantang atau merupakan tugas yang sulit. Dengan demikian, untuk memperkirakan total biaya kecelakaan yang tidak diasuransikan, Simonds mengusulkan hubungan berikut ini

$$TUCA = \alpha_A AUC_A + \alpha_b AUC_b + \alpha_c AUC_c + \alpha_D AUC_D \dots\dots\dots 14.1$$

di mana:

TUCA = total biaya kecelakaan yang tidak diasuransikan

AUC_A = biaya rata-rata yang tidak diasuransikan terkait dengan kecelakaan Kelas A

α_A = jumlah total kasus kehilangan hari kerja akibat kecelakaan Kelas A

yang mengakibatkan cacat sebagian permanen dan cacat total sementara

AUC_B = biaya rata-rata yang tidak diasuransikan terkait dengan kecelakaan Kelas B

α_B = jumlah total kasus dokter yang terkait dengan kecelakaan Kelas B.

Lebih spesifiknya, kasus-kasus yang tidak mengakibatkan kehilangan hari kerja berdasarkan Undang-Undang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (OSHA) yang memerlukan perawatan oleh dokter.

AUC_C = biaya rata-rata yang tidak diasuransikan terkait dengan kecelakaan Kelas C

α_C = jumlah total kasus pertolongan pertama yang terkait dengan kecelakaan Kelas C.

Lebih spesifiknya, kecelakaan di mana pertolongan pertama diberikan secara lokal dan mengakibatkan kehilangan kurang dari seperdelapan waktu kerja

AUC_D = biaya rata-rata yang tidak diasuransikan terkait dengan kecelakaan Kelas D

α_D = jumlah total kasus tanpa cedera yang terkait dengan kecelakaan Kelas D.

Lebih spesifiknya, kecelakaan yang hanya menyebabkan cedera ringan yang tidak memerlukan perhatian dari tenaga medis profesional

14.7.2 Metode Heinrich

Metode H.W. Heinrich yang secara tegas menunjukkan bahwa untuk setiap dolar biaya asuransi yang dibayarkan untuk kecelakaan, ada sekitar empat dolar biaya yang tidak diasuransikan yang ditanggung oleh organisasi atau perusahaan. Kesimpulannya didasarkan pada faktor-faktor seperti pemeriksaan total 5000 berkas kasus dari organisasi yang diasuransikan dengan perusahaan swasta, pelaksanaan studi penelitian di organisasi-

organisasi tersebut dan wawancara dengan staf administrasi dan layanan produksi dari perusahaan-perusahaan tersebut.

Metode Heinrich adalah total biaya cedera kerja sebagai jumlah dari dua elemen: biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung adalah total manfaat yang dibayarkan oleh perusahaan asuransi sedangkan pengeluaran yang ditanggung langsung oleh perusahaan adalah biaya tidak langsung. Lebih spesifiknya, biaya langsung terdiri dari elemen-elemen seperti biaya waktu kerja yang hilang akibat cedera, biaya pesanan yang hilang, biaya kerusakan mesin/material, biaya waktu kerja yang hilang dari manajemen, biaya waktu kerja yang hilang akibat pekerja yang menghentikan pekerjaan mereka dan terlibat dalam aksi tersebut, biaya moral yang melemah, biaya waktu kerja yang hilang dari petugas pertolongan pertama dan pekerja rumah sakit yang tidak dibayar oleh asuransi, biaya yang terkait dengan kerugian laba dan produktivitas pekerja, dan biaya overhead untuk pekerja yang cedera saat dalam mode non-produksi.

14.7.3 Model estimasi biaya keselamatan Total

Dalam model ini, biaya keselamatan total dinyatakan dengan:

$$SC_1 = CI + CILDA + CWI + CAPM + CIM + CSLI + CRR + CMSI \dots \dots \dots 14.2$$

di mana

CI = biaya asuransi

CILDA = biaya kerugian langsung akibat kecelakaan

CWI = biaya masalah kesejahteraan

CIM = biaya yang tidak terukur

CSLI = biaya masalah hukum terkait keselamatan

CRR = biaya rehabilitasi dan pemulihan

CMSI = biaya masalah keselamatan lainnya

4.8 Indeks Biaya Keselamatan

Indeks ini digunakan untuk mengukur kinerja biaya keselamatan secara keseluruhan dari organisasi. Tujuan utama penggunaan indeks ini adalah untuk menunjukkan tren, dengan menggunakan kinerja biaya keselamatan masa lalu sebagai titik referensi, dan untuk mendorong semua individu yang terlibat untuk meningkatkan kinerja di atas kinerja masa lalu. Bagian ini menyajikan tiga indeks terkait biaya keselamatan yang paling berguna yang diambil dari literatur yang diterbitkan.

14.8.1 Indeks I

Indeks ini berkaitan dengan penentuan biaya rata-rata cedera kerja per dolar keuntungan dalam suatu organisasi. Indeks ini didefinisikan oleh

$$AC_{pd} = \frac{TC_{oi}}{TP} \dots\dots\dots 14.3$$

di mana

AC_{pd} = biaya rata-rata cedera kerja per dolar keuntungan

TP = total keuntungan yang dinyatakan dalam dolar

TC_{oi} = total biaya cedera kerja yang dinyatakan dalam dolar

14.8.2 Indeks II

Indeks ini berkaitan dengan penentuan biaya rata-rata cedera kerja per unit omset. Indeks ini didefinisikan oleh

$$AC_{ut} = \frac{TC_{oi}}{TNUT} \dots\dots\dots(14.4)$$

di mana:

AC_{ut} adalah biaya rata-rata cedera kerja per unit omset dan

TNUT adalah jumlah total unit omset (yaitu, kuantitas unit, ton, dll.)

TC_{oi} = total biaya cedera kerja yang dinyatakan dalam dolar

14.8.3 Indeks III

Indeks ini berkaitan dengan penentuan biaya rata-rata per cedera kerja di suatu organisasi. Indeks ini didefinisikan oleh

$$AC_{oi} = \frac{TC_{oi}}{TNOI} \dots\dots\dots(14.5)$$

di mana:

AC_{oi} adalah biaya rata-rata per cedera kerja dan TNOI adalah jumlah total cedera kerja

BAB 15

KEAMANAN ROBOT, PERANGKAT LUNAK, DAN PERANGKAT MEDIS

Setiap tahun sejumlah besar uang dihabiskan di seluruh dunia untuk mendesain, mengembangkan, dan mengoperasikan robot, perangkat lunak, dan perangkat medis. Keamanan mereka telah menjadi isu penting. Kata “robot” berasal dari bahasa Ceko, yang berarti “pekerja.” Saat ini, terdapat lebih dari satu juta robot yang digunakan di seluruh dunia. Kesadaran akan keselamatan robot tampaknya berawal pada tahun 1970-an . Pada tahun 1980-an, tiga dokumen penting mengenai keselamatan robot muncul dan sebuah standar. Pada tahun 1990-an membahas subjek keselamatan robot secara mendalam, demikian juga tentang keselamatan robot.

Saat ini, komputer digunakan secara luas dalam berbagai jenis aplikasi dan terdiri dari elemen perangkat keras dan perangkat lunak. Faktanya, saat ini jauh lebih banyak uang dihabiskan untuk mengembangkan perangkat lunak komputer daripada untuk mengembangkan perangkat keras, dibandingkan dengan komputer-komputer awal. Misalnya, pada tahun 1955 perangkat lunak menyumbang sekitar 20% dari total biaya komputer dan pada pertengahan tahun 1980-an, persentasenya meroket menjadi sekitar 90%. Tak perlu dikatakan, keamanan telah menjadi isu kritis dalam perangkat lunak karena fungsi perangkat lunak yang tepat sangat penting sehingga kerusakan sederhana dapat mengakibatkan hilangnya nyawa dalam skala besar. Misalnya, trem komuter di Paris, Prancis melayani sekitar 800.000 penumpang setiap hari dan sangat bergantung pada persinyalan

perangkat lunak. Keselamatan juga menjadi isu penting dalam sistem/perangkat medis karena sekitar 100.000 pasien meninggal setiap tahunnya akibat kesalahan yang dapat dihindari di AS saja. Tiga undang-undang yang telah memainkan peran penting dalam mempromosikan keselamatan sistem/perangkat medis di AS adalah undang-undang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (OSHA), 1970 adanya amandemen perangkat medis, 1976 adanya dan undang-undang perangkat medis aman (SMDA

DAFTAR PUSTAKA

1. Dhillon, B. S, Reliability, quality, and safety for engineers / by B.S. Dhillon., 2004
2. Eves, H., *An Introduction to the History of Mathematics*, Holt, Rinehart, & Winston, New York, 1976.
3. Owen, D.B., Ed., *On the History of Statistics and Probability*, Marcel Dekker, New York, 1976.
4. Elsayed, E.A., *Reliability Engineering*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1996.
5. Dhillon, B.S., *Systems Reliability, Maintainability, and Management*, Petrocelli Books, New York, 198
6. Dhillon, B.S., *Design Reliability: Fundamentals and Applications*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1999.
7. Dhillon, B.S., The analysis of the reliability of multistate device networks, Ph.D. dissertation, 1975, Available from the National Library of Canada, Ottawa, Canada.
8. Dhillon, B.S., Singh, C., *Engineering Reliability: New Techniques and Applications*, John Wiley & Sons, New York, 1981.
9. Dhillon, B.S., *Design Reliability: Fundamentals and Applications*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1999.
10. Dhillon, B.S. and Reiche, H., *Reliability and Maintainability Management*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1985.
11. Feigenbaum, A.V., *Total Quality Control*, McGraw-Hill, New York, 1983.
12. Juran, J.M. and Gryna, F.M., *Quality Planning and Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1980.
13. Dhillon, B.S., *Quality Control, Reliability and Engineering Design*, Marcel Dekker, New York, 1985.
14. Ryan, T.P., *Statistical Methods for Quality Improvements*, John Wiley and Sons, New York, 2000.
15. Gryna, F.M., *Quality Planning and Analysis*, McGraw-Hill New York, 2001.
16. Report on Injuries in America in 2000, National Safety Council, Chicago, IL, 2000.
17. How to Reduce Workplace Accidents, European Agency for Safety and Health at Work, Brussels, Belgium, 2001.
18. Hammer, W. and Price, D., *Occupational Safety Management and Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.

19. Dr david j smith bsc, phd, ceng, fiet, fcqi, honfsars migem, reliability, maintainability and risk, practical methods for engineers, eighth edition , butterworth-heinemann the boulevard, langford lane, kidlington, oxford ox5 1gb, uk225 wyman street, waltham, ma 02451, USA.
20. Kailash C. Kapur Michael Pecht, Reliability Engineering, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada
21. ISO, quality management principles, This document introduces seven quality management principles (QMPs). ISO 9000, ISO 9001 and related ISO quality management standards are based on these seven QMPs.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Jenni Ria Rajagukguk, M.Si
Ora Et Labora

Penulis lahir di Medan, Sumatera Utara pada tanggal 23 Januari 1960, dari pasangan Bapak Drs. W. Radjagoek-goek (alm) ke 3 dari sembilan bersaudara. Menikah dengan St. Ir. Biliater Sitorus Pada Tahun 1986, dikarunia 3 anak yaitu Putra Harimugabe Lanovanto Socrates Sitorus., SH (Avokad, 38 tahun, Perusahaan Swasta/Pengacara, sudah menikah anak 2 anak laki-laki Dean Plato Marudut Sitorus., Yegusto Batara Sitorus), Putra Johannes Herbert Sitorus, (37 tahun, Karyawan Swasta, sudah nikah anak 1 orang anak Perempuan Chloe Felicia Renbert br.Sitorus), seorang Putri Megawati Natalee Sitorus, (32 tahun, PNS Bawaslu Pusat-Jakarta, 1 anak laki-laki, Christian Andrew Timothy Sitinjak). Sekolah SD Neg 62 Jl. M.nawi Harahap Medan tahun 1971; SMP Neg. III Jl. Pelajar Medan dan tahun 1974; SMA Neg. III Medan Jl Seram Medan tahun 1977; Sarjana Fakultas Teknik Mesin USU-Medan Sumatera Utara tahun 1984; S2 Material Science UI-Salemba Jakarta tahun 1993 dan S3 Kosentrasi manajemen Lingkungan Prodi PKLH di UNJ-Jakarta Tahun 2014. Guru Besar/Profesor di capai 01 Desember 2024. Pengalaman Mengajar berawal tahun 1984 s.d. sekarang di Fakultas Teknik Mesin Unkris Jakarta tahun 1992 sebagai Dosen PNS yang di pekerjakan pada FT Unkris hingga sekarang. Dan Pada tahun 1988 sd 1994 sebagai Direktur PT. harimugabe Jaya. Tahun Teknik Pendingin, Ilmu Logam, Metalurgi Fisik, Material Teknik, Pemilihan Bahan dan Proses, Perpindahan Panas, Statistik dan Metode Penelitian, Manajemen Proyek, Teknik Lingkungan dan K3; Mengajar Mata kuliah Konversi Energi di Poly Teknik UI-Depok Tahun 1993-1995; Mengajar mata kuliah Analisa Teknik Biaya, Analisa Kegagalan, Non Ferrous dan Ilmu Bahan di FT.Mesin dan Industri Universitas Trisakti tahun 1994-2009; Mengajar mata kuliah Pindahan Panas, Sistem Informasi, Pemilihan Bahan dan Proses di UMT Jakarta Tahun 1995 – 2010; Mengajar Teknologi Bahan, Teknologi Bahan dan Metrologi, Teknik

Pengelasan dan Pompa, Perencanaan Bejana Tekan dan Perencanaan Hidraulik dan Pneumatik di ITBU – Jakarta Tahun 1984 – 2016. Jabatan yang pernah di emban adalah Sekretaris Pusat Penelitian tahun 1997; No. 091156501971 dapat Sertifikasi pendidik (Dosen) sehingga sebagai Asesor se Kopertis Wilayah III dari tahun 2012 hingga tahun 2022; Ketua Majelis Jurusan tahun 2011; Ketua Kurikulum Tahun 2011; Team Akreditasi Fak. Teknik Mesin UNKRIS Tahun 2013; Penjamin dan Pusat Penelitian tahun 2015; Senat Fakultas dan Senat Universitas tahun 2015; dan Ka Prodi MMT-S2 s.d. 2024 dan saya dapat Satya Lencana Kaya yang XX tahun (Tahun 2015) dan XXX (Tahun 22 Desember 2025, Hari IBU) dari Presiden RI. Tahun 2025 Kegiatan Seminar “Kerjasama Universitas Swasta dengan PEMDA DKI, pada saat itu Gubernur DKI Sutyo. Sehingga Terpilh 3 Universitas swasta mewakili mengenai Lingkungan Kumuh . Selain Mengajar, kegiatan akademik lainnya yang pernah saya ikuti, antara lain: sejak 1993 Pengaruh PP terhadap Sifat Mekanis Baja Perkakas H-13; Pengaruh Pelumasan terhadap Komponen Kendaraan Bermotor/mobil Tahun 1995; Rancang bangun cetakan plastic tahun 1999; Analisa Penerapan Sistem Kendali Mutu Terpadu pada Cacat Frame Kaca Metal type 05911 di PT. Astron Optindo Industries tahun 2003; Sejak Tahun 2012 s.d. Tahun 2013, Analisis Perancangan Forklift dengan Kapasitas 1 Ton terbit Jurnal Ilmiah Teknik; Mesin KALPIKA Volume 7 No.2 Februari 2012. ISSN 1829-7552; Analisis Perancangan Air Conditioning untuk Bangunan Departemen Store Lantai Delapan, terbit di JURNAL ILMU DAN REKAYASA”TEKNOLOGI INDUSTRI (JIRTI). Volume 22 No.4 Tahun XII April 2012. ISSN 1411-4275; Analisis Performa Mesin Bensin dengan Pengujian Angka Oktan Berbeda terbit di Journal Teknokris Tahun 1 Nomor 1 Vol.10 Juni 2012.ISSN 1441 – 0539, hal 4 -11 dan. Penerapan Standar Liquid Coating dan Ketahanannya melalui Pengujian Abrasi, Pearmeability dan Panas Kering pada Pipa Baja SA 106 Grade B. (Pembicara), terbit Nasional Mesin dan Industri (SNM17) 2012. Teknik Mesin UNTAR, Jakarta 29 November 2012; Analisis Perancangan Mesin Penghancur Plastik terbit di Jurnal DINAMIS, Volume II, Nomor 12 Januari 2013. No ISSN: 0216-7492.Penerbit Departemen Teknik Mesin FT-USU Medan). Penulis juga melaksanakan kegiatan Tri-Dharma Perguruan Tinggi (Proses Belajar dan Mengajar, Penelitian, Pengabdian dan Penunjang Perguruan Tinggi, dari Semester Genap Tahun 2020/2021 sd Semester Ganjil Tahun 2024/2025 , Ganjil 2025/2026 di SISTER.

INDEKS

Cronbach's Alpha

Cp

Cpk

Defect Rate

DPMO

Inter-rater reliability

Koefisien Reliabilitas (r)

MTBF

Reliability

Split-half reliability

Statistical Quality Control / SQC

Test-retest reliability

GLOSARIUM

Glosarium dalam buku *Analisis Kualitas dan Reliabilitas* adalah

Reliabilitas: Kemampuan suatu produk atau sistem untuk berfungsi dengan baik dalam periode waktu tertentu tanpa mengalami kegagalan.

Kualitas: Tingkat kesesuaian produk atau jasa terhadap kebutuhan atau standar yang ditetapkan.

Kegagalan(Failure): Kondisi ketika produk/sistem tidak dapat menjalankan fungsi yang diharapkan.

MTBF (Mean Time Between Failures): Rata-rata waktu antar kegagalan pada sistem yang dapat diperbaiki.

MTTR (Mean Time To Repair): Rata-rata waktu yang diperlukan untuk memperbaiki sistem setelah gagal.

Availability: Tingkat kesiapan atau ketersediaan sistem untuk digunakan.

Six Sigma: Metode pengendalian kualitas untuk mengurangi cacat dalam proses produksi.

QC (Quality Control): Pengendalian kualitas untuk memastikan hasil sesuai standar.

QA (Quality Assurance): Jaminan kualitas melalui proses yang terencana dan sistematis.

SINOPSIS

Buku Analisis Kualitas dan Reliabilitas adalah ringkasan isi buku yang membahas metode untuk menilai mutu (quality) dan keandalan (reliability) suatu produk, sistem, atau layanan. Buku seperti ini biasanya digunakan dalam bidang teknik industri, manajemen kualitas, statistika, dan penelitian. Buku *Analisis Kualitas dan Reliabilitas* membahas konsep dasar kualitas dan reliabilitas serta penerapannya dalam pengendalian mutu produk dan sistem. Materi mencakup teknik pengukuran kualitas, pengujian reliabilitas, analisis kerusakan, distribusi probabilitas, serta metode statistik untuk evaluasi performa dan umur pakai produk. Buku ini juga menjelaskan penggunaan alat bantu seperti diagram kontrol, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), dan analisis Weibull untuk meningkatkan kualitas dan meminimalkan kegagalan. Dengan pendekatan teoritis dan contoh kasus praktis, buku ini membantu pembaca memahami cara meningkatkan efisiensi dan kepuasan pelanggan dalam dunia industri maupun penelitian.