

**ANALISA INDEKS KEANDALAN SISTEM PENUNJANG MESIN  
UTAMA PADA KAPAL**

**SKRIPSI**

*Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



**ANDI NUR HIDAYAT**

**D091171009**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

**ANALISA INDEKS KEANDALAN SISTEM PENUNJANG MESIN  
UTAMA PADA KAPAL**



**ANDI NUR HIDAYAT  
D091171009**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**“ANALISA INDEKS KEANDALAN SISTEM PENUNJANG  
MESIN UTAMA PADA KAPAL”**

Disusun dan diajukan oleh

**ANDI NUR HIDAYAT**

**D091171009**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

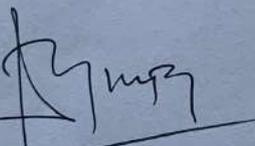
Pada tanggal 26 April 2022

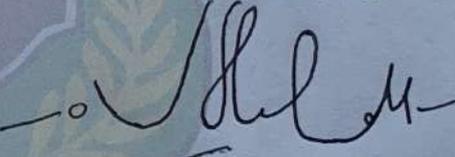
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
**Ir. Zulkifli, M.T.**  
**NIP.19570112198811102**

  
**Surya Harivanto, S.T., M.T.**  
**NIP.197107022000121001**

Ketua Departemen,



**Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng**  
**NIP.198102112005011003**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : **Analisa Indeks Keandalan Sistem Penunjang Mesin  
Utama Pada Kapal**  
Nama Mahasiswa : **ANDI NUR HIDAYAT**  
Stambuk : **D0911171009**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh Panitia Ujian Sarjana Program Strata Satu (S1) Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin pada tanggal 26 April 2022.

### Panitia Ujian Sarjana

Ketua : Ir. Zulkifli, M.T.  
Sekretaris : Surya Hariyanto, S.T., M.T.  
Anggota : Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D.  
Anggota : M. Rusydi Alwi, S.T., M.T.

Ketua Departemen,



**Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng**  
**NIP.198102112005011003**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

**Nama : ANDI NUR HIDAYAT**

**NIM : D091171009**

**Departemen : Teknik Sistem Perkapalan**

dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul :

**ANALISA INDEKS KEANDALAN SISTEM PENUNJANG MESIN**

**UTAMA PADA KAPAL**

adalah karya ilmiah saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut dan diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Makassar, 26 April 2022

Yang membuat pernyataan,



*Andi Nur Hidayat*  
Andi Nur Hidayat

## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillah rabbil'alamin, dengan segala kerendahan hati, penulis panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas izin, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat terselesaikannya penulisan Tugas Akhir yang berjudul "ANALISA INDEKS KEANDALAN SISTEM PENUNJANG MESIN UTAMA" dapat terselesaikan dengan baik. Salam dan shalawat senantiasa pula kita haturkan kepada nabi Muhammad SAW.

Penulisan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat Program Strata I pada Program Studi Teknik Sistem Perkapalan Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tugas Akhir ini disusun berdasarkan kajian literatur, dan juga diskusi.

Dalam penyajian Tugas Akhir ini penulis menyadari masih belum mendekati kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan koreksi dan saran yang sifatnya membangun sebagai bahan masukan yang bermanfaat demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan.

Penulis menyadari, berhasilnya penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan do'a kepada penulis dalam menghadapi hambatan, sehingga sepatutnya pada kesempatan ini penulis menghaturkan rasa terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis : orang tua, Ayahanda A. Firman dan Ibunda Kartini, yang sampai hari ini masih membuat saya termotivasi, saudara Andi Nursalam yang terus memberikan dukungan sehingga perkuliahan saya dapat terselesaikan.
2. Dr. Eng. Faisal Mahmumuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Ir. Zulkifli M.T selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Surya Harianto S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini.

5. Para Dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan saran yang baik.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu dan wawasan yang diberikan selama masa studi penulis.
7. Staf Tata Usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Perkapalan angkatan 2017 khususnya PERIZCOPE dan MI17SHIP, dan rekan-rekan Laboratorium Permesinan Kapal yang telah memberikan pengalaman berharga selama penulis menjadi Mahasiswa. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terima kasih kepada kanda-kanda Senior dan dinda-dinda Junior atas motivasi dan dukungannya.

Akhir kata semoga hasil penelitian dan Tugas Akhir ini dapat dimanfaatkan dan dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan pengetahuan bagi penulis maupun bagi pihak yang berkepentingan.

Gowa, Februari 2022

Andi Nur Hidayat  
NIM. D091171009

## ABSTRAK

Pada kapal terdapat banyak sistem, salah satunya yaitu sistem yang menunjang mesin induk kapal agar tetap dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Sistem yang bekerja secara terus menerus tanpa mendapatkan perawatan tidak akan terhindarkan dari kegagalan. Kegagalan (*failure*) yang terjadi pada sistem dapat menimbulkan kegagalan mesin induk yang bekerja di atas kapal yang merusak fungsi kapal dan dapat menimbulkan bahaya terhadap kapal dan penumpang karena tingkat keselamatan yang menurun. Untuk menghindari terjadinya suatu kerugian yang lebih besar maka analisa terhadap keandalan dari suatu peralatan atau sistem yang bekerja diatas kapal sangat perlu diperhatikan. Penelitian ini difokuskan pada sistem penunjang mesin utama (sistem bahan bakar, sistem pendingin, sistem pelumas) kapal patroli Aluminium KN.P 379, yang dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, *Fault Tree Analysis (FTA)* dan pendekatan *Reliability Blok Diagram (RBD)* untuk menganalisa indeks keandalan dari sistem penunjang mesin utama, mengetahui komponen yang harus mendapatkan perhatian lebih serta menjadwalkan perawatan terhadap sistem penunjang mesin induk KN.P 379. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa untuk mempertahankan nilai keandalan sistem penunjang mesin utama maka harus dilakukan perawatan sebelum waktu pengoperasian 1000 jam dengan indeks *reliability* sistem sebesar 0,74 jika dirawat sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan, dan komponen yang harus mendapat perhatian yang lebih dari pemilik kapal adalah strainer.

Kata Kunci : FMEA, FTA, RBD, Indeks Reliability

## **ABSTRACT**

In the ship, there are many systems one of which support the main engine support system in order to function properly. Systems that work constantly without getting treatment are inevitable from failure. Failure that occurs in one of components on ship can cause failure of a system working that damages function of ship and can pose a danger to passengers due to declining level of safety. To avoid a greater loss, analysis of reliability of any device or system that works aboard ship is critical. This study focused on the main engine support system (fuel system, cooling system, lubricant system) on Aluminum patrol ship KN. P 379, which is conducted qualitatively and quantitatively with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA) methods and Reliability Block Diagram (RBD) approach to analyze reliability index of the main engine support system, scheduling maintenance of main engine support system KN. P 379 and know component that should get more attention. The results of this study showed that in order to maintain the reliability value of main engine support system, then maintenance must be carried out before the operating time, that is 1000 hours with a system reliability index of 0.74 if maintained according to planned schedule, and component that must get more attention from the ship owner is strainer.

Keywords : FMEA, FTA, RBD, Reliability index

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Rumusan Masalah .....	2
I.3. Tujuan Penelitian .....	3
I.4. Batasan Masalah .....	3
I.5. Manfaat Penelitian .....	3
I.6. Metodologi Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
II.1. Bangunan Terapung .....	5
II.2. Sistem Penunjang Mesin Utama .....	5
II.2.1. Sistem Bahan Bakar (Fuel Oil System) .....	5
II.2.2. Sistem Pendingin (Cooling System) .....	6
II.2.3. Sistem Pelumas (Lubricating System) .....	6
II.3. Analisa Kualitatif .....	7
II.3.1. Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) .....	7
II.3.2. Perhitungan nilai RPN .....	9
II.3.3. Fault Tree Analysis (FTA) .....	11
II.4. Analisa Kuantitatif .....	15
II.4.1. Keandalan .....	15
II.4.2. Laju Kegagalan (Failure Rate) .....	18
II.4.3. Reliabilty Block Diagram .....	19
BAB III METOLOGI PENELITIAN .....	23
III.1. Tempat Dan Waktu Penelitian .....	23
III.2. Metode Penelitian .....	23
III.2.1. Penelitian Keandalan Sistem .....	23

III.2.2. Pengumpulan data .....	23
III.2.3. Studi Lapangan dan Literatur .....	24
III.2.4. Pengolahan Data .....	24
III.3. Kerangka Alur Penelitian .....	26
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	27
IV.1. Umum .....	27
IV.2. Komponen Sistem Penunjang Mesin Induk .....	28
IV.2.1. Komponen Sistem Bahan Bakar .....	28
IV.2.2. Komponen Sistem Pendingin .....	28
IV.2.3. Komponen Sistem Pelumas .....	29
IV.3. Prinsip Kerja Sistem .....	30
IV.3.1. Prinsip Kerja sistem Bahan Bakar .....	30
IV.3.2. Prinsip Kerja Sistem Pendingin .....	31
IV.3.3. Prinsip Kerja Sistem Pelumas .....	32
IV.4. Analisa Kualitatif .....	32
IV.4.1. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) .....	32
IV.4.2. Analisa Fault Tree Analysis (FTA) .....	45
IV.5. Analisa Kuantitatif .....	51
IV.5.1. Reliabilty Block Diagram .....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	62
DAFTAR PUSTAKA .....	64
LAMPIRAN 1 .....	66
LAMPIRAN 2 .....	67
LAMPIRAN 3 .....	68
LAMPIRAN 4 .....	71
LAMPIRAN 5 .....	73
LAMPIRAN 6 .....	75
LAMPIRAN 7 .....	78
LAMPIRAN 8 .....	82
LAMPIRAN 9 .....	97

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Failure Mode And Effect Analysis (FMEA ).....	8
Tabel 2. 2 Severity Rating.....	9
Tabel 2. 3 Occurance Rating.....	10
Tabel 2. 4 Detection Rating .....	11
Tabel 2. 5 Simbol-Simbol Fault tree (Priyanta,2000).....	13
Tabel 4. 1 FMEA sistem bahan bakar.....	34
Tabel 4. 2 Nilai severity sistem pendingin.....	36
Tabel 4. 3 Nilai occurance sistem pendingin .....	36
Tabel 4. 4 RPN sistem bahan bakar .....	37
Tabel 4. 5 FMEA sistem pendingin .....	38
Tabel 4. 6 Nilai severity sistem pendingin.....	40
Tabel 4. 7 Nilai occurance sistem pendingin .....	40
Tabel 4. 8 Nilai RPN sistem pendingiin.....	41
Tabel 4. 9 FMEA sistem pelumas .....	42
Tabel 4. 10 Nilai Severity sistem pelumas.....	43
Tabel 4. 11 nilai occurance sistem pelumas.....	44
Tabel 4. 12 RPN sistem pendingin.....	44
Tabel 4. 13 Minimal Cut set dari Fault tree sistem bahan bakar.....	47
Tabel 4. 14 Minimal Cut set dari Fault tree sistem pendingin.....	49
Tabel 4. 15 Minimal Cut set dari Fault tree sistem pelumas.....	50
Tabel 4. 16 Data laju kegagalan komponen sistem bahan bakar .....	52
Tabel 4. 17 Data laju kegagalan komponen sistem pendingin.....	52
Tabel 4. 18 Data laju kegagalan komponen sistem pelumas .....	53
Tabel 4. 19 Indeks reliabilty Sistem penunjang mesin induk .....	57
Tabel 4. 20 Nilai Reliability Komponen sistem penunjang mesin induk .....	59
Tabel 4. 21 Jadwal perawatan komponen sistem .....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gambar fungsi densitas kegagalan.....	18
Gambar 2. 2 Kurva laju kegagalan bak mandi (bath-tub).....	19
Gambar 2. 4 Reliability Block Diagram .....	20
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian.....	26
Gambar 4. 1 Grafik nilai RPN komponen sistem penunjang mesin induk .....	45
Gambar 4. 2 Diagram Fault tree Sistem Bahan bakar.....	46
Gambar 4. 3 Diagram Fault tree Sistem Pendingin.....	48
Gambar 4. 4 Diagram Fault tree Sistem Pelumas .....	50
Gambar 4. 5 Blok Diagram Sistem Bahan Bakar .....	54
Gambar 4. 6 Penyederhanaan blok diagram sistem bahan bakar.....	54
Gambar 4. 7 Blok diagram sistem pendingin.....	55
Gambar 4. 8 Blok diagram sistem pelumas .....	56
Gambar 4. 9 Blok diagram sistem penunjang mesin utama.....	57

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang**

Keandalan adalah probabilitas yang selalu dikaitkan dengan akumulasi waktu dimana suatu alat beroperasi tanpa mengalami kerusakan dalam kondisi lingkungan tertentu. Keandalan merupakan parameter kualitas yang menyatakan probabilitas suatu komponen, sub-sistem atau sistem peralatan untuk melaksanakan fungsinya tanpa mengalami kegagalan (*failure*) pada periode waktu dan kondisi operasi yang telah ditentukan. Dengan analisa keandalan, prediksi kapan dan bagaimana suatu komponen, sub-sistem atau sistem peralatan akan mengalami kegagalan dapat dilakukan. Kerusakan terjadi ketika alat tidak berfungsi sesuai yang diinginkan. Analisa keandalan (*Reliability*) telah diperkenalkan sejak tahun 1960 oleh Nowlan dan Heap dengan objek analisa pada bidang penerbangan dan kemudian dikembangkan pada obyek lain meliputi bidang perkapalan, militer, maupun industri.

Dalam industri perkapalan penerapan analisis keandalan secara progresif dikembangkan dengan adanya akan tingkat keamana dan keandalan dari desain atau sistem yang ada. Ada beberapa komponen di dalam mendesain kapal yang memerlukan analisis keandalan antara lain struktur, permesinan, dan peralatan. Dimana komponen tersebut menentukan tingkat keamanan dan keandalan suatu kapal sesuai dengan kondisi pengopersiannya.

Pada kapal terdapat banyak sistem, salah satunya yaitu sistem yang menunjang mesin induk kapal agar tetap dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Sistem yang bekerja secara terus menerus tidak akan terhindarkan dari kegagalan. Kegagalan (*failure*) yang terjadi pada sistem dapat menimbulkan kegagalan mesin induk yang bekerja di atas kapal yang merusak fungsi kapal dan dapat menimbulkan bahaya terhadap kapal dan penumpang karena tingkat keselamatan yang menurun. Dengan demikian, sistem yang bekerja secara terus menerus tidak akan terhindarkan dari yang namanya keausan pada suatu komponen yang bekerja pada sistem tersebut dan mengakibatkan terjadinya pengurangan efektivitas kinerja dari

sistem sehingga menyebabkan resiko kegagalan suatu komponen atau sistem tersebut. Sehingga faktor keandalan suatu sistem diatas kapal sangat perlu untuk dianalisa.

Perencanaan perbaikan system pada sebuah kapal dibutuhkan untuk mempersiapkan langkah-langkah antisipasi selama pengoperasian kapal dan sebagai referensi untuk *crew* kapal untuk pemeliharaan dan perawatan guna memastikan sistem yang bekerja diatas kapal berada dalam kondisi normal. Peralatan yang handal adalah peralatan yang memenuhi spesifikasi perancangan dan memiliki kinerja yang bebas gangguan dalam lingkungan yang dikehendaki. Oleh sebab itu untuk menghindari terjadinya suatu kerugian yang lebih besar maka dilakukan analisa terhadap keandalan dari suatu peralatan atau sistem yang bekerja diatas kapal.

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan diatas, maka analisa keandalan sistem perlu untuk dilakukan. Disamping itu salah satu alasan mengapa evaluasi keandalan perlu untuk dilakukan karena mengingat sistem yang ada walaupun telah mendapat rekomendasi dari Biro Klasifikasi yang hanya memberikan petunjuk persyaratan minimal agar suatu sistem dapat beroperasi secara benar dan aman namun tidak melakukan evaluasi terhadap *reliability* .

Mengingat banyaknya sistem yang ada di atas kapal, maka penelitian ini ditekankan pada sistem bahan bakar (*Fuel Oil System*), Sistem Pendingin (*Cooling System*), Sistem Pelumas (*Lubricating system*), dan sebagai objek penelitian yaitu kapal patroli Aluminium KN.P 379 yang dibangun di PT. Industri Kapal Indonesia, Makassar.

## **I.2. Rumusan Masalah**

Karena pentingnya sistem penunjang mesin induk pada kapal terutama sistem bahan bakar, sistem pendingin, dan sistem pelumas, maka indeks keandalan sistem penunjang mesin induk sangat perlu dilakukan analisa. Sehingga rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana analisa untuk mengetahui indeks keandalan sistem penunjang mesin utama pada KN.P. 379?

2. Bagaimana menentukan waktu perawatan sistem pada waktu yang akan datang dengan indeks *reliability* sebagai tolak ukur ?
3. Bagaimana menentukan komponen kritis?

### **I.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui indeks keandalan sistem penunjang mesin utama KNP.379 (sistem bahan bakar, sistem pendingin dan sistem Pelumas).
2. Memprediksi waktu perawatan sistem pada waktu yang akan datang dengan indeks *reliability* sebagai tolak ukur.
3. Menentukan komponen kritis.

### **I.4. Batasan Masalah**

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah agar penelitian lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan sehingga tujuan penelitian akan tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Study dalam penelitian ini adalah difokuskan pada sistem instalasi bahan bakar, sistem pendingin, dan sistem pelumas mesin induk KN.P 379 Makassar.
2. Objek study dalam penelitian ini adalah difokuskan pada kapal patroli aluminium yaitu KN.P 379 Makassar.

### **I.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Dapat memudahkan *owner* untuk merawat komponen instalasi yang ada pada sistem bahan bakar, sistem pendingin, dan sistem pelumas.
2. Memberikan informasi tentang tingkat keandalan sistem bahan bakar, sistem pendingin dan sistem bahan bakar pada kapal patroli KNP. 379

## **I.6. Metodologi Penelitian**

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi konsep dasar penyusunan skripsi yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini memberikan penjelasan mengenai teori dasar yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini yaitu tentang kendalan dan teori dasar tentang metode yang digunakan dalam analisa keandalan sistem.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan menjelaskan tahapan-tahapan yang berupa proses yang dimulai dari mengidentifikasi masalah yang ada hingga hasil akhir yang diharapkan.

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan membahas hasil analisa kualitatif dan kuantitatif, pengolahan data digunakan dengan menggunakan metode *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)*, *Fault Tree Analysis (FTA)*, dan *Reliability Block Diagram (RBD)* untuk mengetahui indeks keandalan (*reliability*) sistem tersebut

### **BAB V : PENUTUP**

Bab ini akan menyajikan secara singkat kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan dan juga memuat saran-saran bagi pihak yang berkepentingan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1. Bangunan Terapung**

Bangunan terapung dalam hal ini dimaksudkan adalah kapal yang merupakan sarana transportasi laut yang setiap harinya tentu berada di laut. Kapal haruslah selalu dalam kondisi yang baik sehingga keselamatan barang dan penumpang terjaga dengan baik. Oleh karena itu, sedari dini komponen-komponen yang ada pada sebuah kapal haruslah diperhatikan sejak kapal itu mulai dibangun. Kesalahan dalam membangun kapal akan menimbulkan risiko yang sangat besar, dapat mengancam keselamatan penumpang dan tentu dapat menimbulkankerugian besar kepada pemilik kapal (*owner*).

Bagian kapal yang mendapat perhatian lebih saat pembangunan kapal adalah bagian kamar mesin dikarenakan komponen yang ada di dalam kamar mesin merupakan bagian vital pada sebuah kapal. Didalam kamar mesin terdapat komponen dan sistem yang menunjang bergeraknya sebuah kapal, oleh sebab itu dalam pembangunan sebuah kapal peralatan yang ada dalam kamar mesin harus diperhatikan dengan teliti pemasangannya agar berada dalam kondisi yang baik dan prima saat kapal melakukan pelayaran.

#### **II.2. Sistem Penunjang Mesin Utama**

Secara umum mesin induk di dalam kapal membutuhkan sistem penunjang agar dapat beroperasi dengan baik dan tanpa mengalami gangguan yang berarti dan tiap unit bagian mesin harus mendapat perawatan secara simultan dan *continue*. Secara umum sistem pendukung pada mesin tersebut dibagi menjadi 3 bagian utama, yaitu: sistem selumas (*Lubrication*), sistem bahan bakar (*Fuel Oil system*) sistem pendingin (*Cooling System*).

##### **II.2.1. Sistem Bahan Bakar (*Fuel Oil System*)**

Sistem bahan bakar adalah suatu sistem pelayanan untuk motor induk yang sangat vital. Sistem bahan bakar secara umum terdiri dari *fuel oil supply*, *fuel oil purifying*, *fuel oil transfer* dan *fuel oil drain piping system*. Sistem bahan bakar

adalah suatu sistem yang digunakan untuk mensuplai bahan bakar dari *bunker* ke *service tank* dan juga *daily tank* dan kemudian ke mesin induk atau mesin bantu. Adapun jenis bahan bakar yang digunakan diatas kapal bisa berupa *Heavy Fuel Oil* (HFO), *Marine Diesel Oil* (MDO) , ataupun solar biasa tergantung jenis mesin dan ukuran mesin. Untuk system yang menggunakan bahan bakar HFO untuk operasionalnya, sebelum masuk ke *main engine* (Mesin utama) HFO harus ditreatment dahulu untuk penyesuaian viskositas, temperatur dan tekanan.

Sistem bahan bakar memegang peranan yang penting untuk menyuplai bahan bakar ke dalam ruang bakar pada motor diesel sebagai penggerak utama di kapal. Kegagalan pada komponen sistem bahan bakar dalam beroperasi diakibatkan dari gagalnya salah satu komponen yang ada pada sistem bahan bakar tersebut. Untuk itu diperlukan sebuah evaluasi keandalan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada komponen tersebut.

### **II.2.2. Sistem Pendingin (*Cooling System*)**

Sistem pendingin merupakan salah satu sistem penunjang dari sistem penggerak utama dari sebuah kapal. Sistem pendingin bertujuan untuk menjaga agar temperatur mesin tetap berada pada batas yang diperbolehkan sesuai dengan kekuatan material, karena kekuatan material akan menurun sejalan dengan naiknya temperatur (*overheating*). Pada kapal dengan penggerak motor bakar dengan pendingin air, air pendingin dialirkan melalui dan menyelubungi dinding silinder, kepala silinder serta bagian-bagian lain yang perlu didinginkan. Air pendingin akan menyerap kalor dari semua bagian tersebut, kemudian mengalir meninggalkan blok mesin menuju radiator atau alat pendingin yang menurunkan kembali temperaturnya.

### **II.2.3. Sistem Pelumas (*Lubricating System*)**

Sistem pelumasan adalah suatu sistem yang bekerja untuk mengurangi gesekan antara dua permukaan benda yang saling bergesekan dengan menggunakan suatu zat cair untuk melumasi permukaan yang bergesekan tersebut. Mesin pembakaran dalam (*internal combustion*) tidak dapat berjalan jika bagian-bagian

yang bergerak yang terdiri dari logam-logam diperbolehkan saling kontak tanpa lapisan pelumas. Panas yang dihasilkan luar biasa karena jumlah gesekan akan mencairkan logam, menuju kehancuran mesin. sistem pelumasan mesin yang berfungsi sebagai penyuplai minyak pelumas kebagian mesin yang perlu dilumasi mengalami masalah maka bagian *engine* yang kurang pelumas akan cepat aus serta dikhawatirkan motor induk tidak mampu menahan panas yang ditimbulkan oleh kerja motor induk tersebut sehingga hal ini dapat mengganggu kinerja dari motor induk dikapal.

### **II.3. Analisa Kualitatif**

Analisa kualitatif adalah suatu analisa yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem berdasarkan analisa kegagalan, sehingga kita dapat melakukan penilaian keandalan berdasarkan data kualitatif serta pengalaman yang sudah ada. Dalam analisa kualitatif untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem sering digunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault tree Analysis* (FTA).

#### **II.3.1. *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA)**

Menurut Roger D. Leitch, definisi dari *failure modes and effect analysis* adalah analisa teknik yang apabila dilakukan dengan tepat dan waktu yang tepat akan memberikan nilai yang besar dalam membantu proses pembuatan keputusan dari engineer selama perancangan dan pengembangan. Analisa tersebut biasa disebut analisa “bottom up”, seperti dilakukan pemeriksaan pada proses produksi tingkat awal dan mempertimbangkan kegagalan sistem yang merupakan hasil dari keseluruhan bentuk kegagalan yang berbeda.

Menurut John Moubray, definisi dari *failure modes and effect analysis* adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh kegagalan berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan. Billinton. R. and Ronald N. Allan. [1992].

Secara umum, FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu :

- Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya,
- Efek dari kegagalan tersebut,
- Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

Output dari Process FMEA adalah:

- Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses.
- Daftar critical characteristic dan significant characteristic.
- Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadiannya dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.

Dengan menggunakan metode FMEA, dapat dilakukan pencegahan terjadinya kegagalan dalam produk atau proses, sejak dari tahap awal. FMEA merupakan salah satu langkah *quality management* sekaligus risiko management. Hasilnya tidak hanya menurunkan risiko kegagalan, melainkan juga meningkatkan kualitas dari produk/proses. HOyland, Arnljot and Marvin Rausan. [1994].

Berikut contoh tabel FMEA :

**Tabel 2. 1** *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA )*

Nama Komponen	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Akibat Kegagalan			Deteksi Kegagalan	Tindakan yang diambil
			Ringan	Lanjutan	Parah		

### II.3.2. Perhitungan nilai RPN

Untuk memudahkan dalam menilai risiko, mode kegagalan dinyatakan dalam skala nilai kualitatif yang mengidentifikasi berbagai tingkat kondisi bahaya Skala kualitatif, untuk menilai severity (tingkat keparahan), occurrence (frekuensi kejadian) dan detection (deteksi). Franceschini, F. & Galetto, M., [2001].

RPN diperoleh melalui hasil perkalian antara rating Severity (S), Occurrence (O) dan Detection (D) berdasarkan persamaan :

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

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.1)$$

**Tabel 2. 2 Severity Rating**

Efek	Kriteria Severity	Peringkat
Berbahaya tanpa adanya peringatan	Kegagalan yang menghasilkan efek yang sangat berbahaya	10
	Dapat menggagalkan sistem	
	Kegagalan terjadi tanpa adanya peringatan terlebih dahulu	
	Tidak ada tanda-tanda kerusakan sebelumnya	
	Dapat membahayakan operator	
Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan yang menghasilkan efek yang sangat berbahaya	9
	Dapat menggagalkan sistem.	
	Dapat membahayakan operator	
	Adanya tanda-tanda kerusakan sebelumnya.	
Sangat Tinggi	Sistem tidak dapat dioperasikan karena ada gangguan besar pada komponen subsistem	8
	100% komponen harus dibongkar	
Tinggi	Sistem tidak dapat dioperasikan karena komponen sistem kehilangan fungsi utamanya	7
Sedang	Sistem dapat beroperasi, tetapi dapat merusak komponen	6
	Mengalami pemborosan bahan baku untuk proses berikutnya, karena tidak ada output yang dihasilkan	
	Ada komponen yang tidak berfungsi	
Rendah	Sistem dapat beroperasi dengan aman tetapi mengalami penurunan performa secara bertahap	5
Sangat Rendah	Gangguan minor pada komponen dengan efek yang sangat rendah	4

Kecil	Komponen dapat beroperasi dengan normal, namun ada gangguan kecil, operator menyadari adanya gangguan.	3
Sangat Kecil	Komponen sistem dapat beroperasi dengan normal, efek dari gangguan tidak mengganggu jalannya operasi mesin	2
Tidak ada Efek	Tidak ada efek sama sekali atau bentuk kegagalan tidak memiliki pengaruh pada mesin maupun komponen sistem.	1
Catatan: Tingkat severity diadopsi dari standar reference manual potential failure mode and effect analysis dari AIAG, dilakukan modifikasi kriteria untuk menyesuaikan objek, kejadian dan istilah di lapangan.		

**Tabel 2. 3 Occurance Rating**

Peluang Kegagalan	Kejadian Gagal	Frekuensi Kejadian ( 5 Tahun)	Peringkat
Sangat Tinggi	1 per 1 bulan	>60	10
	1 per 3 bulan	20	9
Tinggi	1 per 6 bulan	10	8
	1 per 9 bulan	6	7
Sedang	1 per 12 bulan	5	6
	1 per 18 bulan	4	5
Rendah	1 per 24 bulan	3	4
	1 per 48 bulan	2	3
Terkontrol	1 per 60 bulan	1	2
	Tidak pernah sama sekali	<1	1
Catatan: Tingkat severity diadopsi dari standar reference manual potential failure mode and effect analysis dari AIAG, dilakukan modifikasi kriteria untuk menyesuaikan objek, kejadian dan istilah di lapangan.			

**Tabel 2. 4** *Detection Rating*

Penilaian	Deteksi	Kriteria
10	Mustahil	Sistem kontrol tak dapat mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan
9	Sangat kecil	Sangat jauh sistem kontrol akan mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan
8	Kecil	Hampir sangat jauh sistem kontrol akan mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan
7	Sangat rendah	Jauh sistem kontrol akan mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan
6	Rendah	Sangat rendah sistem kontrol akan mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan
5	Moderat	Hampir sangat rendah sistem kontrol akan mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan
4	Tidak tinggi	Rendah sistem kontrol akan mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan
3	Tinggi	Tinggi sistem kontrol akan mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan
2	Sangat tinggi	Sangat tinggi sistem kontrol akan mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan
1	Tepat mendeteksi	sistem kontrol tepat mendeteksi potensi penyebab dan modus kegagalan

### **II.3.3. Fault Tree Analysis (FTA)**

*Fault tree Analysis* (FTA) adalah sebuah metode untuk mengidentifikasi kegagalan (*failure*) dari suatu sistem, baik yang disebabkan oleh kegagalan komponen atau kejadian kegagalan lainnya secara bersama atau individu. Setiap sistem biasanya memiliki beberapa beberapa mode kegagalan (*failure mode*). Hubungan logis antara moda kegagalan sistem yang dikenal sebagai *Top event* dan sebab-sebab kegagalan dasar (*Basic event*) yang juga dikenal sebagai *Prime Event*, digambarkan dalam metode *Fault tree Analysis*.

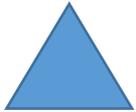
*Fault tree Analysis* juga dikenal sebagai top down karena titik awal dari analisa ini merupakan pengidentifikasian mode kegagalan (*failure mode*) pada tingkat teratas (*top level*) dari suatu sistem atau sub sistem yang kemudian

dilanjutkan ke bawah. Dengan kata lain moda kegagalan sistem (*top event*) harus terlebih dahulu ditentukan, kemudian sistem dianalisa untuk mendapatkan kemungkinan yang menyebabkan sistem mengalami kegagalan. Dengan demikian *fault tree* dapat disusun dengan menggunakan hubungan logika (*logicallink*) yang dimulai dengan menentukan *top event* terlebih dahulu kemudian dihubungkan ke bawah dengan *event-event* yang memberikan kontribusi secara langsung terjadinya *top event* dengan menggunakan simbol simbol gerbang AND berarti bahwa semua kejadian di bawah gerbang tersebut harus terjadi agar kejadian di atas gerbang terjadi. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. Simbol grafis yang dipakai untuk menyatakan hubungan disebut gerbang logika (*logika gate*). *Output* dari sebuah gerbang logika ditentukan oleh *event* yang masuk kegerbang tersebut.

Menurut Priyanta (2000) terdapat 5 tahapan untuk melakukan analisis dengan *Fault tree Analysis (FTA)*, yaitu:

1. Mendefinisikan masalah dan kondisi batas dari suatu sistem yang ditinjau.
2. Penggambaran model grafis *fault tree*.
3. Mencari minimal *cut set* dari analisis *fault tree*.
4. Melakukan analisa kualitatif dari *fault tree*.
5. Melakukan analisa kuantitatif dari *fault tree*.

**Tabel 2. 5** Simbol-Simbol *Fault tree* (Priyanta,2000)

Simbol	Deskripsi
	OR GATE menunjukkan output akan terjadi jika salah satu dari event terjadi
	AND GATE menunjukkan output akan terjadi jika semua event terjadi
	Basic event menyatakan kegagalan sebuah basic equipment yang tidak memerlukan penelitian lebih lanjut
	Undevelop Event menyatakan sebuah event yang tidak diteliti lebih lanjut karena ketersediaan atau cukupnya informasi
	Simbol Transfer menunjukkan bahwa fault tree dikembangkan lebih jauh

a. Pengkonstruksian *Fault tree*

Pengkonstruksian *fault tree* selalu bermula dari *top event*. Oleh karena itu, berbagai *fault event* yang secara langsung, penting, dan berbagai penyebab terjadinya *Top event* harus secara teliti diidentifikasi. Berbagai penyebab ini dikoneksikan ke *Top event* oleh sebuah gerbang logika. Penting kiranya bahwa penyebab level pertama di bawah *Top event* harus disusun secara terstruktur. Level pertama ini sering disebut dengan *TOP structure* dari sebuah *fault tree*. *TOP structure* ini sering diambil dari kegagalan modul – modul utama sistem, atau fungsi utama dari sistem. Analisa dilanjutkan level demi level samapai semua *fault event* telah dikembangkan sampai pada resolusi yang ditentukan. Analisa ini merupakan analisa deduktif dan dilakukan dengan mengulang pertanyaan “Apa alasan terjadinya *event* ini?”. Tabel 2.5 menunjukkan berbagai simbol yang dipakai untuk mengkonstruksi sebuah *fault tree*.

Ada beberapa aturan yang harus dipenuhi dalam mengkonstruksi sebuah *fault tree*. Berikut ini beberapa aturan yang dipakai untuk mengkonstruksi sebuah

*fault tree* :

1. Diskripsikan *fault event*.

Masing–masing *basic event* harus didefinisikan secara teliti (apa, dimana, kapan) dalam sebuah kotak.

2. Evaluasi *fault event*.

Kegagalan komponen dikelompokkan dalam tiga kelompok yaitu, *primary failures*, *secondary failures*, dan *command faults*.

Sebuah normal *basic event* di dalam sebuah *fault tree* merupakan sebuah *primary failures* yang menunjukkan bahwa komponen merupakan penyebab dari dari kegagalan. *Secondary failures* dan *command faults* merupakan *Intermediate event* yang membutuhkan investigasi lebih mendalam untuk mengidentifikasi alasan utama.

- b. Lengkapi semua gerbang logika

Semua input ke gate tertentu harus didefinisikan dengan lengkap dan didiskripsikan sebelum memproses gate lainnya. *Fault tree* harus diselesaikan pada masing–masing level sebelum memulai level berikutnya.

- c. Pengidentifikasian Minimal *Cut set*

Sebuah *fault tree* memberikan informasi yang berharga tentang berbagai kombinasi dari *fault event* yang mengarah pada *critical failure* sistem. Kombinasi dari berbagai *fault event* disebut dengan *cut set*. Pada terminologi *fault tree*, sebuah *cut set* didefinisikan sebagai *basic event* yang bila terjadi (secara simultan) akan mengakibatkan terjadinya *Top event*. Sebuah *cut set* dikatakan sebagai *minimal cut set* jika *cut set* tersebut tidak dapat direduksi tanpa menghilangkan statusnya sebagai *cut set*.

Jumlah *basic event* yang berbeda di dalam sebuah minimal *cut set* disebut dengan *order cut set*. Untuk *fault tree* yang sederhana adalah mungkin untuk mendapatkan minimal *cut set* dengan tanpa menggunakan prosedur formal/algorithm. Untuk *fault tree* yang lebih besar, maka diperlukan sebuah algoritma untuk mendapatkan minimal *cut set* pada *fault tree*. MOCUS (*method for obtaining cut sets*) merupakan sebuah algoritma yang dapat dipakai untuk

mendapatkan minimal *cut set* dalam sebuah *fault tree*.

#### d. Evaluasi Kualitatif *Fault tree*

Evaluasi kualitatif dari sebuah *fault tree* dapat dilakukan berdasarkan minimal *cut set*. Kekritisannya dari sebuah *cut set* jelas tergantung pada jumlah *basic event* di dalam *cut set* (order dari *cut set*). Sebuah *cut set* dengan orde satu umumnya lebih kritis daripada sebuah *cut set* dengan orde dua atau lebih. Jika sebuah *fault tree* memiliki *cut set* dengan orde satu, maka *Top event* akan terjadi sesaat setelah *basic event* yang bersangkutan terjadi. Jika sebuah *cut set* memiliki dua *basic event*, kedua *event* ini harus terjadi secara serentak agar *Top event* dapat terjadi.

Faktor lain yang penting adalah jenis *basic event* dari sebuah minimal *cut set*. Kekritisannya dari berbagai *cut set* dapat diranking berdasarkan dari *basic event* berikut ini :

1. *Human error*
2. Kegagalan komponen / peralatan yang aktif (*active equipment failure*)
3. Kegagalan komponen / peralatan yang pasif (*passive equipment failure*)

## II.4. Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif adalah suatu analisa yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem dengan cara memecah sistem terlebih dahulu menjadi beberapa komponen. Kemudian dilanjutkan dengan mengestimasi atau mendapatkan nilai *reliability* dari masing-masing komponen. Dengan nilai *reliability* setiap komponen maka kita dapat menghitung untuk mengetahui *reliability* dari sistem tersebut.

### II.4.1. Keandalan

Keandalan (*reliability*) dari suatu sistem merupakan peluang (probability) dimana sistem tidak akan gagal selama periode waktu dan kondisi pengoperasian tertentu, sementara resiko kegagalan adalah peluang dimana sistem akan gagal selama periode waktu dan kondisi pengoperasian tertentu pula.

Kegagalan (*failure*) adalah suatu kejadian yang tidak pasti (*Probabilistic Event*) dan dapat terjadi akibat kerusakan-kerusakan dalam sistem, *wear, and tear*

atau faktor gangguan dari dalam maupun di luar yang tak disangka-sangka. Hal ini dapat juga terjadi akibat kesalahan perencanaan (*faulty desain*), pemeliharaan yang tidak cukup, kesalahan pengoperasian, bencana alam atau faktor-faktor lain. Bagian terbesar dari sistem saling mempengaruhi dan dipengaruhi oleh sistem yang lain yang dapat menyebabkan kondisi atau faktor-faktor dimana resiko bertambah atau penyebab kegagalan secara aktual dari sistem.

Dengan demikian keandalan (*reliability*) dapat didefinisikan secara lengkap yaitu bahwa keandalan suatu komponen atau sistem merupakan peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas atau fungsinya yang telah ditetapkan atau diperlukan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu bila dioperasikan secara benar dalam lingkungan tertentu, Davidson,}. ed. [ 1988].

Dalam hal ini tugas atau fungsi yang telah ditetapkan atau diperlukan dapat berupa sebuah tugas atau gabungan dari tugas atau fungsi yang diperlukan untuk melayani suatu kebutuhan. Beberapa fungsi yang digunakan untuk mengevaluasi *reliability* nsuatu sistemyang disarikan dari Ramakumar [ 1993 ] dan Billinton dan Allan [ 1992 ] sebagai berikut :

Bila T adalah random variabel yang menggambarkan waktu kegagalan suatu komponen atau sistem maka peluang kesuksesan (*reliability*) dari komponen atau sistem terhadap waktu t adalah :

$$P(t > T) = R(t) \tag{2.2}$$

Dimana R (t) adalah *time-dependent reliability* atau peluang sukses dari komponen atau sistem sebagai fungsi dari waktu. Bila t bertambah, kesempatan terjadinya kegagalan bertambah pula atau dengan kata lain bila  $t \rightarrow \infty$ , maka  $R(t) \rightarrow 0$ .

Jika f ( t ) adalah sebuah *probability densily function* (pdf) dari sebuah komponen ntau sistem maka peluang kegagalan komponen atau sistem sebagai fungsi dari waktu kegagalan, dalam interval waktu ( 0,t) adalah :

$$P(T(t) = Q(t) = F(t) \tag{2.3}$$

Atau

$$F(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \tag{2.4}$$

Persamaan di atas sering pula disebut sebagai fungsi *unreliability*,  $Q(t)$ , yang merupakan fungsi distribusi kegagalan dari random variabel  $T$ , sehingga fungsi kerapatan kegagalan (*failure density function*) dari suatu komponen atau sistem adalah :

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{d}{dt}(1 - R(t)) \quad (2.5)$$

$$f(t) = -R'(t)$$

Sebaliknya, fungsi *reliability* atau keandalan adalah peluang dimana kegagalan tidak akan terjadi sebelum waktu  $t$ . Dengan kata lain *reliability* didefinisikan sebagai peluang dari komponen atau sistem tidak akan mengalami kegagalan dalam interval waktu  $(t, \infty)$ , dan didefinisikan sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - 1 - Q(t) = P(T > t) \quad (2.6)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt$$

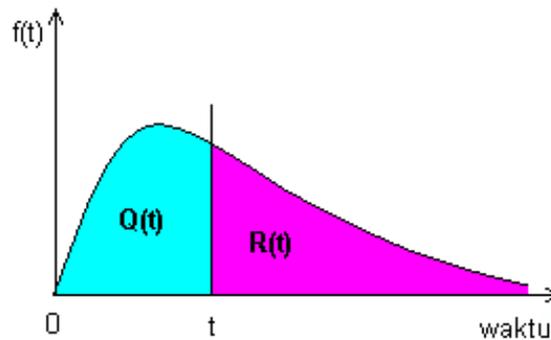
Untuk fungsi *eksponensial probability density function*nya didefinisikan sebagai berikut :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

Dimana  $\lambda$  adalah *failure rate* dari komponen dalam jumlah kegagalan per jam. sehingga fungsi *reliability* untuk distribusi eksponensial dari persamaan (2.6) di atas akan berubah menjadi:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.8)$$

Dengan mempertimbangkan fungsi *unreliability* dan fungsi *reliability* gambar 2.2 menyatakan tipikal kurva fungsi densitas kegagalan (*failure density function*). Dengan mempertimbangkan persamaan (2.4) dan (2.6) maka luasan daerah dibawah kurva untuk interval (Q,t) mewakili *unreliability* , sedangkan luasan dibawah kurva dengan interval (R,t) mewakili fungsi *reliability* .



**Gambar 2. 1** Gambar fungsi densitas kegagalan

#### II.4.2. Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan adalah harga rata-rata dari jumlah kegagalan per satuan waktu pada selang waktu pengamatan tertentu (t), dan dinyatakan dalam satuan kegagalan per satuan waktu. Pada pengamatan harga kegagalan dinyatakan sebagai :

$$\lambda = \frac{d}{t} \quad (2.9)$$

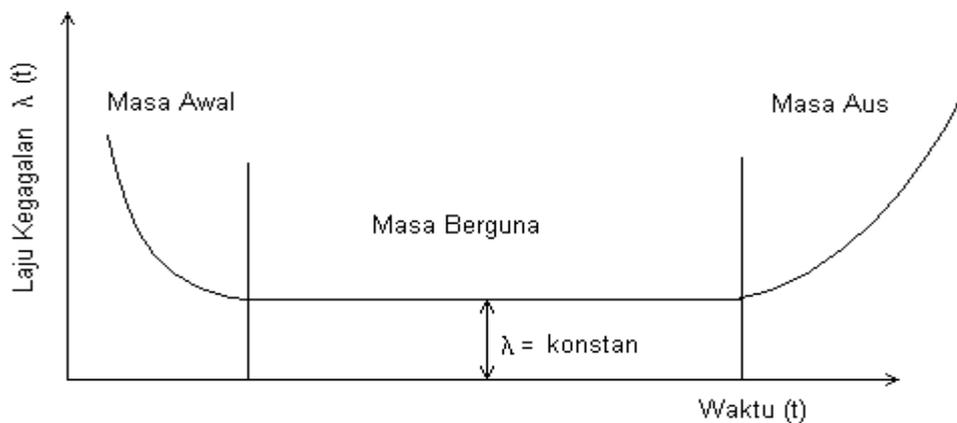
Dimana :

$\lambda$  : laju kegagalan ( kegagalan/hr)

d : Jumlah kegagalan yang terjadi selama waktu t

t : selang waktu pengamatan

Laju kegagalan dari suatu komponen mewakili tiga kelompok utama yang dapat digambarkan dalam sebuah kurva yang disebut dengan kurva bak mandi (*bath-tub curve*). Kurva ini terdiri dari tiga bagian utama yaitu masa awal (*burn-in period*), masa berguna (*useful life period*) dan masa aus (*wear-out period*) seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2



**Gambar 2. 2** Kurva laju kegagalan bak mandi (bath-tub)

Dari kurva di atas dapat dijelaskan bahwa masa awal dari suatu komponen atau sistem ditandai dengan tingginya kegagalan yang berangsur-angsur turun seiring dengan bertambahnya waktu, Untuk masa berguna (*useful period*) laju kegagalan komponen atau sistem cenderung konstan dan untuk masa aus (*wear-out period*) ditandai dengan laju kegagalan yang cenderung naik seiring dengan bertambahnya waktu.

### II.4.3. Reliability Block Diagram

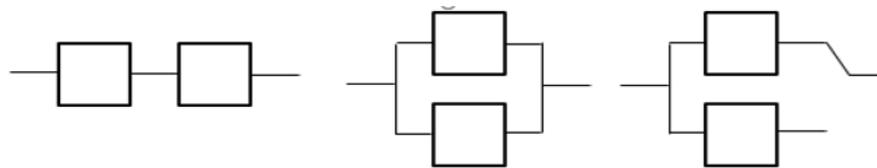
Dalam perancangan sistem rekayasa, sebelum dilakukan perancangan secara rinci (*detailed design*) terlebih dahulu sistem yang ditinjau diungkapkan dalam skematik blok diagram yang menunjukkan keterkaitan fisik antara komponen penyusun sistem tersebut. Setiap komponen diwakili oleh sebuah blok. Selanjutnya disusun sebuah fungsional diagram yang menunjukkan :

1. Keterkaitan fungsi setiap komponen secara menyeluruh.
2. Urutan proses yang dikehendaki terjadi dalam sistem tersebut.

Berdasarkan diagram-diagram tersebut disusun sebuah diagram blok

keandalan (*reliability block diagram* -RBD ) yang menunjukkan logika yang harus diikuti agar sistem tersebut dapat melakukan fungsinya sesuai dengan tugas. Sebuah RBD telah disusun dengan berpijak pada diagram fungsional, Davidson, Jed [1988].

Analisis keandalan untuk sistem-sistem yang sederhana dapat dilakukan dengan menggabungkan model keandalan sistem seri, paralel aktif dan *standby*. Gambar 2.5 menunjukkan *reliability block diagram* ( RBD ) untuk sistem yang disebutkan diatas.



a. Susunan seri      b. Susunan Paralel      c. Susunan Standby

**Gambar 2. 3 Reliability Block Diagram**

Secara umum asumsi yang digunakan untuk analisa keandalan sistem adalah sebagai berikut :

1. Setiap komponen memiliki fungsi *reliability* yang memiliki distribusi eksponensial.
2. Setiap komponen adalah independen terhadap komponen lainnya.

#### II.4.3.1. Sistem seri

Suatu sistem seri, seperti diperlihatkan pada gambar 2.5.a secara umum terdiri dari sebuah group komponen independen (kegagalan dari satu komponen adalah bebas dari kegagalan komponen yang lain), dimana kegagalan suatu komponen menyebabkan kegagalan sistem. Jika  $R_i(t)$  adalah *reliability* komponen ke  $i$ , hal ini dapat diperlihatkan bahwa keandalan sistem seri  $R_s(t)$  merupakan produk *reliability* komponen.

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2.10)$$

Bila setiap komponen dari suatu sistem didistribusi secara eksponensial

dengan laju kegagalan konstan maka *reliability* sistem menjadi

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_s(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} \quad (2.11)$$

#### II.4.3.2. Sistem parallel sederhana

Gambar 2.5 menunjukkan blok diagram keandalan suatu system yang memiliki dua komponen dengan susunan parallel. Dalam susunan hanya satu komponen dari sistem yang dibutuhkan agar system dapat beroperasi sedang lainnya adalah komponen *redundant* dan dalam kondisi *on-line stand by*.

Laju kegagalan (*failure rate*) dari komponen-komponen diasumsikan independen dari sejumlah komponen yang masih beroperasi. Kegagalan sistem parallel terjadi semua komponen-komponen yang ada mengalami kegagalan.

$$F_p(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (2.12)$$

atau

$$Q_p(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad (2.13)$$

Sehingga persamaan *reliability* dari sistem dengan n komponen dalam parallel adalah:

$$R_p(t) = 1 - Q_i(t) \quad (2.14)$$

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad (2.15)$$

#### II.4.3.3. Sistem Standby

Untuk system dengan konfigurasi standby, laju kegagalan komponen konstan maka fungsi *reliability* sistem dapat dievaluasi dengan menggunakan distribusi

Poisson yang mempunyai bentuk umum sebagai berikut :

Untuk komponen dengan laju kegagalan ( $\lambda$ ) tidak sama, maka digunakan persamaan seperti di bawah ini:

$$R_{SB}(t) = e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}) \quad (2.16)$$

Untuk Komponen dengan laju kegagalan ( $\lambda$ ) sama, digunakan persamaan seperti di bawah ini:

$$R_{SB}(t) = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t) \quad (2.17)$$