

**ANALISIS KEANDALAN SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK KAPAL
KM. PANGRANGO**

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



MIFTAHUDDIN

D331 16 007

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

**ANALISIS KEANDALAN SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK KAPAL
KM. PANGRANGO**

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



MIFTAHUDDIN

D331 16 007

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

"ANALISIS KEANDALAN SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK KAPAL KM. PANGRANGO"

Disusun dan diajukan oleh

MIFTAHUDDIN

D331 16 007

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

Pada tanggal 27 Oktober 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,


Baharuddin, S.T., M.T.
NIP.197202021998021001

Pembimbing Pendamping,


Ir. Sherly Klara, M.T.
NIP. 196405011990022001

Ketua Departemen,


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



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Miftahuddin

NIM : D331 16 007

Departement : Teknik Sistem Perkapalan

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul ;
**ANALISIS KEANDALAN SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK KAPAL
KM. PANGRANGO**

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, 27 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan,


Miftahuddin

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah Rabbil'alamin, dengan segala kerendahan hati, penulis panjatkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas izin, dan Rahmatnyalah, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata (S1) Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tugas Akhir ini disusun berdasarkan kajian literatur, praktik, dan juga diskusi. Dalam penyajian Tugas Akhir ini penulis menyadari masih belum mendekati kesempurnaan, 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.

Terselesainya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Tuhan Allah SWT
2. Kepada ayah saya yang memberikan segala hal baik, kepada Alm. Ibu dan saudara kandung saya yang selalu memberikan motivasi
3. Dr. Eng Faisal Mahmudin S.T., M.Eng selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Baharuddin, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing serta mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Ibu Ir. Sherly Klara, S.T., M.T selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing serta mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
6. Bapak Surya Haryanto, S.T., M.T dan Bapak M. Rusydi, S.T., M.T selaku dosen penguji.
7. Pak Rahman selaku Staf Administrasi Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu penulis dalam hal administratif.
8. Teman-teman The Last Anzyz16 dan Cruizer16 yakni kawan-kawan

seperjuangan yang selalu memberikan support-nya dan bantuannya serta ikut mewarnai masa perkuliahan.

9. Saudara-saudara Aquaman09 yakni Ammat, Ihwal, Ali, Petra, Ais, dan Ride telah menjadi kawan yang baik selama kehidupan di dunia perkuliahan.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan semoga Skripsi ini dapat berguna untuk kita semua.

Wasalamu'alaikum Wr.Wb.

Gowa, 27 Oktober 2022

Miftahuddin

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI.....	4
DAFTAR GAMBAR	6
DAFTAR TABEL.....	7
DAFTAR SIMBOL.....	8
BAB I_PENDAHULUAN.....	9
1.1. Latar belakang	9
1.2. Rumusan Masalah.....	11
1.3. Batasan Masalah.....	11
1.4. Tujuan Penelitian.....	12
1.5. Manfaat Penelitian.....	12
1.6. Sistematika Penulisan.....	13
BAB 2_TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1 Tinjauan Pustaka	15
2.2 Analisis.....	15
2.3 Keandalan.....	15
2.4 Sistem Pendingin	16
2.5 Faktor penyebab kegagalan komponen sistem pendingin mesin... 19	
2.6 Laju Kegagalan.....	20
2.8 <i>Isograph Availability Workbench</i>	20
2.9 <i>Distribusi Weibull</i>	21
2.10 Perhitungan Nilai RPN	26
2.11 Perhitungan <i>Avaibility</i>	29
2.12 <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	30
2.13 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	32
2.14 Komponen Sistem Pendingin Mesin Induk.....	33
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	35
3.2 Study Literatur.....	35
3.3 Pengumpulan Data.....	35
3.4 Kerangka Pemikiran.....	39
BAB 4 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Sistem Pendingin.....	40
4.2 Komponen Sistem Pendingin	40

4.2.1	Subsistem Suplai.....	40
4.2.2	Subsistem Penukar Kalor	41
4.2.3	Subsistem Pemompaan.....	41
4.3	Analisa Kualitatif	41
4.3.1	<i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	42
4.3.2	<i>Fault Tree Analysis</i>	44
4.4	Analisa Kuantitatif	51
4.4.1	Analisa Keandalan.....	54
4.4.2	Perawatan dan perbaikan komponen	68
BAB 5 PENUTUP		71
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran.....	72
LAMPIRAN.....		75

Analisis Keandalan Sistem Pendingin Mesin Induk Kapal KM. Pangrango

Miftahuddin^{1, a)}, Baharuddin^{1, b)}, Sherly Klara^{1, c)}

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

^{a)}Penulis: mifthamustadir@gmail.com

Abstrak. Sistem pendingin merupakan salah satu sistem yang menunjang kinerja mesin sehingga kegagalan sistem dapat menyebabkan performa mesin menurun. Pada sistem pendingin K.M Pangrango yang beroperasi sejak 1996, memiliki komponen sistem pendingin yaitu *seachest*, pipa, katup, *strainer*, *cooler*, *fresh water pump*, *sea water pump*. Dari lama operasi sistem pendingin. KM. Pangrango yang memiliki umur komponen 24 tahun hingga sekarang. Sehingga untuk dapat mengetahui karakteristik kegagalan sistemserta manajemen perawatan yang optimum untuk semua komponen bahan maka diperlukan analisa komponen kritis menggunakan metode *Risk Priority Number* dan analisa keandalan menggunakan metode distribusi *Weibull* dengan *indeks reability* sebagai tolak ukur. Tahap perencanaan perawatan sistem bahan bakar dengan mempertimbangkan *availability*. Berdasarkan nilai RPN di dapatkan hasil berupa komponen yang memiliki resiko tertinggi yaitu komponen *cooler* dengan nilai RPN 315. Berdasarkan hasil perhitungan Distribusi *Weibull* didapatkan nilai MTTF dan nilai keandalan untuk setiap komponen. Komponen pipa yaitu 104 jam dengan nilai keandalan 0,6, *valve* yaitu 255 jam dengan nilai keandalan 0,6, *seachest* yaitu 172 jam dengan nilai keandalan 0,6, *cooler* yaitu 40 jam dengan nilai keandalan 0,6, *fresh water pump* yaitu 91 jam dengan nilai keandalan 0,6, dan *sea water pump* yaitu 91 jam dengan nilai keandalan 0,6. Adapun saran penulis skripsi semoga bermanfaat bagi ABK kapal supaya lebih memperhatikan perawatan kepada komponen- komponen yang memiliki tingkat resiko tinggi terutama cooler sebagai media pendingin agar komponen meningkatkan nilai keandalan komponen tersebut.

Kata kunci : K.M Pangrango, *Risk Priority Number*, *Weibull*, keandalan.

Analisis Keandalan Sistem Pendingin Mesin Induk Kapal KM. Pangrango

Miftahuddin^{1, a)}, Baharuddin^{1, b)}, Sherly Klara^{1, c)}

¹Department Marine Engineering, Faculty of Engineer, Hasanuddin University, Makassar, Indonesia

^{a)}Penulis: mifthamustadir@gmail.com

Abstract. The cooling system is one system that supports engine performance so that system failure can cause engine performance to decrease. The K.M Pangrango cooling system, which has been operating since 1996, has cooling system components, namely seachest, pipe, valve, strainer, cooler, fresh water pump, sea water pump. From the long operation of the KM cooling system. KM. Pangrango which has a component age of 24 years until now. So to be able to know the characteristics of system failure and optimum maintenance management for all material components, it is necessary to analyze critical components using the Risk Priority Number method and reliability analysis using the Weibull distribution method with the reliability index as a benchmark. The planning stage of fuel system maintenance by considering availability. Based on the RPN value, the result is the component that has the highest risk, namely the cooler component with an RPN value of 315. Based on the results of the Weibull Distribution calculation, the MTTF value and reliability value for each component are obtained. The pipe component is 104 hours with a reliability value of 0.6, valve is 255 hours with a reliability value of 0.6, seachest is 172 hours with a reliability value of 0.6, cooler is 40 hours with a reliability value of 0.6, fresh water pump is 91 hours with a reliability value of 0.6, and the sea water pump is 91 hours with a reliability value of 0.6. As for the suggestion of the writer of the thesis, it may be useful for the crew of the ship to pay more attention to the maintenance of components that have a high level of risk, especially the cooler as a cooling medium so that the components increase the reliability value of these components.

Keywords : K.M Pangrango, Risk Priority Number, Weibull, reliability.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Pada masa sekarang ini kapal masih menjadi salah satu alat transportasi yang sering digunakan, banyaknya kapal yang terus beroperasi membuat pihak pemilik untuk lebih meningkatkan kualitas kapalnya. Salah satu cara meningkatkan kualitas kapal yaitu dengan cara meningkatkan keandalannya melalui usaha perawatan sistem-sistem yang ada pada kapal. Hal ini dilakukan guna mencegah kegagalan komponen pada sistem yang dapat mengakibatkan kerusakan pada seluruh fungsi sistem pada kapal yang pada akhirnya menurunkan tingkat keselamatan pada kapal serta muatan yang di angkut.

Sistem pendingin adalah salah satu sistem yang penting dalam menjaga kinerja mesin utama kapal untuk bekerja sebagai mana mestinya, sistem pendingin bekerja dengan menyalurkan fluida dari dari tangki utama dan seachest untuk suplai air laut kedalam mesin untuk mendingin komponen pada mesin utama dalam menunjang pengoperasian kapal.

Kapal yang beroperasi secara terus menerus mengakibatkan sistem pada kapal tersebut juga bekerja terus menerus, hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen sistem yang bekerja secara terus menerus, kerusakan komponen dapat mengakibatkan sistem mengalami gangguan bahkan dapat menyebabkan kegagalan operasi pada sistem. Sehingga perlu di lakukan identifikasi pengaruh kegagalan komponen komponen sistem.

Salah satu cara yang harus di tempuh adalah dengan melakukan program perawatan yang baik dan terencana, dan sistematis terhadap sistem pendinginan mesin induk kapal KM. Pangrango, yakni pada sistem-sistem yang terdapat pada mesin induk tersebut. Sistem pendingin adalah salah satu bagian penting pada sebuah kapal yang memerlukan perhatian yang cukup, karena lancar tidaknya pengoperasian kapal sangat tergantung pada hasil kerja mesin, sebab dalam mesin diesel dinding silinder dan bagian mesin diesel yang lain selalu dikenai panas dari hasil pembakaran di dalam silinder.

Kegagalan pada sistem pendingin kapal tidak lepas dari perawatan komponen, oleh sebab itu mengingat pentingnya sistem pendingin air tawar dalam pengoperasian motor induk di atas kapal perlu diperhatikan untuk menjaga temperatur air pendingin agar tetap normal. Salah satu sistem yang ada pada mesin penggerak utama dan cukup penting serta harus mendapatkan perawatan yang khusus adalah sistem pendingin.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam melakukan Analisa keandalan yaitu metode *Fault Tree analysis* (FTA) dan Distribusi *Weibull* pada komponen-komponen sistem pendingin mesin utama kapal. FTA merupakan metode yang menguraikan faktor penyebab dari kegagalan komponen sistem pendingin mesin utama sampai ke akar permasalahan yang dapat menghambat pengoperasian kapal KM. Pangrango sedangkan Distribusi *Weibull* digunakan untuk menghitung nilai parameter skala dan bentuk dari komponen sistem pendingin mesin induk. Air tawar yang semula berada pada tangki penampungan diteruskan melauhi *cooler* dan terjadi proses pemindahan panas dan air tawar yang berlawanan arah dengan air laut akan diserap panasnya melalui plat-plat yang ditekan dalam sebuah model gelombang sehingga akan terjadi pusaran kuat dan efektif dalam penyerapan panas, setelah itu aliran media pendingin air tawar masuk kedalam mesin induk melalui *jacket cooling* dan bagian *cylinder* (kepala silinder) dan akan kembali lagi ke high temperature *cooler* (pendingin suhu tinggi) untuk didinginkan oleh air tawar dari hasil pendinginan *low temperature cooler* (pendingin suhu rendah).

Mengetahui kondisi seperti di atas, penulis tertarik untuk melakukan pembahasan penyebab terjadinya masalah yang dapat mengakibatkan terganggunya pengoperasian kapal. Atas dasar inilah penulis menyusun skripsi dengan judul “**Analisis Keandalan Sistem Pendingin Mesin Utama kapal KM. PANGRANGO**”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, maka perlu diadakan perumusan masalah guna memudahkan dalam pembahasan nantinya. Atas dasar inilah penulis merumuskan masalah tentang penyebab kegagalan komponen sistem pendingin mesin utama kapal.

Adapun perumusan masalah yang disajikan penulis adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) pada setiap komponen sistem pendingin KM. pangrango?
2. Bagaimana menentukan waktu perawatan sistem pada waktu yang akan datang dengan indeks *reability* sebagai tolak ukur?
3. Bagaimana menentukan komponen kritis sistem pendingin mesin induk kapal KM. Pangrango?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka diperlukan batasan permasalahan terhadap sistem yang dibangun. Hal ini bertujuan agar pembahasan masalah tidak terlalu meluas. Maka batasan masalah yang di bahas adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian ini hanya dibatasi pada komponen sistem pendingin mesin induk kapal KM. Pangrango
2. Kegagalan perawatan di asumsikan karena dioperasikan, bukan karena kesalahan manusia (*human error*) dan pengaruh alam yang tidak diinginkan.
3. Penyelesaian masalah hanya dibatasi sampai pada penentuan perencanaan kegiatan perawatan dan penentuan penyebab kegagalan.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) komponen-komponen sistem pendingin mesin kapal KM. Pangrango.
2. Menentukan waktu perawatan pada waktu yang akan datang dengan indeks *reability* sebagai tolak ukur.
3. Menentukan komponen kritis sistem pendingin mesin induk kapal KM. Pangrango.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian antara lain:

1. Manfaat secara teoritis
 - a. Sebagai tambahan pengetahuan, wawasan bagi penulis maupun pembaca agar lebih mengerti dan meningkatkan pemahaman tentang bagaimana langkah perawatan sistem pendingin mesin utama dengan benar sehingga tidak terjadi penurunan kinerja.
 - b. Sebagai sumbangan bagi pembaca baik langsung maupun tidak langsung, sehingga pada akhirnya dapat bermanfaat dalam meningkatkan ilmu pengetahuan tentang perawatan sistem pendingin mesin utama.
 - c. Dapat menambah perbendaharaan perpustakaan Jurusan Teknik Perkapalan khususnya Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
2. Manfaat secara praktis
 - a. Sebagai acuan dan masukan agar perwira dan awak kapal dapat menerapkan hasil dari penelitian tentang perawatan yang sesuai untuk sistem pendingin mesin utama dalam dunia kerja.
 - b. Bagi kampus tercinta, hasil penelitian ini dapat menjadi perhatian untuk meningkatkan mutu pendidikan dan pengetahuan agar menghasilkan sumber daya manusia yang benar benar handal dan terampil sehinggadapat bersaing di dunia kerja.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembaca dalam mengetahui pokok-pokok permasalahan serta bagian-bagiannya, maka peneliti membuat skripsi ini menjadi 5 bab, dimana tiap-tiap bab selalu dapat berkesinambungan dalam pembahasannya yang merupakan suatu rangkaian yang tidak dapat terpisahkan, maka sistematika penelitian sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Latar belakang berisi tentang alasan dan pentingnya pemilihan judul skripsi, dalam latar belakang diuraikan pokok-pokok pikiran serta data pendukung mengenai pentingnya judul, perumusan masalah yaitu uraian mengenai masalah yang diteliti berupapertanyaan dan pernyataan. Tujuan penelitian berisi jawaban tentang perumusan masalah. Manfaat penelitian berisi tentang manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian bagi pihak-pihak yang berkepentingan. Sistematika penulisan penelitian berisi susunan tata hubungan bagian skripsi yang satu dengan yang lain.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisi teori-teori yang akan digunakan sebagai dasar pembahasan judul dari penelitian, terdiri dari tinjauan pustaka, kerangka pikir penelitian dan definisi operasional. Tinjauan pustaka berisi teori atau pemikiran yang melandasi judul penelitian, teori-teori tersebut harus relevan terhadap judul penelitian. Kerangka pikir merupakan inti dari teori-teori yang telah dikembangkan dalam rangka menyelesaikan pokok dari permasalahan penelitian. Definisi operasional merupakan definisi praktis tentang istilah lain dalam penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari lokasi atau tempat penelitian dimana penulis melakukan penelitian. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam menyusun skripsi seperti observasi, studi pustaka, wawancara, dan dokumentasi. Jenis dan sumber data serta teknik analisis data mengenai metode yang dipakai dapat memecahkan permasalahan.

BAB IV ANALISIS HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang gambaran umum yang ada di atas kapal dan uraian hasil penelitian dari permasalahan yang ada seperti objek yang diteliti, temuan penelitian, analisis permasalahan serta pembahasan masalah yang ditimbulkan.

BAB V PENUTUP

Sebagai bagian akhir dari penulisan skripsi ini, maka kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan masalah. Bab ini, penulis juga menyumbangkan saran yang mungkin dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang terkait sesuai dengan fungsi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam menunjang pembahasan mengenai “Analisis Keandalan Sistem Pendingin Mesin Utama kapal KM. Pangrango “, maka perlu diketahui dan dijelaskan beberapa teori penunjang dan pengertian yang berkaitan dengan sistem keandalan sistem pendingin mesin induk.

2.2 Analisis

Analisis adalah aktifitas yang memuat sejumlah kegiatan seperti mengurai, membedakan, memilah sesuatu untuk digolongkan dan dikelompokkan kembali menurut kriteria tertentu kemudian dicari kaitannya dan ditafsirkan maknanya. Analisis atau analisa berasal dari kata Yunani kuno “*analisis*” yang artinya melepaskan, analisis terbentuk dari kata *ana* yang artinya kembali, dan *luin* berarti melepaskan, jika digabung maka artinya adalah melepas kembali atau menguraikan. Kata analisis diserap ke dalam bahasa Inggris menjadi “*analysis*”, yang juga diserap ke dalam Bahasa Indonesia menjadi “*analisis*”. Analisis digunakan dalam penelitian ini dikarenakan perlu ada peninjauan tentang apa saja faktor penyebab penurunan kerja komponen pada sistem pendingin mesin induk kapal KM. Pangrango.

2.3 Keandalan

Keandalan adalah *probabilitas* dari suatu *item* untuk dapat melaksanakan sebuah fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode yang telah ditentukan.

Keandalan pada keseluruhan sistem penunjang di kapal dapat mempengaruhi *availability* dari kapal, untuk itu diperlukan langkah untuk mempertahankan. Keandalan dari sistem di kapal terutama untuk sistem-sistem yang kritis yang dapat mengakibatkan kegagalan operasi secara tiba-tiba apabila terjadi kerusakan pada komponen sistem tersebut, keandalan merupakan besaran yang kemungkinan keadaan sistem pendingin dalam keadaan tidak rusak.

2.4 Sistem Pendingin

Tujuan sistem pendingin adalah untuk mempertahankan temperatur operasi mesin yang paling efisien pada setiap kecepatan dalam segala kondisi.

Menurut Maleev (1986) bahwa fluida pendingin menyerap sebagian panas yang dihasilkan oleh pembakaran di dalam silinder sebanyak 15-35%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa 25% sampai 35% dari hasil pembakaran merambat ke dalam dinding silinder dan harus dibuang. Oleh sebab itu pembuangan panas melalui sistem pendinginan mesin sangat penting. Namun jika terjadi kegagalan pada sistem pendinginan mesin utama ini, maka dikhawatirkan bahwa seluruh kinerja di atas kapal bisa mengalami kegagalan dan menurunkan tingkat efisiensi dan *avaibility* dari kapal tersebut.

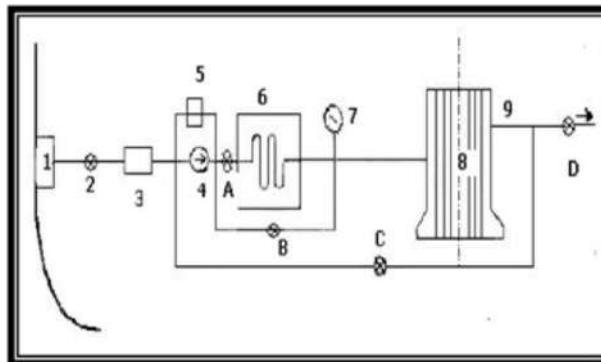
Ada dua macam sistem pendinginan pada kapal yaitu sistem pendingin tertutup dan sistem pendingin terbuka.

(<https://laporanpraktikumbersama.blogspot.com/2016/12/sistem-pendingin-pada-kapal.html>).

Adapun perbedaan sistem pendinginan terbuka dan tertutup ialah:

❖ Sistem Pendinginan Terbuka

Pada sistem pendinginan terbuka, fluida pendingin masuk kebagian mesin yang didinginkan, kemudian fluida yang keluar dari mesin langsung dibuang ke laut. Fluida yang digunakan pada sistem pendinginan ini dapat berupa air tawar ataupun air laut, Sistem ini kurang menguntungkan dalam hal operasional. Dimana apabila fluida yang digunakan adalah air tawar maka dapat menyebabkan biaya operasional yang tinggi dan tidak ekonomis.



Gambar 2. 1 Sistem pendingin kapal terbuka.

(Sumber: <https://laporanpraktikumbersama.blogspot.com/2016/12/sistem-pendingin-pada-kapal.html>)

Keterangan:

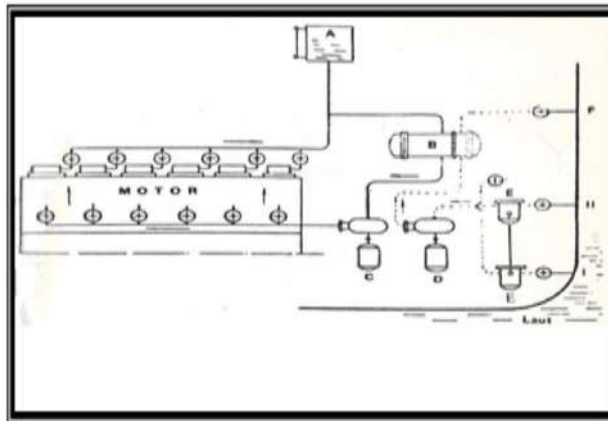
1. Saringan laut (*sea chest*).
2. Katup / *valve*.
3. *Filter*.
4. Pompa.
5. Katup pengaman.
6. *Cooler*.
7. *Thermomostat*.
8. Mesin induk.
9. Pipa buang.

❖ Sistem Pendinginan Tertutup

Sistem pendinginan tidak langsung menggunakan dua media pendingin, yang digunakan adalah air tawar dan air laut. Air tawar dipergunakan untuk mendinginkan bagian-bagian motor, sedangkan air laut digunakan untuk mendinginkan air tawar, setelah itu air laut langsung dibuang keluar kapal dan air tawar bersirkulasi dalam siklus tertutup. Sistem pendinginan ini mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dan dapat mendinginkan bagian-bagian motor secara merata.

Sistem pendinginan air tawar (*Fresh Water Cooling System*) rnelayani komponen-komponen dari mesin induk ataupun mesin bantu meliputi: *main engine jacket, main engine piston, main engine injektor*. Air tawar pendingin mesin yang keluar dari mesin disirkulasikan ke *cooler*, dan di dalam alat inilah air tawar yang memiliki suhu yang tinggi untuk didinginkan oleh air laut yang disirkulasikan dari *seachest* ke *cooler*. Peralatan-peralatan lainnya pada sistem ini antara lain pengukur tekanan pada *section* dan *discharge line pump*, termometer pada pipa sebelum dan sesudah penukar panas, gelas pengukur/*gauge glass* masing-masing pada *expansion tank* dan *drain tank*. Pengatur suhu umumnya dilengkapi dengan mekanisme otomatis dengan katup *tree way valve* untuk mengatur aliran *bypass* air pendingin yang diizinkan.

Pada sistem pendinginan dengan air laut, air laut masuk ke sistem melalui *high and low sea chest* pada tiap sisi kapal. Setiap *seachest* dilengkapi dengan *sea water valve, vent pipe*, dimana pipa udara ini dipasang setinggi atau lebih dari sarat kapal untuk membebaskan udara atau uap dan *blowout* pipa untuk membersihkan *seachest*.



Gambar 2. 2 Sistem pendingin kapal tertutup.

(Sumber: <https://laporanpraktikumbersama.blogspot.com/2016/12/sistem-pendingin-pada-kapal.html>).

Keterangan:

1. Bak persediaan air tawar
2. Bejana pendingin
3. Pompa untuk air tawar
4. Pompa untuk air laut
5. Saringan-saringan
6. Saluran buang air untuk laut
7. Saluran pemasuk untuk permukaan air yang rendah
8. Saluran pemasuk untuk permukaan air yang tinggi / keruh.

2.5 Faktor penyebab kegagalan komponen sistem pendingin mesin

Terjadinya kegagalan komponen sistem pendingin tidak terlepas dari faktor rute pelayaran kapal, dimana kondisi perairan dan kecepatan kapal mempengaruhi keandalan sistem pendingin kapal saat beroperasi. Berikut diuraikan faktor-faktor yang mempengaruhi turunya kinerja setiap komponen:

- Kondisi perairan

Faktor kedalaman laut menjadi salah satu faktor penyebab kegagalan komponen penunjang mesin induk terutama dalam hal sistem pendingin mesin. Kondisi perairan yang dangkal bisa menyebabkan kotoran-kotoran laut seperti lumpur/pasir, alga laut, maupun biota laut akan ikut masuk bersama air laut melalui seachest terus dialirkan ke komponen-komponen

sistem pendingin mesin yang lain, akan menimbulkan akibat masalah. Sebagai contoh, lumpur yang ikut bersama dengan air laut masuk ke cooler bisa menimbulkan kerak atau sedimen air sehingga menyebabkan proses pendinginan air pendingin mesin pada *cooler* mengalami penurunan kinerja.

- Kadar garam
Kadar garam air laut yang tinggi menjadi salah satu faktor yang menyebabkan kegagalan komponen sistem pendingin. Kadar garam air laut yang tinggi bisa menimbulkan korosi pada komponen penunjang sistem pendingin kapal. Contohnya korosi yang menyebabkan kebocoran pada pipa air laut, sehingga suplai air laut untuk kebutuhan pendinginan air pendingin tidak maksimal.
- Faktor-faktor tambahan: material komponen, kecepatan kapal, dan lain-lain sebagainya. M. Darman. S. Tar. M. Mar.Engineer (2022).

2.6 Laju Kegagalan

Laju kegagalan adalah λ adalah banyaknya kegagalan persatuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau sistem. Dalam beberapa kasus, laju kegagalan dapat ditunjukkan sebagai penambahan (*Increasing failure Rate*) pada saat fungsi laju kegagalan (t) adalah fungsi penambahan, penurunan atau konstan. Priyanta, Dwi. (2000).

Persamaan nilai keandalan R(t):

$$R(t) = e^{-(t-\gamma) \beta \eta} \dots \dots \dots (2.1)$$

Persamaan laju kegagalan (*failure rate*):

$$\lambda(t) = f(t) r(t) = \beta \eta (t-\gamma \eta)^{\beta-1} \dots \dots \dots (2.2)$$

Persamaan waktu rata-rata mencapai kegagalan (MTTF):

$$MTTF = \eta r(1+\beta) \dots \dots \dots (2.3)$$

2.7 Isograph Availability Workbench

Isograph availability workbench adalah Salah satu *software* dalam hal keandalan dan perawatan yang dimana salah satu distribusi kegagalan yang

dihasilkan yaitu *distribusi weibull*. *Distribusi weibull* tersebut digunakan dalam dalam hal keandalan (*Realibility*) dimana distribusi kegagalan yang dihasilkan digunakan dalam analisa keandalan suatu komponen. Distribusi kegagalan dapat membentuk suatu kurva dimana kurva tersebut menghasilkan perawatan komponen itu sendiri sehingga dapat mempermudah dilakukan suatu perawatan. Dalam kurva *distribusi weibull* menghasilkan *Probability Density Function* merupakan nilai yang menunjukkan kemungkinan munculnya nilai dalam suatu range kegagalan dan menghasilkan kurva *failure rate* dengan banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau sistem. *Isograph Workbench* (1980).

2.8 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull banyak digunakan karena memiliki beberapa bentuk sehingga mampu memodelkan berbagai data. Jika *time to failure* dari suatu sistem adalah t mengikuti *distribusi Weibull* dengan tiga tipe parameter:

- Bentuk (β)
- Skala (η)
- Lokasi (γ)

Dalam menentukan estimasi parameter *Weibull* digunakan *method of probability plotting*. Metode ini mudah digunakan karena kertas plot dapat didapatkan di website Weibull.com.

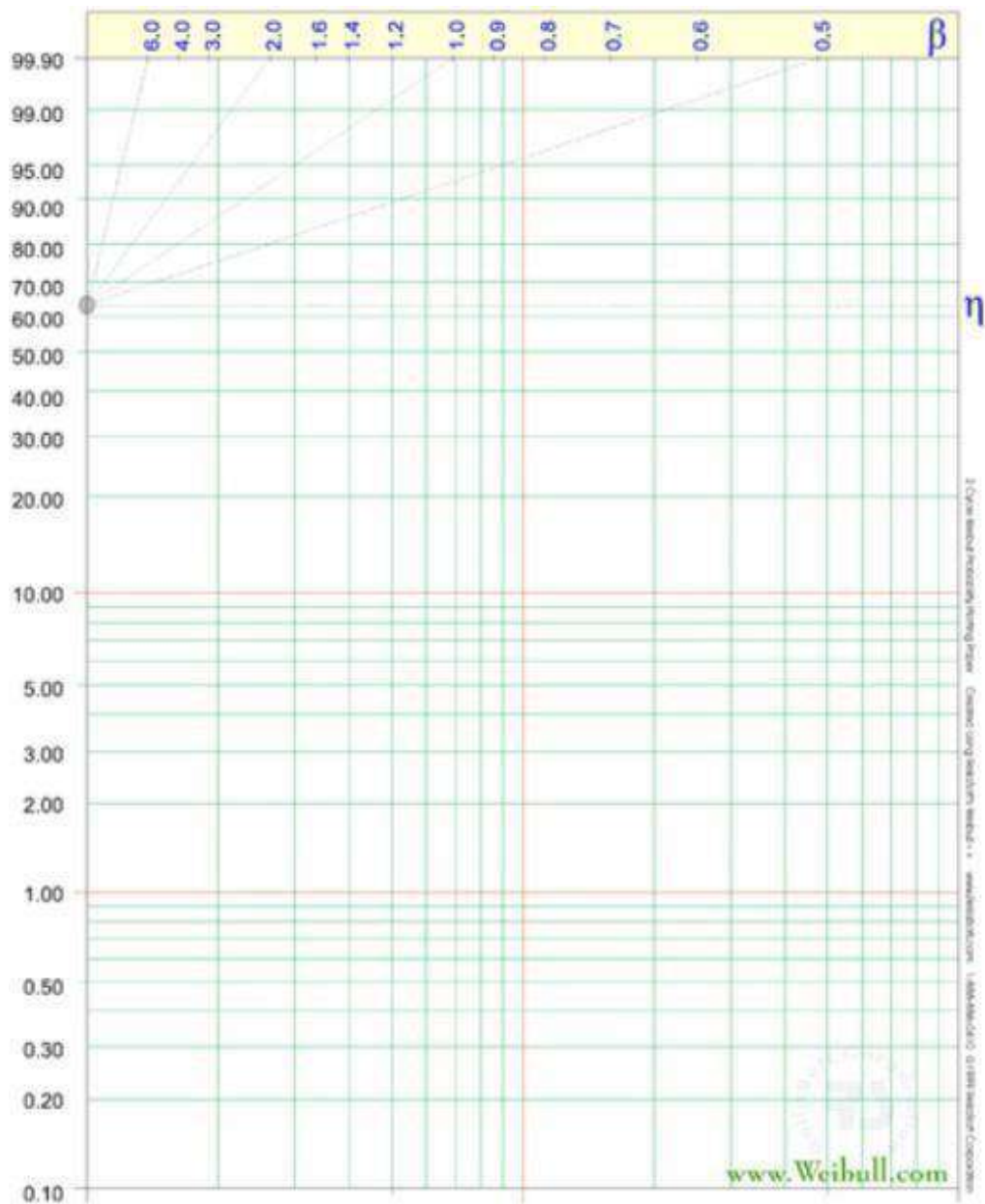
Method of probability plotting mengambil unreability fuction. sebagai sumbu y dan mengambil time to failure sebagai sumbu x.

Maka persamaan fungsi densitas probabilitas nya (pdf) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(t) = \beta \eta (t - \gamma \eta)^{\beta - 1} e^{-(t - \gamma \eta) \beta} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$f(t) \geq; t \geq \gamma; \beta \geq 0; \eta \geq 0 \dots\dots\dots (2.5)$$

❖ Menentukan kertas plot probabilitas



Gambar 2.3 Kertas plot probabilitas (Ebeling, 1997)
(Sumber: <https://www.weibull.com/>).

Langkah-langkah dalam memplot probabilitas dari data waktu kegagalan komponen:

- Mengumpulkan data waktu kegagalan dalam mode kegagalan tertentu
- Atur waktu kegagalan dalam urutan menaik
- Menghitung *median rank*

- ❖ Menentukan sumbu x dan sumbu y

Dalam menentukan nilai sumbu y atau *unreability fuction* sedikit lebih rumit karna menggunakan metode median rank yang dimana setiap data *time to failure* memiliki persentase kumulatif yang gagal misalnya 10 jam persentase gagalnya 20%, 20 jam persentase gagalnya 45%. Kemudian setelah didapatkan garis linear dari titik perpotongan antara sumbu x dan sumbu y maka garis tersebut disejajarkan untuk mendapatkan nilai parameter bentuk (β) dan untuk mendapatkan parameter skala (n) dengan melihat perpotongan dari estimasi garis parameter skala (n) dan garis linear dari perpotongan sumbu x dan sumbu y. Metode *median rank* adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan unreability untuk setiap nilai kegagalan.

Median rank adalah nilai yang seharusnya dimiliki oleh setiap *time to failure* yang sebenarnya (Q_{tj}), dari sampel N dan pada tingkat akurasi 50%. Peringkat dapat ditemukan untuk setiap poin persentase, P, lebih besar dari nol dan kurang dari satu, dengan memecahkan persamaan binomial kumulatif untuk Z. Ini mewakili peringkat, atau perkiraan nilai *unreability*, untuk kegagalan ke-j dalam persamaan berikut untuk binomial kumulatif.

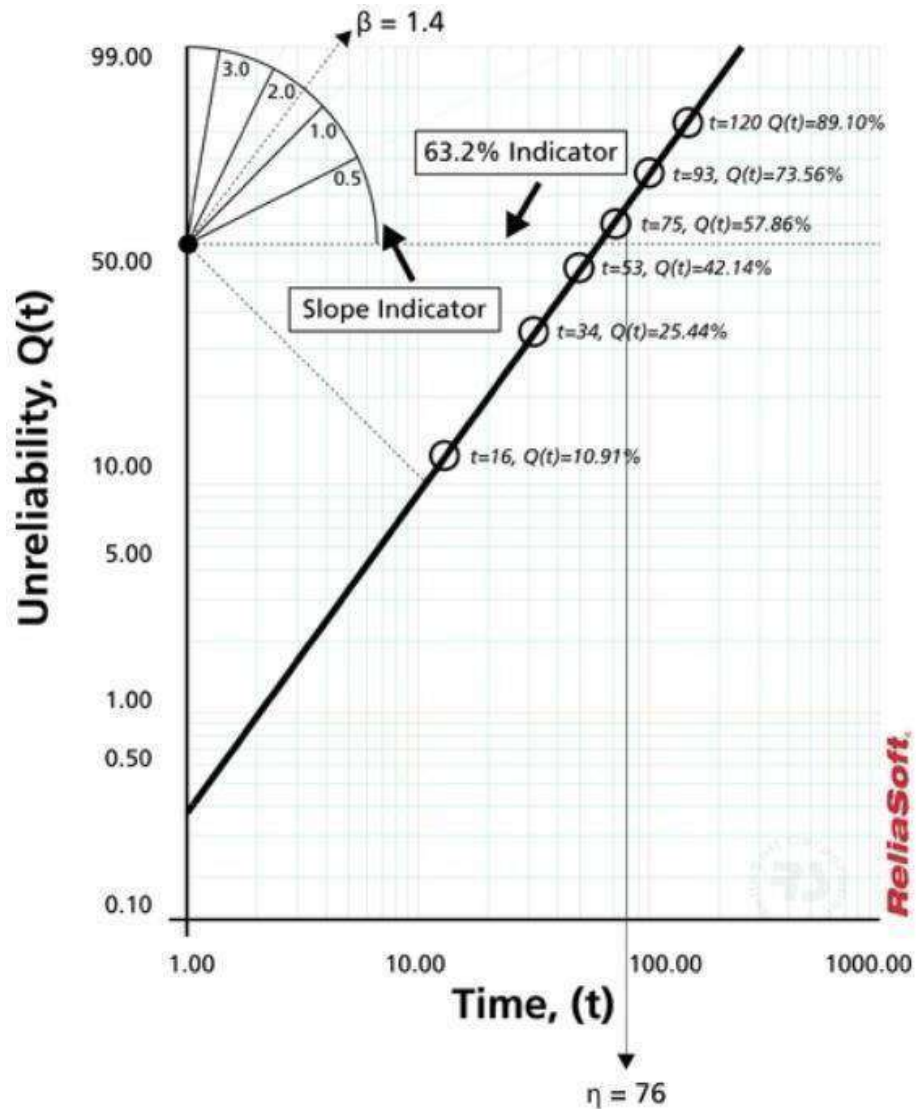
$$P = \sum_{k=j}^N \binom{N}{k} Z^k (1-Z)^{N-k} \dots\dots\dots (2.6)$$

di mana N adalah ukuran sampel dan J nomor urut. *Median rank* diperoleh dengan menyelesaikan persamaan ini untuk Z pada P=0,50.

$$0.50 = \sum_{k=j}^N \binom{N}{k} Z^k (1-Z)^{N-k} \dots\dots\dots (2.7)$$

Misalnya, jika N=4 dan kita memiliki empat kegagalan, kita akan memecahkan persamaan peringkat median untuk nilai Z empat kali; sekali untuk setiap kegagalan dengan j=1, 2, 3 dan 4. Hasil ini kemudian dapat digunakan sebagai estimasi ketidakandalan untuk setiap kegagalan atau posisi plot y. mengingat dalam menentukan median rank para ilmuwan telah membuat tabel persentase mengenai nilai *median rank* tergantung dengan jumlah data yang dimiliki. *Weibull Probability Plotting of complete data using median ranks with example* (2020).

Berikut contoh *method of probability plotting*



Gambar 2.4 Contoh menentukan parameter distribusi Weibull.

(Sumber: <https://www.weibull.com/>).

Sumber lain: *Weibull Probability Plotting of complete data using median ranks* dalam menentukan nilai parameter skala dan bentuk komponen:

- Langkah pertama dengan mengumpulkan data kegagalan komponen dengan mengumpulkan kegagalan dengan total 7 waktu kegagalan. Kemudian menggunakan data ini untuk di plot pada probabilitas weibull. Setelah itu masukkan semua data yang telah dikumpulkan kemudian diolah menggunakan microsoft excel untuk menganalisis data dan menghitung

peringkat median untuk plot probabilitas.

- Kemudian peringkat median rank digunakan untuk memperkirakan tidak dapat diandalkannya setiap waktu kegagalan komponen. Peringkat median adalah nilai yang seharusnya dimiliki oleh probabilitas kegagalan pada tingkat keandalan sebesar 50%.
- Pilih satu siklus kertas weibull karena nilainya antara 10 hingga 100 yang merupakan satu siklus pada skala log.

2.9 Perhitungan Nilai RPN

Metodologi *Risk Priority Number* (RPN) merupakan sebuah teknik untuk menganalisa risiko yang berkaitan dengan masalah-masalah yang potensial yang telah diidentifikasi selama pembuatan FMEA. Sebuah FMEA dapat digunakan untuk mengidentifikasi cara-cara kegagalan yang potensial untuk sebuah produk atau proses. Stamatis, DH, (1995).

Metode RPN kemudian memerlukan analisa dari tim untuk menggunakan pengalaman masa lalu dan keputusan engineering untuk memberikan peringkat pada setiap potensial masalah menurut rating skala berikut :

- *Severity*, merupakan skala yang memeringkatkan *severity* dari efek-efek yang potensial dari kegagalan.
- *Occurance*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari kegagalan akan muncul.
- *Detection*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari masalah akan dideteksi sebelum sampai ketangan pengguna akhir atau konsumen.

Setelah pemberian rating dilakukan, nilai RPN dari setiap penyebab kegagalan dihitung dengan rumus di bawah. Adapun penentuan nilai RPN ditentukan berdasarkan.

$$[RPN = Severity \times Occurrence \times Detection]$$

Tabel 2. 1 Penilaian resiko.

Penilaian Skor Resiko	Pedoman
1-25	Resiko rendah Memerlukan langkah pengawasan
26-75	Resiko sedang Memerlukan langkah pengawasan dan perawatan
76-100	Resiko tinggi Memerlukan langkah pengawasan, perawatan, dan perbaikan
100>	Resiko sangat tinggi Memerlukan langkah pengawasan, perawatan, perbaikan dan pergantian
Standar reference manual potensial failure mode dan effect analysis dari AIAG.	

Tabel 2. 2 Tingkat keparahan (*severity*).

Tingkat keparahan(<i>severity</i>)	Deskripsi	Ket.
1-2 Tahun	Tidak ada	
3-4 Tahun	Minor, Kerusakan ringan, sistem bekerja kurang maksimal, terdapat redunan	
5-6 Tahun	Moderat, menyebabkan sistem terganggu, waktu perbaikan relative singkat, tidak ada redunan	
7-8 Tahun	Tinggi, membahayakan sistem, menyebabkan sistem down dalam waktu lama	
9-10 Tahun	Sangat berbahaya, membahayakan sistem dan operator	

Catatan: tingkat severity diadopsi dari standar reference manual potensial failure mode dan effect analysis dari AIAG, dilakukan modifikasi kriteria untuk menyesuaikan objek, kejadian dan istilah di lapangan.

Tabel 2. 3 Skala frekuensi.

Frekuensi kejadian (<i>Occurance</i>)	Deskripsi	Ket.
1	Lebih dari 1 tahun	
3	Antara 4-6 bulan	
5	antara 1-3 bulan	
7	Setiap 1 bulan	
9	Setiap saat	

Catatan: tingkat severity diadopsi dari standar reference manual potensial failure mode dan effect analysis dari AIAG, dilakukan modifikasi kriteria untuk menyesuaikan objek, kejadian dan istilah di lapangan.

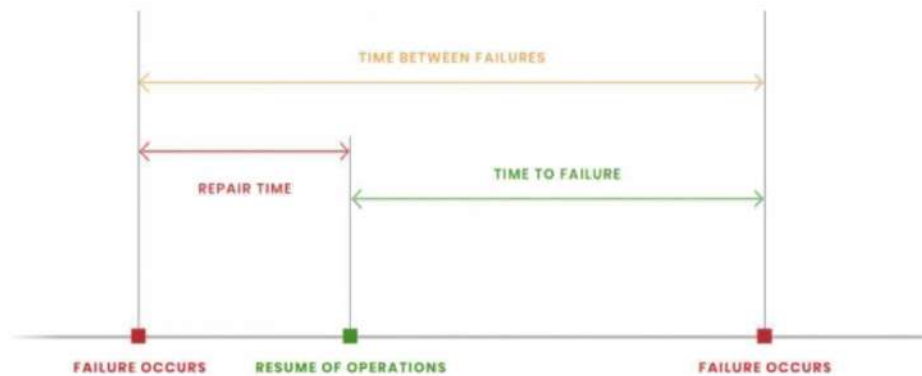
Tabel 2. 4 Skala tingkat deteksi.

Deteksi (<i>Detection</i>)	Deskripsi	Ket.
1	Dapat dideteksi dengan mudah	
3	Dapat dideteksi dengan peluang tinggi	
5	Dapat dideteksi dengan peluang sedang	
7	dapat dideteksi dengan Peluang kecil	
9	Tidak dat terdeteksi	

Catatan: tingkat severity diadopsi dari standar reference manual potensial failure mode dan effect analysis dari AIAG, dilakukan modifikasi kriteria untuk menyesuaikan objek, kejadian dan istilah di lapangan.

2.10 Perhitungan *Availability*

Pada konsep untuk menghitung efek perawatan diperlukan nilai ketersediaan komponen yang mengindikasikan suatu komponen dalam sistem dapat beroperasi total secara sukses dengan kegagalan yang terjadi.



Gambar 2. 3 Perbedaan TTF, TTR, dan TBF.
 (Sumber: Muh.fajrin gaffar (2022).

Prasyarat untuk menghitung ketersediaan adalah dengan formula sebagai berikut:

$$A_{j, k} = \frac{M_{j, k}^f}{M_{j, k}^f + M^r} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana M_f dan M_r menunjukkan *time to failure* (TTF) dan *time to repair* (TTR). *Mean time to failure* merupakan waktu terjadinya kegagalan komponen. Perhitungan MTTF dimulai saat komponen dioperasikan dan dapat terus berlanjut sampai komponen kembali mengalami kerusakan atau dalam kondisi perawatan. *Mean time to repair* merupakan waktu yang diperlukan untuk memperbaiki komponen dan mengembalikannya ke fungsionalitas penuh. Perhitungan MTTR dimulai setelah perbaikan dimulai, dan bisa terus berlanjut hingga layanan yang terganggu sepenuhnya dipulihkan termasuk waktu pengujian yang diperlukan. Penilaian ketersediaan komponen dapat berpengaruh terhadap penentuan *element availability* untuk menentukan jadwal perawatan. Priyanta, Dwi. (2000).

$$Availability (A) = \frac{TTF}{TTF+TTR} \dots\dots\dots (2.9).$$

2.11 *Fault Tree Analysis (FTA)*

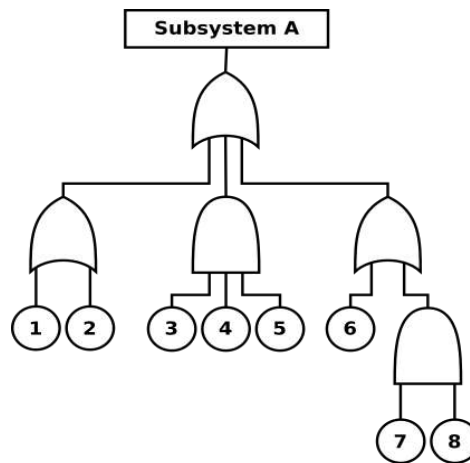
Fault tree Analysis (FTA) adalah sebuah metode untuk mengidentifikasi kegagalan (*failure*) dari suatu sistem, baik yang disebabkan oleh kegagalan komponen atau kejadian kegagalan lainnya secara bersama atau individu. Setiap sistem biasanya memiliki beberapa mode kegagalan (*failure mode*). Hubungan 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*.



Gambar 2. 5 Bagan *Fault Tree Analysis*.
 (Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Fault_tree_analysis).

2.12 *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 untuk 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 Billinton. R, 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 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 kegiatan pencegahan terjadinya kegagalan dalam produk atau proses, sejak dari tahap awal. FMEA merupakan salah satu langkah *quality management* sekaligus risiko management. Hasilnya tidak hanya dapat menurunkan tingkat risiko kegagalan, melainkan juga meningkatkan kualitas dari produk/proses.

Tabel 2. 5 Contoh Tabel FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

Komponen	Fungsi	Penyebab kerusakan	Akibat kerusakan			Deteksi
			Komponen	Lanjutan	Akhir	

2.13 Komponen Sistem Pendingin Mesin Induk

Dalam proses pendinginan mesin induk terdapat beberapa komponen sistem pendingin, diantaranya yaitu:

1. Kotak air laut (*Seachest*)

Kotak laut (*seachest*) merupakan perangkat yang berhubungan dengan air laut yang menempel pada sisi dalam dari pelat kulit kapal yang berada dibawah permukaan air dipergunakan untuk mengalirkan air laut kedalam kapal sebagai kebutuhan sistem air laut (*Sea water system*).

2. Katup/*valve*.

Katup adalah sebuah alat untuk mengatur aliran suatu fluida dengan menutup, membuka atau menghambat sebagian dari jalannya aliran fluida.

3. Saringan/*filter*.

Filter adalah sebuah alat untuk menyaring kotoran-kotoran yang ikut masuk bersama fluida.

4. Pipa

Pipa adalah saluran berbentuk tabung atau selongsong bundar yang digunakan untuk mengalirkan cairan atau gas. Jenis-jenis pipa yang digunakan sangat *variatif*, ada pipa *carbon*, *stainless*, pipa *fiberglass* serta berbagai jenis dari bahan-bahan lainnya.

5. *Cooler*

Cooler merupakan sistem pendingin yang berfungsi sebagai penyerap panas dari hasil pembakaran bahan bakar di dalam silinder sehingga pengoperasian engine tetap lancar.

6. Mesin induk

Mesin induk merupakan alat penggerak utama kapal, dalam hal ini termasuk komponen yang didinginkan.

7. Pompa/*pump*

Pompa sebagai suatu alat yang dapat memindahkan zatcair dari tempat yang satu ke tempat yang lain. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk dengan bagian keluar (*discharge*).