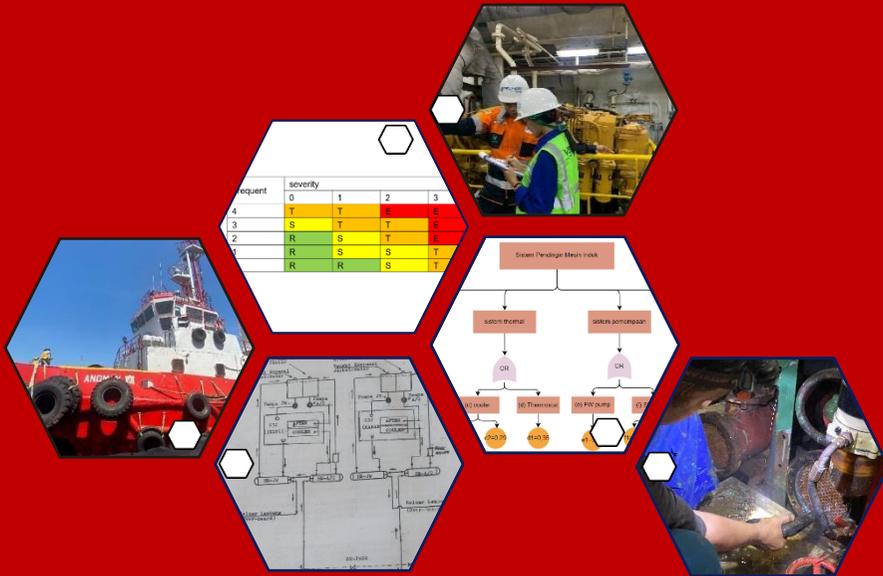


ANALISIS KEGAGALAN SISTEM PENDINGIN KAPAL TUGBOAT MENGUNAKAN PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS (PHA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA)



WIWIN REZKY

D091201038

PROGRAM STUDI TEKNIK SISTEM PERKAPALAM

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



**ANALISIS KEGAGALAN SISTEM PENDINGIN KAPAL TUGBOAT MENGGUNAKAN
PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS (PHA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA)**

WIWIN REZKY

D091201038



PROGRAM STUDI TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

**ANALISIS KEGAGALAN SISTEM PENDINGIN KAPAL TUGBOAT MENGGUNAKAN
PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS (PHA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA)**

WIWIN REZKY

D091201038

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

Sarjana Teknik Sistem Perkapalan

Pada

PROGRAM STUDI TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

**ANALISIS KEGAGALAN SISTEM PENDINGIN KAPAL TUGBOAT MENGGUNAKAN
PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS (PHA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA)**

PERNYATAAN PENGAJUAN

WIWIN REZKY

D091201038

Skripsi,

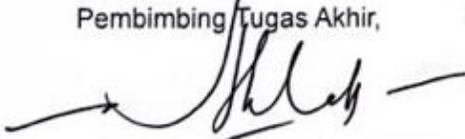
Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Sarjana Pada Tanggal 8 Oktober 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pada

UNIVERSITAS HASANUDDIN
Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa

Mengesahkan:
Pembimbing Tugas Akhir,



Surya Hariyanto, S.T., M.T.
NIP : 197107022000121001

Mengetahui
Ketua Program Studi,



Dr. Eng. H. Faisal M., S.T.M. Inf. Tech. M. eng. IPM
NIP : 198102112005011003

SKRIPSI**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "**Analisis Kegagalan Sistem Pendingin Kapal Tugboat Menggunakan Preliminary Hazard Analysis (PHA) dan Fault Tree Analysis (FTA)**" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Surya Hariyanto, S.T., M.T.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 2 Oktober 2024



W. Rezky
WWIN REZKY
D091201038

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberi rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan berjudul “Analisis Kegagalan Sistem Pendingin Kapal Tugboat Menggunakan *Preliminary Hazard Analysis* (PHA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA)” dapat diselesaikan dengan baik. Penulis berterima kasih kepada seluruh orang yang terlibat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi/Tugas Akhir (TA) akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan almh. Ibu penulis, serta saudara yang senantiasa memberikan doa, dukungan dan menjadi penyemangat penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Surya Hariyanto, S.T, M.T. selaku pembimbing, telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan arahan, bimbingan dan motivasi mulai dari awal penelitian hingga selesainya skripsi ini.
3. Bapak M. Rusdy Alwi, S.T, M.T. dan Ibu Balqis Shintarahayu, S.T, M.Sc. selaku dosen penguji tugas akhir ini yang telah memberikan masukan dan saran terhadap tugas akhir ini.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan, bimbingan, motivasi dan ilmu yang telah diberikan.
5. Seluruh pegawai/staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas kebaikan dalam membantu segala administrasi selama kuliah.
6. Seluruh teman-teman Bidadari 20, Bolzter dan kepada teman-teman Entrance yang telah memberikan dukungan dan pengalaman yang berharga selama penulis menuntut ilmu di Departemen Sistem Teknik Perkapalan.
7. Terkhusus kepada sahabat penulis Yospin Kala Kawandodo dan Santi Apriani yang menjadi teman yang senantiasa menemani penulis selama perkuliahan serta kepada anggota grup baru.

Penulis menyadari dalam proses pengerjaan skripsi ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat kekurangan. Sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan kepada pembaca pada umumnya.

ABSTRAK

Wiwin Rezky. **Analisis Kegagalan Sistem Pendingin Kapal Tugboat Menggunakan Metode Preliminary Hazard Analysis (PHA) dan Fault Tree Analysis (FTA)** (Dibimbing oleh Surya Hariyanto).

Mesin pada kapal dapat beroperasi dengan optimal karena komponen pendukung yang beroperasi dengan baik, salah satunya adalah sistem pendingin sistem mesin induk. Sistem pendingin berfungsi untuk menjaga suhu pada mesin agar temperatur mesin tetap pada suhu kerja mesin. Pada saat beroperasi sistem pendingin bisa saja mengalami kegagalan pada komponen-komponennya yang dapat menyebabkan bahaya dan kerusakan pada mesin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab kegagalan pada sistem pendingin mesin. Metode untuk mengidentifikasi tiap kegagalan yang mungkin terjadi menggunakan *Preliminary Hazard Analysis* kemudian memvisualisasikan secara hierarkis dan logis penyebab kegagalan dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Objek penelitian dilakukan pada bagian sistem pendingin mesin utama kapal TB Anoman 8. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada sistem pendingin mesin utama kapal TB. Anoman 8 menunjukkan bahwa kegagalan pada sistem pendingin disebabkan oleh 16 faktor dengan menggunakan metode FTA. Kemudian dilakukan penilaian prioritas faktor kegagalan oleh responden menggunakan metode PHA terdapat 7 faktor yang memiliki risiko tinggi penyebab kegagalan sistem pendingin mesin utama.

Kata Kunci : Sistem pendingin; Preliminary Hazard Analysis; Fault Tree Analysis

ABSTRACT

Wiwin Rezky. **Failure Analysis of Tugboat Cooling System Using Preliminary Hazard Analysis (PHA) and Fault Tree Analysis (FTA) Methods** (supervised by Surya Hariyanto).

The engine on the ship can operate optimally because of the supporting components that operate properly, one of which is the cooling system of the main engine system. The cooling system functions to maintain the temperature of the engine so that the engine temperature remains at the engine working temperature. When operating the cooling system may experience failures in its components which can cause danger and damage to the engine. The purpose of this study is to determine the cause of failure in the engine cooling system. The method to identify each failure that may occur using Preliminary Hazard Analysis then visualize hierarchically and logically the cause of failure using Fault Tree Analysis (FTA). Based on the results of research conducted on the main engine cooling system of the TB Anoman 8 ship, it shows that the failure of the cooling system is caused by 16 factors using the FTA method. Then an assessment of the priority of failure factors by respondents using the PHA method, there are 7 factors that have a high risk of causing failure of the main engine cooling system.

Keywords: Cooling system; Preliminary Hazard Analysis; Fault Tree Analysis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teori	2
1.2.1 Mesin Diesel.....	2
1.2.2 Sistem Pendingin	3
1.2.3 Komponen Sistem Pendingin.....	4
1.2.4 Aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Mengenai <i>Sea Water Cooling</i> (Vol III, 2019 <i>Section 11</i> hal.11)	9
1.2.5 Faktor Penyebab Kegagalan Komponen Sistem Pendingin	10
1.2.6 Metode <i>Preliminary Hazard Analysis (PHA)</i>	11
1.2.7 Metode <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	12
1.3 Rumusan Masalah	14
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	15
BAB II	16
METODE PENELITIAN	16
2.1 Tempat dan Waktu Penelitian	16
2.2 Jenis Penelitian.....	16
2.3 Metode Pengumpulan Data.....	16

2.4 Metode Pengolahan Data.....	17
2.4.1 Data Kapal	17
2.4.2 Analisis kualitatif.....	18
2.4.3 Analisis Kuantitatif.....	18
2.4.4 Pembuatan dan Penyebaran Kuesioner.....	18
2.5 Kerangka Pikir.....	19
BAB III	20
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
3.1 Sistem Pendingin	20
3.2 Komponen Sistem Pendingin.....	20
3.2.1 Identifikasi Risiko	21
3.2.2 Penyebaran Kuesioner <i>Frequency</i> dan <i>Severity</i>	24
3.3 Penilaian Risiko.....	26
3.4 Uji Keabsahan Kuesioner	30
3.5 Analisa dengan Menggunakan <i>Fault Tree Analysis</i>	32
BAB IV.....	35
KESIMPULAN DAN SARAN	35
4.1 Kesimpulan.....	35
4.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
Lampiran	37

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Simbol-simbol Fault Tree Analysis	13
Tabel 2 Ukuran Utama Kapal.....	17
Tabel 3 Data Mesin	17
Tabel 4 Responden Kuesioner	21
Tabel 5 PHA (<i>Preliminary Hazard Analysis</i>)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 6 frekuensi indeks berdasarkan peraturan DNV	24
Tabel 7 <i>Severity Index</i>	24
Tabel 8 Kode Masalah	24
Tabel 9 Hasil survey <i>Frequency</i> dan <i>Severity</i>	25
Tabel 10 Klasifikasi Keparahan	26
Tabel 11 Penilaian Persepsi Terhadap Frekuensi.....	26
Tabel 12 Penilaian Persepsi Terhadap <i>Severity</i>	27
Tabel 13 Matriks risiko	28
Tabel 14 Hasil Plot Matriks Variabel a1	29
Tabel 15 Hasil penggolongan Matriks Risiko.....	29
Tabel 16 Hasil Matriks Risiko.....	30
Tabel 17 Uji Validitas Kuesioner Variabel <i>Frequency</i>	30
Tabel 18 Uji Validitas Kuesioner Variabel <i>Severity</i>	31
Tabel 19 Hasil uji Reliabilitas Variabel <i>Frequency</i> dan <i>Severity</i>	32
Tabel 20 Nilai Probabilitas.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Siklus Kerja Mesin Diesel 4 Tak	3
Gambar 2 Skema Sistem Pendingin	4
Gambar 3 <i>Cooler</i>	5
Gambar 4 <i>Thermostat</i>	5
Gambar 5 Pompa Sentrifugal	6
<i>Gambar 6 Strainer</i>	7
Gambar 7 <i>Sea chest</i>	7
Gambar 8 <i>Sea Grating</i>	8
Gambar 9 Katup	8
Gambar 10 Proses Pengambilan Data	16
Gambar 11 TB Anoman 8	17
Gambar 12 Kerangka Pikir Penelitian	19
Gambar 15 FTA Sistem Pendingin Mesin	34

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Σ	Jumlah keseluruhan
n_1	Jumlah responden yang memilih
α	Index <i>Frequency/severity</i>
N	Jumlah variabel
Sl	<i>Severity</i>
Fl	<i>Frekuensi</i>
x	Nilai variabel x
y	Nilai variabel y
r	Nilai reabilitas
n	Jumlah pertanyaan
$\Sigma\sigma^2$	Jumlah varian
σ^2	Varian total

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.Kuesioner Penelitian	36
Lampiran 2.Hasil Perhitungan Probabilitas.....	37
Lampiran 3.Hasil Perhitungan <i>Severity</i>	38
Lampiran 4.Hasil Perhitungan Frekuensi.....	39
Lampiran 5.Hasil Kuesioner	40
Lampiran 6.Kuesioner Wawancara Awal.....	41
Lampiran 7.Diagram Sistem Pendingin TB. Anoman 8	43
Lampiran 8 r Hitung.....	44
Lampiran 9.Kode Masalah	45

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal tugboat atau yang dikenal sebagai kapal tunda dalam Bahasa Indonesia, berperan sebagai kapal yang mampu menggerakkan dan mengarahkan kapal lain, baik itu dengan menarik maupun mendorongnya, di berbagai lokasi seperti pelabuhan, perairan laut terbuka, sungai, maupun kanal. Untuk dapat berfungsi dengan baik, kapal harus memenuhi beberapa perlengkapan sistem. Perlengkapan sistem tersebut berupa sistem permesinan, sistem navigasi, sistem ballast, sistem elektrik dan sistem lainnya. Sistem permesinan kapal ada dua yaitu, mesin utama kapal/ mesin induk dan mesin bantu/generator. Untuk dapat beroperasi dengan baik mesin induk kapal membutuhkan sistem penunjang.

Pengoperasian mesin dapat berjalan secara optimal ditandai dengan beberapa sistem beroperasi dengan baik diantaranya pada sistem bahan bakar, sistem pendingin, sistem pelumasan, dan sistem start. Sistem bahan bakar akan memberikan dampak yang panas terhadap area mesin yang dapat mengakibatkan perubahan struktur pada mesin, sehingga membutuhkan pendinginan dan pelumasan yang optimal. Sistem pendinginan dan sistem pelumasan yang baik akan menghilangkan panas (*over heating*), sehingga dapat mengurangi kerusakan. Karena itu melakukan optimalisasi mengenai perawatan pada sistem pendingin sangat diperlukan dan dilaksanakan menurut prosedur operasional *manual book*. (Hidayat, 2019).

Pembakaran dalam mesin terjadi akibat gesekan antara komponen-komponen mesin. Untuk mengurangi panas berlebih, sistem pendingin menyerap panas yang dihasilkan. Operasi terus menerus dari mesin utama dapat mengakibatkan penurunan efisiensi dan kinerja yang tidak optimal. Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan kegagalan kinerja meliputi pembakaran yang tidak efisien, keausan komponen yang saling berkontrak, penurunan kinerja filter bahan bakar dan pelumas karena penyumbatan oleh kotoran dan partikel karat, serta peningkatan suhu pada komponen utama mesin akibat kegagalan sistem pendingin. Hal ini dapat mengakibatkan mesin tidak dapat beroperasi secara maksimal, jika terus dibiarkan maka dapat mengakibatkan mesin mati secara tiba-tiba. Selain itu suhu mesin juga akan terus naik yang menyebabkan kerusakan pada mesin induk. Kegagalan pada salah satu sistem pendingin mesin utama dapat mengakibatkan bahaya dan kejadian kecelakaan potensial.

Kapal TB. Anoman 8 adalah kapal tug boat yang digunakan untuk membantu kapal-kapal besar yang akan bersandar dipelabuhan. Kapal ini merupakan kapal tugboat tertua milik pelindo sudah ada sejak tahun 1986. Berdasarkan informasi yang didapat kapal TB. Anoman 8 ini mengalami beberapa permasalahan pada bagian sistem pendingin. Hampir setiap tahun selalu dilakukan perbaikan pada bagian komponen-komponen sistem pendingin. Hal ini adalah situasi yang sangat berbahaya, jika dibiarkan dapat menyebabkan mesin mati secara tiba-tiba. Bahkan dapat menyebabkan mesin rusak karena air yang

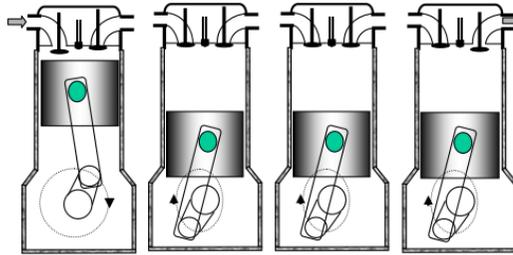
disirkulasikan ke mesin tidak optimal yang menyebabkan suhu mesin naik. Salah satu komponen yang selalu dilakukan perbaikan adalah stainer yang kotor dan kisi *after cooler*.

Untuk menghindari hal tersebut dapat dilakukan antisipasi dengan melakukan analisis pada sistem pendingin mesin induk. Identifikasi kegagalan sistem digunakan untuk mengetahui penyebab kegagalan pada sistem pendingin. Salah satu cara untuk mengidentifikasi potensi kejadian adalah dengan menggunakan *Preliminary Hazard Analysis* (PHA). Setelah mendapat beberapa data kegagalan, kemudian dibuat visualisasi secara hierarkis dan logis kemungkinan penyebab kegagalan suatu sistem dengan menggunakan struktur pohon berupa diagram atau yang dikenal dengan sebutan *Fault Tree Analysis* (FTA).

1.2 Teori

1.2.1 Mesin Diesel

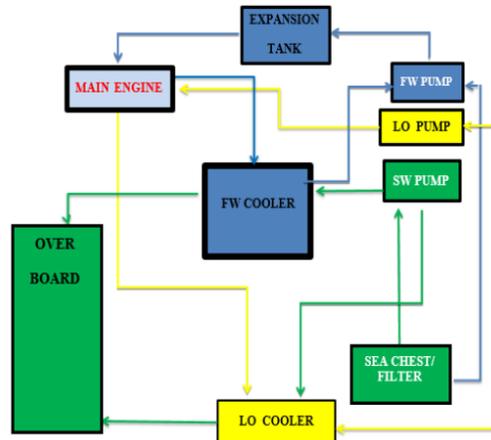
Mesin diesel merupakan sebuah jenis motor bakar dimana poses pembakaran terjadi dalam mesin itu sendiri, dikenal sebagai *internal combustion engine*. Pembakaran terjadi melalui kompresi udara murni dalam ruang bakar (silinder), menghasilkan tekanan dan suhu yang tinggi. Selama proses ini, bahan bakar disemprot atau dikabutkan, memicu terjadinya pembakaran. Ledakan pembakaran menghasilkan panas mendadak naik serta peningkatan tekanan secara tiba-tiba di dalam ruang bakar. Tekanan ini mendorong piston ke bawah, yang selanjutnya menggerakkan poros engkol untuk berputar. Penyemprotan bahan bakar dilakukan pada saat tekanan kompresi, katup masuk dan katup buang pada posisi tertutup, ruang bakar mencapai temperatur nyala, volume dalam silinder menurun, tekanan dan temperatur udara naik. Pada akhir langkah kompresi mesin diesel tekanan udara di dalam mesin silinder mencapai ± 30 bar dan temperatur mencapai $\pm 550^{\circ}C$. selama langkah kompresi piston bertugas menahan udara dalam silinder (ruang bakar) dan pada roda gila dapat terlihat berapa derajat poros engkol terbaca misalnya 22° sebelum mencapai titik mati atas (TMA) untuk mesin diesel pompa injeksi bahan bakar akan bekerja menekan bahan bakar kedalam silinder dan terus akan mencapai kenaikan temperatur titik nyala. Dan poros engkol terus berputar selama penyemprotan berlangsung. Selama proses penyemprotan tekanan maximum didalam silinder naik ± 75 bar dan temperatur pembakaran bisa meningkat mencapa $1500^{\circ}C$ atau lebih. (Samlawi, 2015). Adapun langkah kerja mesin 4 tak, dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1 Siklus Kerja Mesin Diesel 4 Tak
Sumber : Teori Mesin Diesel (Samlawi, 2015)

1.2.2 Sistem Pendingin

Sebagai bahan pendingin pada motor diesel dapat digunakan seperti udara, air dan minyak. Dari ketiga bahan pendingin air merupakan bahan pendingin yang sangat baik untuk menyerap panas. Untuk proses pendinginan, temperatur air pendingin yang ideal yaitu 75° dan sebagai media pendingin adalah air tawar dan air laut. Ada dua jenis pendingin yang menggunakan air, yakni air tawar dan pendingin dengan air laut. (Pendhi, 2019) Sedangkan untuk sistem pendinginan yang umumnya digunakan adalah sistem pendinginan terbuka dan sistem pendinginan tertutup. Sistem pendinginan terbuka menggunakan media pendinginnya adalah air tawar maupun air laut. Proses pendinginan mesin dilakukan dengan cara air pendingin dipompa langsung dari sumber air (sungai, danau, tangki penampungan dan laut) masuk ke dalam mesin dan setelah mendinginkan mesin langsung dibuang ketempat semula (sungai, danau, tangki penampungan dan laut). Pada sistem pendinginan tertutup juga menggunakan air tawar dan air laut. Air laut didinginkan kembali dengan menggunakan udara maupun air tawar atau air laut. Air pendingin mesin dipompa langsung dari penampungan air yang didinginkan atau yang disebut dengan radiator/*water cooler*. Kemudian disirkulasikan kembali ke dalam mesin yang perlu pendinginan selanjutnya kembali lagi ke radiator. Untuk mesin yang menggunakan radiator, air pendingin mesin didinginkan dengan menggunakan udara yang dialirkan dengan menggunakan kipas udara. Kemudian untuk mesin yang menggunakan *water cooler*, air pendingin mesin didinginkan dengan menggunakan air tawar, air danau maupun air laut yang dialirkan dengan menggunakan pompa air. (Samlawi, 2015)



Gambar 2 Skema Sistem Pendingin

Sumber: Jurnal Sekolah Tinggi Maritim Yogyakarta (Subekti et al., 2022).

Berdasarkan gambar skema sistem pendingin tersebut dapat dijelaskan sirkulasi/aliran sistem pendingin air tawar pada mesin sebagai berikut: tangki ekspansi, *cylinder liner*, *fresh water (FW)*, *cylinder head*, *cooling pump*, *fresh water cooler*. Sedangkan proses/aliran sistem pendingin air laut pada cooler air tawar meliputi: filter/saringan, *sea chest*, *lubricating oil (LO) cooler* dan keluar melalui *over board*. Beberapa bagian yang didinginkan pada mesin utama antara lain: *cylinder jacket*, *cylinder cover*, *cylinder liner* (Subekti et al., 2022).

1.2.3 Komponen Sistem Pendingin

Berikut ini adalah komponen-komponen pada sistem pendingin mesin induk, yaitu sebagai berikut:

1. Cooler

Cooler adalah suatu alat yang berfungsi untuk mencegah terjadinya *overheating* (panas berlebihan) dengan cara mendinginkan suatu fraksi panas dengan menggunakan media cairan dingin, sehingga akan terjadi perpindahan panas dari fluida yang panas ke media pendingin tanpa adanya perubahan suhu. *Cooler* terdiri dari plate-plate yang umumnya terbuat dari baja atau *stainless steel* untuk menghambat proses terjadinya korosi (Hidayat, 2019). Pada gambar 3 merupakan jenis cooler shell dan tube. Cooler jenis ini terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara paralel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang). Fluida yang satu mengalir di dalam bundel pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan (Johandi, 2023).



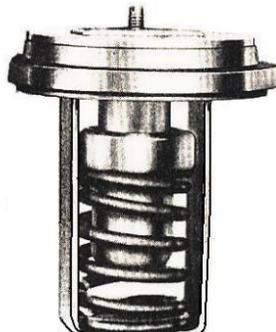
Gambar 3 Cooler

Sumber : <https://jarummas.com/product-detail/water-cooler-coolman-tutup-besi/>

2. *Thermostat*

Secara umum, dalam sistem pendingin mesin, air pendingin mengalir ke radiator setelah mencapai suhu kerja tertentu. Setiap sistem pendingin dilengkapi dengan komponen pengatur suhu untuk menjaga suhu mesin tetap optimal. Dalam konteks pembakaran untuk menghasilkan tenaga, semakin sedikit panas yang terbuang melalui pendingin, semakin banyak panas yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan daya dari pembakaran. Namun, jika kita melihat dari sudut pandang komponen dan struktur kimia, panas berlebihan dapat merugikan komponen dengan mengurangi kekuatannya. (Maksum et al., 2012).

Thermostat berfungsi untuk mengukur suhu air pendingin yang masuk dan keluar dari motor induk. Ketika mesin masih dingin atau belum mencapai suhu tertentu, katup *thermostat* menutup aliran air ke *cooler*, sehingga air hanya berputar di dalam mesin melalui *thermostat*. Saat suhu mendekati $\pm 60\text{ C}$, katup terbuka, memungkinkan air mengalir ke *cooler*. Pada suhu tertentu yang lebih tinggi, katup terbuka penuh, memungkinkan siklus air dengan kapasitas normal. Adapun bentuk dari *thermostat* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 *Thermostat*

Sumber : Teori Dasar Motor Diesel (Samlawi, 2015)

3. Pompa

Pompa air laut adalah adalah komponen pada sistem pendingin yang berfungsi untuk mensirkulasikan air, menuju ke sistem yang terdapat jalur pendingin dan membutuhkan pendingin. Bentuk pompa air pada sebuah sistem pendingin adalah pompa sentrifugal (*non positive displacement*), seperti yang terlihat pada gambar 5. Artinya pompa sentrifugal menghasilkan aliran yang tetap sesuai dengan putaran mesin. Putaran untuk menggerakkan pompa hingga menghasilkan aliran pada sistem pendingin adalah diputar oleh *crankshaft* melalui *pulley* atau *idle gear*, sehingga putaran mesin akan berpengaruh pada kecepatan aliran yang dihasilkan oleh pompa.



Gambar 5 Pompa Sentrifugal

Sumber : <https://badjaabadisentosa.com/tentang-pompa-sentriugal-centrifugal-pump/detail>

4. Saringan (*Strainer*)

Strainer adalah sebuah alat berbentuk kotak atau silinder seperti yang terlihat pada gambar 6 yang umumnya dipasang di dalam pipa menuju mesin utama, pipa menuju mesin bantu (*auxiliary engine*) atau jalur *by pass*. Fungsinya adalah untuk menangkap kotoran dari air laut. Di dalam strainer, terdapat filter yang bertugas menyaring kotoran. Jika kotoran tersebut tidak disaring dan mengendap di dalam strainer, maka dapat masuk ke dalam sistem air laut di dalam ruang mesin dan komponen lainnya.



Gambar 6 Strainer

Sumber : <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/stainless-steel-304-316-pipeline-strainer-1600965992334.html>

5. Kotak Laut (*Sea chest*)

Kotak laut atau yang dikenal sebagai *sea chest* merupakan sebuah komponen yang terhubung dengan lingkungan air laut dan terpasang di dalam sisi pelat kulit kapal di bawah permukaan air. Fungsinya adalah untuk mengalirkan air laut ke dalam kapal guna memenuhi kebutuhan sistem air laut (*sea water system*). Pada umumnya, terdapat dua lokasi pemasangan *sea chest* yang berbeda ketinggiannya, disesuaikan dengan variasi kedalaman perairan yang dilalui. Kedua *sea chest* ini dihubungkan oleh pipa utama yang dilengkapi dengan kran pengatur (*valve*) mesing-mesing. (Sitepu & Baso, 2016). *Sea chest* terdapat pada bagian sisi kapal tepatnya pada bagian bilga seperti yang terlihat pada gambar 7.



Gambar 7 *Sea chest*

6. *Sea Grating*

Sea Grating adalah saringan atau kisi-kisi seperti yang terlihat pada gambar 8, yang dipasang pada *sea chest* untuk mencegah masuknya benda-benda yang tidak dikehendaki dari laut ke dalam sistem pipa dalam kapal. Jadi fungsi *sea grating* adalah menyaring air laut sebelum masuk ke

dalam *sea chest* yang merupakan saringan awal sebelum air laut masuk sistem melewati *strainer* dan filternya.



Gambar 8 Sea Grating

7. Katup (*Valve*)

Semua sistem perpipaan di dalam kamar mesin harus dilengkapi dengan katup yang berperan sebagai pengatur aliran air laut, serta sebagai pengaman dalam situasi seperti pompa darurat akibat kebocoran atau untuk pemadam kebakaran dan keperluan lainnya. Ukuran katup harus disesuaikan dengan ukuran pipa yang digunakan. Salah satu valve yang sering digunakan pada kapal adalah gate valve. Adapun bentuk dari gate valve dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Katup

Sumber : <https://ceritaboiler.blogspot.com/2016/07/jenis-jenis-valve-yang-digunakan-untuk.html>

8. Pipa-pipa *by pass*

Pipa-pipa *by pass* dipergunakan untuk saling menghubungkan antara *sea chest* yang satu dengan *sea chest* yang lain, dengan tujuan dapat membantu suplai air laut ke tempat tertentu dari satu sistem, bila salah satu sistem mengalami kesulitan atau hambatan dalam suplai air laut.

1.2.4 Aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Mengenai *Sea Water Cooling* (Vol III, 2019 Section 11 hal.11)

Berikut ini adalah aturan biro klasifikasi Indonesia (BKI) mengenai *sea water cooling* yaitu :

1. *Sea chest*

Hubungan ke laut sekurang-kurangnya 2 *sea chest* harus ada. Bilamana mungkin *sea chest* diletakkan serendah mungkin pada mesing-mesing sisi kapal. Untuk daerah pelayaran yang dangkal, disarankan bahwa harus terdapat sisi penghisap air laut yang lebih tinggi, untuk mencegah terpisahnya lumpur atau pasir yang ada di perairan dangkal tersebut. Diharuskan suplai air laut secara keseluruhan untuk *main engine* dapat diambil hanya dari satu buah *sea chest*. Tiap *sea chest* dilengkapi dengan suatu ventilasi yang efektif. Pengaturan ventilasi tersebut haruslah disetujui yang meliputi: suatu pipa udara sekurang-kurangnya berdiameter dalam 22mm yang dapat diputuskan hingga diatas *deck bulkhead*. Adanya tempat dengan ukuran yang cukup di bagian dinding plat.

Saluran udara bertekanan atau saluran uap melengkapi kelengkapan *sea chest* untuk pembersihan *sea chest* dari kotoran. Saluran tersebut dilengkapi dengan katup *shut off* yang dipasang di *sea chest*. Udara yang dihembuskan ke *sea chest* dapat melebihi 2 bar jika *sea chest* dirancang untuk tekanan yang lebih tinggi.

2. Katup

Katup *sea chest* dipasang sedemikian rupa sehingga dapat dioperasikan selama pompa beroperasi di atas lantai (*floor plates*). Pipa tekanan untuk sistem pendingin air laut dipasang suatu katup *shut off* pada *shell plating*.

3. *Strainer*

Sisi hisap pompa air laut pasang *strainer*. *Strainer* tersebut juga diatur sehingga dapat dibersihkan selama pompa beroperasi. Bilamana air pendingin dihisap oleh saluran yang dipasang dengan penyaringnya, maka pemasangan *strainer* dapat diabaikan.

4. Pompa Pendingin Air Laut

Pembangkit penggerak utama kapal dengan menggunakan mesin diesel harus dilengkapi dengan pompa utama dan pompa cadangan. Pompa pendingin mesin induk yang diletakkan pada pembangkit penggerak (*propulsion plant*) dipastikan bahwa pompa itu dapat memenuhi kapasitas air pendingin yang layak untuk keperluan mesin induk dan mesin bantu pada berbagai jenis kecepatan dari *propulsion plant* (untuk pompa cadangan digerakkan oleh mesin yang *independent*). Pompa air utama dan cadangan masing-masing kapasitasnya merupakan kapasitas maksimal air pendingin yang diperlukan oleh pembangkit atau sebagai alternatif tiga buah pompa air pendingin dengan kapasitas yang sama dipasang. Bahwa dua pompa tersebut cukup untuk menyuplai air pendingin yang diperlukan pada

kondisi operasi beban penuh pada temperatur yang lebih tinggi dengan dikendalikan oleh *thermostat*. Pompa ballast atau pompa air laut lainnya dapat digunakan sebagai pompa pendingin cadangan. Bilamana air pendingin dipasok oleh saluran hisap (*scoop*), pompa air pendingin utama dan cadangan harus dipastikan memiliki kapasitas yang menjamin keandalan pada operasinya pada pembangkit dibawah kondisi pembebanan parsial. Pompa air pendingin utama secara otomatis dibangkitkan sesegera mungkin bila kecepatan turun dibawah kecepatan yang dibutuhkan.

5. Cooler

Pendingin dari sistem air pendingin, mesin dan peralatannya dipasang untuk menjamin bahwa temperatur air pendingin yang telah ditentukan dapat diperoleh pada berbagai keperluan yang dibutuhkan oleh mesin dan peralatan. Penukaran panas untuk peralatan bantuan pada sirkuit air pendingin utama jika kemungkinan dilengkapi dengan jalur *by pass*, bilamana terjadi gangguan pada pertukaran panas, untuk menjaga kelangsungan operasi sistem dipastikan bahwa peralatan bantu dapat tetap bekerja saat perbaikan pada peralatan pendingin utama. Bilamana perlu diberikan pengalih aliran ke penukar panas yang lain, permesinan, atau peralatan sepanjang suatu penukar panas sementara dapat diperoleh. Katup *shut off* dipasang pada sisi hisap dan tekan dari semua penukar panas. Tiap penukar panas dan pendingin dilengkapi dengan ventilasi dan saluran kuras.

6. Tangki Ekspansi

Tangki Ekspansi diatur pada ketinggian yang cukup untuk tiap sirkuit air pendingin. Sirkuit pendingin lainnya hanya dapat dihubungkan ke suatu tangki ekspansi umum jika tidak saling mempengaruhi satu sama lainnya, perhatian harus diberikan untuk memastikan bahwa kerusakan dan kegagalan dari sistem tidak dapat mempengaruhi sistem lain. Tangki ekspansi dihubungkan dengan jalur pengisi, pengukuran tinggi air dan saluran kuras.

7. Pengatur Suhu (*Thermostat*)

Sirkuit air pendingin dilengkapi dengan pengatur suhu sesuai yang diperlukan dan disesuaikan dengan peraturan yang ada. Alat pengatur yang mengalami kerusakan dapat mempengaruhi fungsi kinerja dari mesin yang dilengkapi atau saat pengatur itu bekerja.

Peraturan ini harus dipenuhi di kapal untuk memastikan keamanan dan efisiensi sistem pendingin. Dengan menetapkan standar dan prosedur yang ketat untuk mencegah risiko operasional dan kerusakan. Meskipun demikian, sistem pendingin pada kapal masih sering mengalami kegagalan.

1.2.5 Faktor Penyebab Kegagalan Komponen Sistem Pendingin

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 turunnya kinerja setiap komponen :

a. Kondisi Perairan

Faktor 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 *sea chest* terus mengalir 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 kerja.

b. 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 pendingin air pendingin tidak maksimal.

c. Faktor tambahan : material komponen, kecepatan kapal, dan lain-lain sebagainya. M. Darman. S. Tar. M. Mar.Engineer (2022).

1.2.6 Metode *Preliminary Hazard Analysis (PHA)*

Preliminary Hazard Analysis (PHA) adalah metode analisis risiko bersifat semi kuantitatif yang berguna untuk mengidentifikasi segala bahaya dan kejadian kecelakaan potensial yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan. (Erwin Asmara & Dwisetiono, 2022). Tujuan penggunaan metode *Preliminary Hazard Analysis* adalah mengidentifikasi bahaya yang mungkin terjadi, diikuti dengan langkah-langkah untuk mengidentifikasi pengendalian bahaya yang diperlukan serta melakukan tindak lanjut. Dengan melakukan upaya ini, diharapkan risiko dari bahaya yang timbul dapat diminimalkan. (Prabowo et al., 2018).

Preliminary Hazard Analysis (PHA) merupakan metode risiko yang bersifat semi kuantitatif yang dilakukan untuk:

- a. Mengidentifikasi semua bahaya dan kejadian kecelakaan potensial yang dapat menyebabkan *accident*.
- b. Mengurutkan kejadian kecelakaan yang telah teridentifikasi berdasarkan tingkat keparahannya.
- c. Mengidentifikasi pengendalian bahaya yang dibutuhkan dan melakukan *follow up*.

Preliminary Hazard Analysis bermanfaat sebagai studi khusus pada tahap awal sebuah proyek, contohnya dalam sebuah plant baru. *PHA* mengidentifikasi dimana energi terlepas dan apa kejadian kecelakaan yang mungkin terjadi, dan

memberikan estimasi tingkat keparahan masing-masing kejadian tersebut. Ini merupakan langkah analisis risiko yang rinci dalam sebuah konsep sistem atau sistem yang sudah ada. Tujuan PHA adalah untuk mengidentifikasi potensi kejadian kecelakaan dan menyediakan analisis risiko yang detail. Keberhasilan PHA sebagai alat analisis yang efektif tergantung pada kompleksitas sistem yang dianalisis dan tujuan khusus dari analisis tersebut. (Prabowo et al., 2018). Penerapan awal PHA memungkinkan untuk mengidentifikasi bahaya dan untuk mengklasifikasikan bahaya dan untuk mendefinisikan persyaratan keamanan tingkat atas. (Priharanto & Abrori, 2019).

Untuk menghitung analisis *frequency Index* digunakan rumus pada persamaan (Well-Stam, 2004) sebagai berikut: persamaan 1 dan 2

$$LI = \frac{\sum_{i=1}^4 \Sigma \alpha_i n_i}{4N} \times 100\% \quad (1)$$

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^{3i} \Sigma \alpha_i n_i}{3N} \times 100\% \quad (2)$$

1.2.7 Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

1. Analisis Kualitatif FTA

Analisis Pohon Kesalahan (*Fault Tree Analysis*/FTA) adalah alat analisis yang membentuk struktur berupa pohon, yang sederhananya dapat dijabarkan sebagai teknik analisis. Pohon kesalahan berperan sebagai alat yang mengaitkan berbagai peristiwa yang berpotensi mengakibatkan peristiwa lain, yang nantinya digunakan untuk mencari akar penyebab kegagalan. Untuk menyusun pohon kesalahan, dapat dilakukan wawancara dengan pihak yang bertanggung jawab atau yang terkait, serta observasi langsung di lokasi produksi untuk mengumpulkan data yang diperlukan. Setelah semua data terkumpul, pohon kesalahan dapat digambar secara langsung berdasarkan data yang telah diamati. (Hadi, 2021).

FTA bertujuan untuk mengidentifikasi potensi faktor penyebab kegagalan, memetakan serangkaian tahapan kejadian yang dapat mengarah pada kegagalan, mengevaluasi risiko yang terkait dan menyelidiki insiden kegagalan. Metode ini menggunakan pendekatan deduksi logis yang dirancang khusus untuk menilai risiko dalam sistem yang kompleks, dengan fokus pada peristiwa paling tidak diinginkan. FTA juga mengidentifikasi penyebab langsung maupun tidak langsung dari kegagalan. Pendekatan "*top down*" dalam FTA dimulai dengan mengasumsikan kegagalan dari peristiwa puncak (*Top Event*) dan mengurai peristiwa tersebut hingga mencapai kegagalan dasar (*root cause*) dijelaskan melalui gerbang logika (*logic gates*), yang mencakup kondisi Tunggal atau kombinasi berbagai kondisi pemicu kegagalan. Diagram *Fault Tree* digunakan untuk menghasilkan *cut set* dan *minimal cut set*. *Cut set* merujuk pada kumpulan komponen sistem yang, jika gagal, dapat menyebabkan sistem, sedangkan *minimal cut set* adalah set minimum komponen sistem yang diperlukan untuk menyebabkan kegagalan. Selanjutnya, analisis *Fault Tree*

memberikan gambaran yang jelas tentang kondisi sistem dan membantu menentukan langkah perbaikan yang diperlukan. (Safrudin & Rahman, 2021).

Metode *Fault Tree Analysis* ini efektif dalam menemukan inti permasalahan karena memastikan bahwa suatu kejadian yang tidak diinginkan atau kerugian yang menimbulkan tidak berasal pada satu titik kegagalan. *Fault Tree Analysis* mengidentifikasi hubungan antara faktor penyebab dan ditampilkan dalam bentuk pohon kesalahan yang melibatkan gerbang logika sederhana. Gerbang logika menggambarkan kondisi yang memicu terjadinya kegagalan, baik kondisi tunggal maupun kumpulan dari berbagai macam kondisi. Konstruksi dari *Fault Tree Analysis* meliputi gerbang logika yaitu gerbang *AND* dan gerbang *OR*. Setiap kegagalan yang terjadi dapat digambarkan ke dalam satu bentuk pohon analisa kegagalan dalam mentransfer atau memindahkan komponen kegagalan ke dalam bentuk simbol (*Logic Transfer Components*) dan *Fault Tree Analysis*. (Ferdiana & Priadythama, 2015). Adapun simbol-simbol yang digunakan dalam pembuatan *Fault Tree Analysis* adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Simbol-simbol *Fault Tree Analysis*

Simbol	Kode	keterangan	Defenisi
	G	<i>Top event</i>	Kejadian kegagalan yang tidak diharapkan
	Gate	<i>OR gate</i>	Kejadian kegagalan sistem terjadi apabila satu atau komponen lainnya mengalami kegagalan
	Gate	<i>AND gate</i>	Kejadian kegagalan sistem terjadi apabila satu dan komponen lainnya mengalami kegagalan
	E	<i>Basic event</i>	Penyebab mula kegagalan

Sumber : Skripsi Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang (Kholifah, 2017)

Gerbang logika sederhana dapat menggambarkan bentuk kegagalan, baik itu disebabkan oleh kegagalan tunggal maupun beberapa kegagalan yang terjadi dalam waktu yang sama. Adapun beberapa manfaat dari metode *Fault Tree Analysis* adalah dapat menentukan faktor penyebab kemungkinan besar menimbulkan kegagalan, menentukan tahapan kejadian yang kemungkinan besar sebagai penyebab kegagalan, menganalisis kemungkinan sumber-sumber risiko sebelum kegagalan timbul dan mengidentifikasi suatu kegagalan. (Ferdiana & Priadythama, 2015).

Kegagalan yang ada pada sistem bisa disebabkan kegagalan pada komponennya, kegagalan pada manusia yang mengoperasikannya atau disebut juga *human error*, dan kejadian di luar sistem yang dapat mengarah pada salah satu *undesired event* yang dapat terjadi pada sistem. Hanya bagian-bagian tertentu dari sistem yang berhubungan beserta kegagalan-kegagalan yang ada,

yang digunakan untuk membangun *fault tree*. Pada suatu sistem bisa terdapat lebih dari satu *undesired event* mempunyai representasi *fault tree* yang berbeda-beda yang disebabkan faktor-faktor atau bagian-bagian sistem dan kegagalan yang mengarah pada satu kejadian berbeda dengan lainnya. Pada *fault tree*, *undesired event* yang akan dianalisis disebut juga *top event*. (Kholifah, 2017).

2. Analisis Kuantitatif FTA

Menganalisis FTA dengan hukum *logic fate* yang terdapat hukum probabilitas penjumlahan untuk (*OR Gate*) dan hukum probabilitas untuk (*END Gate*). Analisa ini bertujuan bertujuan untuk mendapatkan nilai minimal *cut set*. Minimal cut set merupakan kombinasi peristiwa *basic event* penyebab terjadinya *top event*. Ketentuan probabilitas untuk minimal *cut set* disesuaikan dengan indeks frekuensi. (Wahyuningsih et al., 2023). Evaluasi kuantitatif *fault tree* dilakukan dengan menggunakan pendekatan perhitungan langsung (*direct numerical approach*) hal ini bersifat *bottom-up approach*. Dengan pendekatan numerik ini dimulai dari level hirarki yang paling rendah, semua probabilitas dari peristiwa di Tingkat ini dikombinasikan menggunakan gerbang logika yang sesuai. Kombinasi ini kemudian memberikan nilai probabilitas untuk intermediate event pada level hirarki di atasnya, hingga mencapai top event. (Wibisono, 2021)

Probabilitas *basic event* digunakan untuk menentukan dan menghitung *cut set*. *Cute set* merupakan kombinasi kegagalan kejadian dasar atau kombinasi pembentukan pohon kesalahan yang bila semua terjadi akan menyebabkan peristiwa puncak terjadi, sedangkan *minimal cut set* adalah kombinasi terkecil dari kegagalan kejadian dasar atau kombinasi peristiwa yang paling kecil yang membawa peristiwa yang tidak diinginkan. (Rudianto & Pitana, 2018).

1.3 Uji Keabsahan

Pemeriksaan validitas instrumen merupakan tahap penting dalam penelitian guna memastikan bahwa alat pengukuran yang digunakan benar-benar mencerminkan apa yang seharusnya diukur. Validitas mengindikasikan sejauh mana alat tersebut mengukur variabel yang dimaksud secara akurat, dan validitas instrumen menjadi faktor kunci dalam menentukan kualitas penelitian. Adapun rumus yang digunakan dalam menentukan nilai r hitung (Gregory, 2000) adalah sebagai berikut.

$$r = \frac{N\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(N\sum x^2 - (\sum x)^2)(N\sum Y^2 - ((\sum Y)^2)}} \quad (3)$$

Pengujian reliabilitas instrumen merupakan tahap krusial dalam penelitian guna memverifikasi konsistensi dan keandalan hasil yang dihasilkan oleh instrumen pengukuran yang diterapkan. Reliabilitas merupakan indikator seberapa sering instrumen tersebut menghasilkan hasil yang serupa ketika digunakan berulang kali pada subjek atau populasi yang serupa. Terdapat beragam metode yang tersedia untuk menguji reliabilitas instrumen tersebut. Adapun rumus yang digunakan dalam menentukan nilai Alpha Cronbach (Gregory, 2000) adalah sebagai berikut.

$$r = \left(\frac{n}{n-1} \right) \left(1 - \frac{\sum \sigma t^2}{\sigma t^2} \right) \quad (4)$$

1.4 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas. Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Apa penyebab terjadinya kegagalan pada sistem pendingin menggunakan metode PHA?
2. Komponen apa yang memiliki tingkat risiko kegagalan tinggi pada sistem pendingin mesin utama kapal tugboat menggunakan metode PHA?
3. Kegagalan apa yang paling sering terjadi pada sistem pendingin mesin utama kapal tugboat dengan menggunakan metode FTA?

1.5 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui penyebab terjadinya kegagalan pada sistem pendingin menggunakan.
2. Mengetahui komponen yang memiliki tingkat risiko kegagalan yang tinggi pada sistem pendingin kapal menggunakan.
3. Mengetahui kegagalan yang kemungkinan paling sering terjadi pada kapal tugboat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan sebagai acuan para awak kapal mengenai sistem pendingin pada kapal TB. Anoman 8
2. Memberi informasi risiko kegagalan utama yang dapat terjadi pada sistem pendingin mesin utama
3. Dapat dijadikan acuan atau perbandingan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di PT. Pelindo Jasa Maritim (SPJM) Area Sulawesi I pada bulan juli 2024 -selesai. Adapun tempat pengolahan data dilakukan di Labo Sistem Bangunan Laut, Departemen Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin.

2.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini analisis data kualitatif dan kuantitatif dengan mengidentifikasi dan memahami potensi bahaya yang dapat terjadi pada sistem pendingin mesin utama kemudian menganalisis data kuantitatif berdasarkan data historis kegagalan pada sistem pendingin mesin utama kapal.

2.3 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui studi lapangan, di mana wawancara langsung dilakukan dengan awak kapal yang bertanggung jawab dalam pemeliharaan mesin utama kapal seperti yang terlihat pada gambar 11. Wawancara tersebut mencakup pengumpulan data mengenai jenis pendingin yang digunakan, jenis kegagalan yang terjadi pada sistem pendingin, potensi bahaya yang ditimbulkan akibat kegagalan pada sistem pendingin, tingkat frekuensi dan *severity* yang dapat terjadi serta faktor-faktor penyebab kegagalan pada sistem pendingin.

Pengumpulan data juga dilakukan dalam bentuk penyebaran kuesioner kepada responden yang memiliki pengalaman dalam bidang permesinan kapal. Tujuan dari pengumpulan data ini adalah untuk mengidentifikasi potensi bahaya yang dapat menyebabkan kegagalan, peristiwa yang menimbulkan bahaya tersebut, dampak yang dapat ditimbulkannya, serta konsekuensi yang mungkin terjadi jika bahaya tersebut tidak ditangani atau dicegah dengan tetap.



Gambar 10 Proses Pengambilan Data

2.4 Metode Pengolahan Data

Setelah pengumpulan data selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan analisa data. Dalam pengolahan data digunakan analisa kualitatif dan analisis kuantitatif untuk mendapatkan nilai probabilitas setiap kegagalan. Kegiatan mengolah data ini terdiri dari beberapa tahapan, secara garis besar sebagai berikut:

2.4.1 Data Kapal

Kapal yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kapal tugboat. Adapun gambar dari kapal yang digunakan dapat dilihat pada gambar 12.

A. Ukuran Utama Kapal

Berikut adalah ukuran utama dan gambar dari pada TB. Anoman 8.

Tabel 2 Ukuran Utama Kapal

Nama kapal	Anoman 8
Tipe	Tugboat
Length Over All (LOA)	30 m
Breadth (B)	8
Depth (H)	9,5 m
Draught (T)	3,5 m
Gross Tonnage	324 ton



Gambar 11 TB Anoman 8

B. Data Mesin

Mesin yang digunakan adalah kapal TB. Anoman 8 yang menggunakan 2 mesin penggerak utama yaitu mesin kanan dan mesin kiri dengan setiap mesin memiliki 1800 rpm. Berikut dimensi mesin induk kapal TB. Anoman 8.

Tabel 3 Data Mesin

Merek	Caterpillar	Caterpillar
Model	Accert C32	Accert C32

Lanjutan Tabel 4 Data Mesin

Merek	Caterpillar	Caterpillar
Nomor seri	RNYO1805	RNYO1820
Daya	1000 hp	1000 hp

2.4.2 Analisis kualitatif

Pada tahapan ini, hasil identifikasi kegagalan di lapangan dikumpulkan dan dibuat dalam lembar kerja PHA berdasarkan kegagalan, penyebab kegagalan serta dampaknya. Kemudian dilanjutkan penggambaran diagram FTA berdasarkan hubungan logika yang dimulai dengan top event terlebih dahulu kemudian dihubungkan ke bawah dengan event-event yang memberikan kontribusi secara langsung terjadinya *top event*. Adapun langkah-langkah dalam Menyusun FTA yaitu sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi masalah dan menentukan batasan sistem yang diamati.
2. Membuat model FTA dengan menentukan *top event* (kegiatan puncak), menentukan *intermediet event* dan hubungan terhadap *top event* menggunakan *logic gate* (gerbang logika), dilanjutkan sampai kegiatan *basic event* (kegiatan paling dasar).
3. Menghitung *minimal cut set* berdasarkan Analisa diagram FTA untuk menentukan kombinasi kesalahan yang menyebabkan kegiatan *top event* terjadi.

2.4.3 Analisis Kuantitatif

Setelah analisis kualitatif selesai, dilanjutkan untuk menghitung Tingkat resiko dari masing-masing masalah yang dapat menyebabkan kegagalan pada sistem pendingin menggunakan metode PHA. kemudian dilanjutkan dengan menganalisis *minimal cut set* dari diagram analisis FTA untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan. Perhitungan probability pada setiap cut set berdasarkan data kuesioner dibagikan kepada 15 responden yang bekerja di kamar mesin.

2.4.4 Pembuatan dan Penyebaran Kuesioner

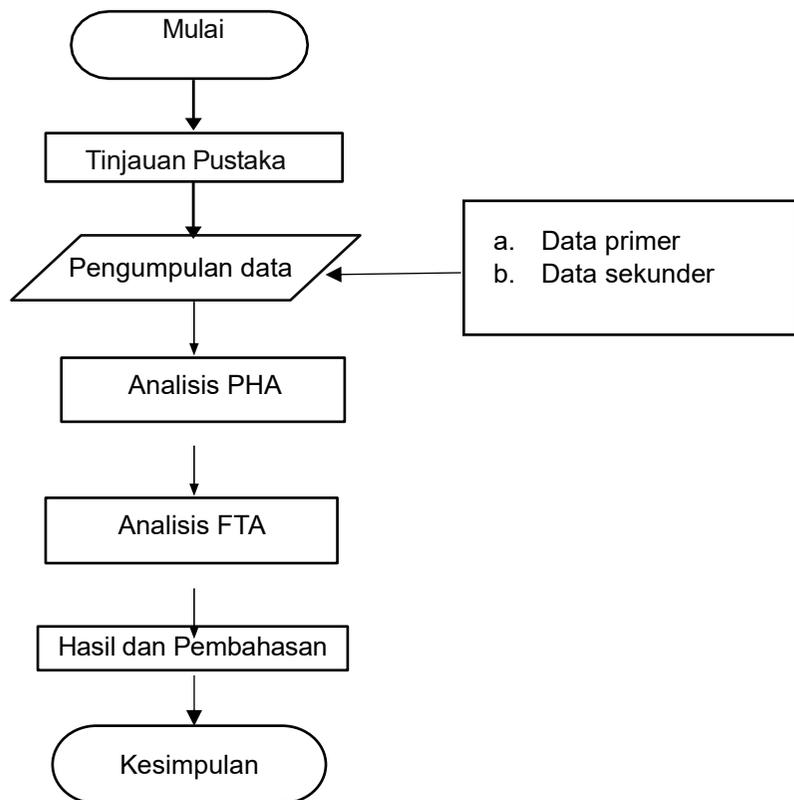
Merujuk pada tahapan-tahapan metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Preliminary Hazard Analysis (PHA) dalam pembuatan dan penyebaran kuesioner sebagai berikut:

- a. Untuk menyusun kuesioner mengenai penyebab kegagalan pada sistem pendingin mesin utama, pertama-tama dilakukan wawancara untuk mengidentifikasi masalah yang biasa ditemui pada sistem pendingin
- b. Setelah itu, masalah-masalah yang telah diidentifikasi disusun dalam tabel kuesioner yang mencakup kategori *severity* dan frekuensi.

- c. Selanjutnya, kuesioner disebarluaskan melalui dua metode: secara langsung dan online. Metode penyebaran secara langsung melibatkan interaksi langsung antara responden dan penulis. Sedangkan penyebaran online menggunakan platform digital untuk menjangkau audiens yang lebih luas.
- d. Setelah nilai-nilai dari kuesioner telah ditentukan, langkah berikutnya adalah melakukan perengkingan untuk menentukan prioritas masalah.
- e. Kemudian masalah-masalah yang telah diidentifikasi digambarkan secara hirarkidengan *Fault Tree analysis*

2.5 Kerangka Pikir

Untuk mempermudah dalam proses pelaksanaan penelitian ini, maka disusunlah kerangka pikir penelitian sebagaimana diperlihatkan pada gambar 13:



Gambar 12 Kerangka Pikir Penelitian