

SKRIPSI

**ANALISIS TIDAK OPTIMALNYA KINERJA KETEL UAP DI
KAPAL MV. ARIMBI BARUNA**



RICKY KHARISMANTO

NIT 21.42.041

TEKNIKA

**PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR
TAHUN 2025**

SKRIPSI

**ANALISIS TIDAK OPTIMALNYA KINERJA KETEL UAP DI
KAPAL MV. ARIMBI BARUNA**

Sebagai Salah Satu Persyaratan untuk
Memenuhi Persyaratan untuk Program
Pendidikan Diploma IV Pelayaran

Program Studi Teknika

Disusun dan Diajukan oleh

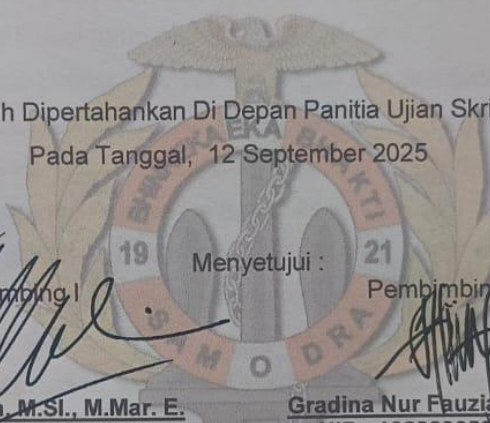
RICKY KHARISMANTO
NIT. 21.42.041

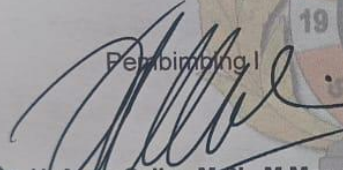
SKRIPSI
ANALISIS TIDAK OPTIMALNYA KINERJA KETEL UAP DI KAPAL MV.
ARIMBI BARUNA

Disusun dan diajukan oleh :

RICKY KHARISMANTO
NIT : 21.42.041

Telah Dipertahankan Di Depan Panitia Ujian Skripsi
Pada Tanggal, 12 September 2025



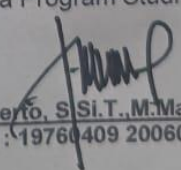
Menyetujui : Pembimbing I	Menyetujui : Pembimbing II
 <u>Dr. H. Agus Salim, M.Si., M.Mar. E.</u> NIP : 196308171998081001	 <u>Gradina Nur Fauziah, S.Si., M.Si.</u> NIP : 198803052010122001

Mengetahui :

a.n. Direktur
Politeknik Ilmu Pelayaran Makasar
Pembantu Direktur I


Capt. Falsal Saransi, M. T., M.Mar
NIP : 1975032919991002

Ketua Program Studi Teknika


Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P
NIP : 19760409 200604 1 001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT atas segala rahmat, hidayah, dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam tidak lupa penulis curahkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, suri tauladan bagi seluruh umat, yang telah membawa cahaya Islam hingga ke seluruh penjuru dunia. Skripsi yang berjudul “ Analisis Tidak Optimalnya Kinerja Ketel Uap di Kapal MV. Arimbi Baruna”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kandungan garam pada air ketel terhadap kinerja ketel uap serta potensi kerusakan akibat korosi pada sistem pipa ketel uap.

Penulis menghadapi banyak tantangan dan hambatan selama proses penelitian ini, tetapi berkat bantuan dan dukungan dari banyak pihak, itu dapat dicapai. Penulis mengakui bahwa skripsi ini memiliki kekurangan. Akibatnya, penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga tercinta saya yang selalu mendukung, mendorong, dan mendoakan saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Rudy Susanto, M.Pd., yang merupakan Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar, yang telah mendukung, mengajar dan memberikan persetujuan untuk penelitian ini.
3. Bapak Alberto, Ketua Program Studi Teknika PIP Makassar, yang telah mendorong, mengajar dan mengizinkan penelitian.
4. Bapak H. Agus Salim, M.Sl., M.Mar. E. dan Ibu Gradina Nur Fauziah, S.Sl., M.Si. sebagai dosen pembimbing 1 dan 2 yang banyak memberikan bimbingan dan arahan selama proses penelitian.

5. Bapak Dr. Sarifuddin ,M.Pd.M.Mar.E dan Bapak Dr. Muhammad Ivan,S.Si.T.,M.S.i.,M.Mar.E sebagai dosen penguji 3 dan 4 yang banyak memberikan kritikan dan saran selama proses penyusunan skripsi.
6. Semua dosen di PIP Makassar yang telah memberikan pengetahuan yang sangat membantu saya dalam menyusun skripsi ini.
7. *Master, Chief Engineer, Engineer*, dan seluruh kru kapal MV. Arimbi Baruna yang sangat membantu, terutama dalam proses pengumpulan data.
8. Setiap individu yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini, yang namanya tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Selain itu, penulis juga berterima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu dalam penyelesaian karya ini.

Akhir kata, Penulis memohon maaf atas segala kekurangan dalam skripsi ini. Semoga karya ini dapat diterima oleh pembaca dan bermanfaat sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut.

Makassar, 12 September 2025



RICKY KHARISMANTO

NIT 21.42.041

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya : RICKY KHARISMANTO
Nomor Induk Taruna : 21.42.041
Program Studi : TEKNIKA
Yang Berjudul :

ANALISIS TIDAK OPTIMALNYA KINERJA KETEL UAP DI KAPAL MV. ARIMBI BARUNA

Merupakan hasil karya saya sendiri. Seluruh gagasan dalam skripsi ini berasal dari pemikiran saya, kecuali pada bagian yang secara jelas dikutip dari sumber lain. Jika di kemudian hari pernyataan ini terbukti tidak benar, saya siap menerima sanksi dari Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Makassar, 12 September 2025



RICKY KHARISMANTO
NIT 21.42.041

ABSTRAK

Ricky Kharismanto melakukan penelitian mengenai pengaruh kandungan garam pada air ketel terhadap kinerja dan tingkat korosi pada sistem pipa ketel uap di kapal MV. Arimbi Baruna (Dibimbing oleh Bapak Agus Salim dan Ibu Gradina Nur Fauziah).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak kandungan garam dalam air ketel terhadap tingkat korosi serta kinerja ketel uap dalam menghasilkan uap. Analisis ini dilakukan untuk memahami sejauh mana kandungan garam berkontribusi terhadap kerusakan pada sistem pipa ketel uap serta dampaknya terhadap efisiensi operasional ketel uap.

Penelitian ini dilakukan pada saat penulis melaksanakan praktek laut di kapal MV. Arimbi Baruna, dengan fokus utama pada pengumpulan data melalui penyelidikan teknis, dokumentasi kondisi operasional ketel uap, wawancara dengan awak kapal, serta observasi langsung terhadap gejala kerusakan. Data yang diperoleh digunakan untuk mengidentifikasi penyebab, menganalisis dampak kandungan garam pada air ketel, serta menjabarkan solusi untuk mencegah korosi dan menjaga efisiensi sistem ketel uap.

Berdasarkan data yang diperoleh, hasil investigasi menunjukkan bahwa tingginya kandungan garam dalam air ketel menyebabkan terbentuknya kerak dan korosi pada permukaan pipa, sehingga menurunkan efisiensi kerja ketel uap. Jika kondisi ini tidak dikendalikan, akan berdampak pada gangguan sistem pembangkitan uap dan meningkatkan risiko kerusakan komponen secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengelolaan kualitas air ketel melalui pemantauan, perawatan, dan pengendalian garam sangat diperlukan guna menjaga kinerja sistem ketel uap tetap optimal.

Kata Kunci : Kandungan garam, kinerja ketel uap, korosi, sistem pipa ketel uap.

ABSTRACT

Ricky Kharismanto conducted research on the effect of salt content in boiler water on the performance and corrosion levels of the steam boiler piping system (under the supervision of Mr. Agus Salim and Ms. Gradina Nur Fauziah).

This study aims to analyze the impact of salt content in boiler water on corrosion levels and boiler performance in generating steam. The analysis was carried out to understand the extent to which salt content contributes to damage in the steam boiler piping system and its effects on the operational efficiency of the boiler.

This research was conducted when the author was carrying out sea practice on the MV. Arimbi Baruna, with the main focus on collecting data through technical investigations, documentation of boiler operational conditions, interviews with the crew, and direct observation of damage symptoms. The data obtained were used to identify the causes, analyze the impact of salt content on boiler water, and describe solutions to prevent corrosion and maintain the efficiency of the boiler systems.

Based on the data obtained, the results of the investigation showed that the high salt content in the boiler water caused the formation of scale and corrosion on the pipe surface, thereby reducing the boiler's working efficiency. If this condition is not controlled, it will have an impact on the disruption of the steam generation system and increase the risk of damage to the components as a whole. Therefore, boiler water quality management through monitoring, maintenance, and salt control is very necessary to maintain optimal boiler system performance.

Keywords : Salt content, boiler performance, corrosion, steam boiler piping system.

DAFTAR ISI

	Hal
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR DIAGRAM	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	3
BAB II	5
A. Definisi dan Fungsi Ketel Uap	5
B. Komponen-Komponen Ketel Uap	7
C. Jenis-Jenis Ketel Uap	20
D. Prinsip Kerja Ketel Uap	22
E. Sifat Kimia Air Ketel Uap	23
F. Jenis-Jenis Air Ketel Uap	25

G. Apendasi Ketel Uap	27
H. Hubungan <i>Fresh Water Generator</i> dan Ketel Uap	28
I. Definisi dan Jenis-Jenis Korosi	29
J. Regulasi SOLAS Tentang Ketel Uap di Atas Kapal	32
K. Kerangka Pikir	35
L. Hipotesis	36
BAB III	35
A. Jenis Penelitian	35
B. Definisi Operasional Variabel	35
C. Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian	36
D. Teknik Analisis Data	37
E. Jadwal Penelitian	38
BAB IV	40
A. Hasil Penelitian	40
B. Pembahasan	64
BAB V	74
A. Simpulan	74
B. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2. 1 Komponen Ketel Uap	12
Gambar 2. 2 <i>Economizer</i>	14
Gambar 2. 3 <i>Forced Draft Fan (FDF)</i>	15
Gambar 2. 4 <i>Cascade Tank</i>	16
Gambar 2. 5 Condensor	17
Gambar 2. 6 <i>Safety Valve</i>	18
Gambar 2. 7 <i>Water Gauge</i>	19
Gambar 2. 8 <i>Feed Water Pump</i>	20
Gambar 4. 1 pH Setelah Fluktuasi	52
Gambar 4. 2 pH Setelah Perbaikan	54
Gambar 4. 3 <i>Feed Water Check Valve</i> Terdapat Kristal Garam	57
Gambar 4. 4 Kebocoran Pada Pipa Ketel Uap	58
Gambar 4. 5 Kebocoran <i>Steam</i> Pada Gelas Duga	59

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2. 1 Keterangan Komponen Ketel Uap	13
Tabel 4. 1 Spesifikasi Ketel Uap	44
Tabel 4. 2 Jenis dan Batas Tekanan Ketel Uap	49
Tabel 4. 3 Tekanan Uap Setelah pergantian <i>Feed Water check Valve</i>	50
Tabel 4. 4 Nilai Parameter Tes Air Ketel	51
Tabel 4. 5 Nilai Paramater Air Ketel Setelah Fluktuasi	53

DAFTAR DIAGRAM

	Hal
Diagram 4. 1 Flowchart Aliran Air Menuju Ketel	63

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
LAMPIRAN A	79
LAMPIRAN B	96

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ketel uap (*boiler*) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem permesinan kapal yang berfungsi untuk menghasilkan uap (*steam*) guna memanaskan bahan bakar, oli pelumas, dsb. Untuk menunjang kinerja ketel uap agar beroperasi dengan optimal, kualitas air yang dipergunakan harus sesuai standarisasi dan verifikasi buku panduan (*manual book*). Air merupakan zat unik yang memiliki karakteristik untuk melarutkan berbagai zat, di antaranya garam anorganik yang berkontribusi terhadap tingkat kesadahan air. Kesadahan atau *hardness* adalah salah satu sifat kimia yang dimiliki oleh air. Kesadahan air terjadi karena adanya ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , atau dapat juga disebabkan adanya ion-ion lain dari *polyvalent metal* (logam bervalensi banyak), seperti Al, Fe, Mn, Sr, dan Zn dalam bentuk garam sulfat (Tamjidillah and Ramadhan 2023, 16). Satu diantara faktor penghambat kinerja ketel uap adalah kandungan garam pada air ketel.

Kinerja ketel uap sangat bergantung pada kualitas air yang digunakan dalam sistem pipa ketel uap. Ketel uap di kapal MV. Arimbi Baruna mengalami masalah yang berkaitan dengan kualitas air ketel, terutama kandungan garam terlarut yang terdapat pada air ketel. Hal ini menyebabkan korosi dan pembentukan pada pipa ketel uap dan komponen-komponen ketel uap lainnya. Pipa ketel uap di kapal MV. Arimbi Baruna mengalami kebocoran diakibatkan korosi yang terjadi secara bertahap serta laju aliran air yang masuk tidak sesuai prosedur setelah proses pergantian *valve*. Oleh karena itu, pengawasan dan pengelolaan kualitas air ketel serta pengawasan laju aliran yang masuk

sangat penting untuk menjaga kinerja ketel uap agar tetap bekerja secara optimal dalam menghasilkan uap yang dibutuhkan di kapal.

pengelolaan kualitas air ketel merupakan tantangan tersendiri bagi para *engineer* di atas kapal dikarenakan keterbatasan sumber air tawar dan instrumen pengukur kadar air. Maka dari itu, diperlukan kajian rinci mengenai pengaruh kandungan air ketel terhadap kinerja dan kerusakan yang diakibatkan korosi pada pipa ketel uap. Dengan mengetahui korelasi antara kadar garam terhadap sistem pipa ketel uap, langkah-langkah pencegahan yang tepat dapat diterapkan, seperti pengawasan dan pengolahan kualitas air, terutama dalam menghadapi keterbatasan sumber air tawar dan instrumen pengukur kadar air.

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan di atas, penulis merumuskan permasalahan dalam bentuk skripsi atau karya ilmiah, yang dilandaskan pada pengalaman selama melaksanakan praktik di kapal serta pengetahuan yang diperoleh di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar. Oleh karena itu, penulis mengangkat judul “ANALISIS TIDAK OPTIMALNYA KINERJA KETEL UAP DI KAPAL MV. ARIMBI BARUNA”.

B. Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang yang telah diuraikan, langkah awal untuk penyusunan skripsi adalah dengan menentukan pokok masalah agar pembahasan selanjutnya akan lebih terarah. Penentuan pokok masalah ini juga menjadi dasar untuk merumuskan kerangka pikir. Adapun rumusan masalahnya sebagai berikut ;

1. Apa faktor-faktor yang dapat menyebabkan korosi pada sistem pipa ketel uap ?
2. Apa dampak korosi pada pipa ketel uap terhadap kinerja ketel uap ?
3. Apa solusi untuk mencegah korosi pada sistem pipa ketel uap ?

C. Batasan Masalah

Penulis membatasi subjek penelitian agar tidak terlalu luas. Penelitian dilakukan saat penulis melaksanakan praktek di atas kapal MV. Arimbi Baruna, dengan fokus pada pengaruh kandungan garam terhadap korosi pada pipa ketel uap terhadap kinerja ketel uap, mengingat keterbatasan sumber air tawar dan instrumen pengukur kadar air.

D. Tujuan Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah sebagai acuan dalam mengatasi masalah yang terjadi terhadap pipa ketel uap. tujuan yang ingin diperoleh dalam penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui faktor-faktor yang dapat menyebabkan korosi pada sistem pipa ketel uap.
2. Untuk mengetahui dampak korosi pada pipa ketel uap terhadap kinerja ketel uap.
3. Untuk mengetahui solusi bagaimana cara mencegah korosi pada sistem pipa ketel uap.

E. Manfaat Penelitian

Peneliti berharap dalam penelitian ini akan bermanfaat bagi peneliti sendiri dan orang lain.

1. Manfaat secara teoritis
 - a. Memberikan wawasan dan pengetahuan mengenai hubungan antara kandungan garam terhadap korosi pada pipa ketel uap.
 - b. Memberikan pandangan bagaimana keterbatasan instrumen pengukur kadar air dapat meningkatkan tingkat garam pada air ketel.

- c. Menambah referensi ilmiah terkait mekanisme korosi yang terjadi pada pipa ketel uap diakibatkan tingginya kadar garam dalam air ketel.

2. Manfaat praktis

a. Bagi Taruna Taruni Pelayaran Jurusan Teknik

Bagi taruna/i jurusan teknik, hasil analisis ini bisa dimanfaatkan sebagai referensi yang berkaitan dengan analisis kandungan garam dalam air ketel terhadap korosi yang terjadi pada pipa ketel uap.

b. Bagi Perusahaan Pelayaran

Bagi perusahaan pelayaran, hasil analisis ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk pemeliharaan ketel uap khususnya dalam pengelolaan kualitas air dengan memastikan kebutuhan instrumen pengukur kadar air dan suku cadang yang dibutuhkan di kapal.

c. Bagi PIP Makassar

Bagi PIP Makassar, penulisan skripsi ini dapat menjadi fokus kajian agar pemahaman terhadap pemeliharaan ketel uap terutama dampak kandungan garam pada air ketel terhadap pipa ketel uap semakin baik dan bisa dijadikan bekal ilmu pengetahuan tambahan bagi calon perwira di atas kapal, serta menambah perbendaharaan karya ilmiah di Perpustakaan PIP Makassar. Dengan adanya penelitian ini, institusi juga dapat memperkuat perannya dalam menghasilkan lulusan yang siap menghadapi permasalahan teknis di atas kapal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi dan Fungsi Ketel Uap

1. Definisi Ketel Uap

Boiler atau ketel uap merupakan satu diantara permesinan yang ada di atas kapal. Ketel uap sendiri dapat dikategorikan sebagai mesin utama atau mesin bantu tergantung dari kegunaannya. Ketel uap sebagai permesinan utama adalah suatu mesin yang menghasilkan uap (*steam*) untuk menggerakkan turbin uap atau tenaga penggerak utama dalam sistem propulsi kapal, khususnya kapal yang masih menggunakan tenaga turbin uap sebagai tenaga penggerak utama. Sedangkan ketel uap sebagai permesinan bantu adalah suatu mesin yang menghasilkan uap (*steam*) untuk memanaskan bahan bakar, oli pelumas, dsb. Berikut beberapa pendapat definisi ketel uap dari berbagai sumber.

ketel uap merupakan pesawat yang disusun untuk mengubah air menjadi uap dengan cara pemanasan. Panas yang diperlukan untuk pembentukan uap di dapat dari pembakaran. Oleh karena itu, uap dilengkapi tempat pembakaran atau dapur nyala api. Konstruksi dapur nyala api ini bergantung kepada bahan yang dipakai yang ditempatkan secara tepat sehingga peredaran air ketel berfungsi dengan baik (Soedjono and Hartanto 2021, 11).

Ketel uap ialah bejana untuk membentuk uap dengan cara memasukkan air dan panas ke dalam bejana tersebut sehingga mengubah air menjadi uap. Panas yang dibutuhkan air untuk

penguapan tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang ketel uap (Narto et al. 2024, 7).

Ketel uap merupakan suatu pesawat yang dibuat untuk mengubah air di dalamnya, sebagian menjadi uap dengan jalan pemanasan menggunakan pembakaran dari bahan bakar. Untuk ketel uap sendiri merupakan bejana yang tertutup dan tidak berhubungan dengan udara dari luar selama pemanasannya, maka air akan mendidih (Dewantoro and Harnawati 2023, 52).

Sebuah ketel uap biasanya berbentuk bejana tekan tertutup dari baja, yang berisi fluida air yang dipanasi langsung oleh energi kalor dari proses pembakaran, atau dengan elemen listrik atau energi nuklir. Air pada *boiler* akan menyerap kalor sehingga temperaturnya naik sampai temperatur didih, sehingga terjadi penguapan (Santoso 2023, 148).

2. Fungsi Ketel Uap

Ketel uap merupakan pesawat bantu yang ada di kapal. Fungsi ketel uap adalah sebuah bejana tertutup, yang dapat membentuk uap dengan tekanan lebih dari 1 atmosfer, yaitu dengan jalan memanaskan air ketel yang ada di dalamnya dengan gas-gas *steam* dari hasil pembakaran (Santiko 2024, 107).

Ketel uap merupakan instalasi yang berfungsi untuk mengubah air tawar menjadi uap yang mempunyai tekanan lebih dari 1 bar. Biasanya digunakan untuk kebutuhan menjalankan mesin atau turbin uap, media pemanas berbagai zat atau ruangan akomodasi di waktu musim dingin atau daerah-daerah dingin (Suharso 2020, 5).

Boiler atau ketel uap adalah suatu bejana/wadah yang di dalamnya berisi air atau fluida lain untuk dipanaskan. Energi panas

dari fluida tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, ketel uap memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja (Santiko and Saifudin 2022, 6).

Mengacu pada pernyataan dari sumber di atas, ketel uap memiliki fungsi untuk menghasilkan uap atau energi panas dengan tekanan melebihi dari 1 bar. Uap tersebut dihasilkan dari proses pemanasan air tawar yang terjadi di dalam bejana tertutup. Selanjutnya uap tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam kebutuhan, seperti untuk menjalankan turbin uap, media pemanas berbagai zat atau ruangan di waktu musim dingin atau daerah-daerah dingin.

B. Komponen-Komponen Ketel Uap

Komponen ketel uap terdiri dari komponen utama dan pendukung. Komponen utama merupakan bagian yang berada di dalam ketel uap dan berperan langsung dalam proses pembakaran untuk menghasilkan *steam* (uap). Komponen utama ketel uap meliputi *steam drum*, *water drum*, *economizer*, *burner*, *forced draft fan*, dan *water wall tube*. Sementara itu, komponen pendukung adalah bagian yang terletak di luar ketel uap dan berfungsi untuk mendukung kinerja ketel uap secara keseluruhan. Komponen pendukung ketel uap yaitu *cascade tank*, kondensor, *safety valve*, *water gauge*, dan *feed water pump*. Selain komponen tersebut ada juga beberapa komponen tambahan yang dipasang untuk menunjang kinerja ketel uap Berikut penjelasan dari masing-masing komponen ketel uap :

1. *Steam Drum*

Steam drum adalah tangki besar yang berfungsi sebagai tempat penampungan air dan uap dalam ketel uap. *Steam drum* berperan sebagai penyimpanan sementara air dan uap, dimana air yang telah dipanaskan dan menghasilkan uap akan dipisahkan secara alami dalam *steam drum* sebelum uap dikirim ke turbin untuk menghasilkan energi (Narto et al. 2024, 9). *Steam drum* atau tong uap berfungsi sebagai tempat penampungan air panas serta terbentuknya uap. Tong ini menampung uap jenuh (*saturated steam*) beserta air dengan perbandingan antara 50% air dan 50% uap. Untuk menghindari agar air tidak terbawa oleh uap, maka dipasang sekat-sekat, air yang memiliki suhu rendah akan turun ke bawah dan air yang bersuhu tinggi akan naik ke atas dan kemudian menguap (Zambak and Putra 2022, 25). Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *steam drum* ditandai dengan angka 1.

2. *Water Drum*

Water drum adalah satu diantara komponen dalam *boiler* tipe *multi drum* yang berfungsi sebagai tempat penampungan air sebelum dipanaskan untuk menghasilkan uap. Air umpan yang telah dipompa dari *cascade tank* melalui *feed water pump* menuju ketel uap akan masuk ke dalam *water drum*. Selanjutnya, air tersebut dipanaskan di dalam ketel uap hingga berubah menjadi uap (*steam*). Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *water drum* ditandai dengan angka 2.

3. *Manhole*

Manhole adalah lubang berbentuk oval atau bulat yang terdapat pada dinding ketel uap. Fungsinya sebagai akses masuk

bagi awak kapal atau teknisi ketika melakukan pemeriksaan, perawatan, maupun pembersihan bagian dalam ketel. Ukurannya dibuat cukup besar agar orang dapat masuk dengan aman. Selain itu, *manhole* dilengkapi penutup yang mampu menahan tekanan operasi ketel sehingga aman digunakan. Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *manhole* ditandai dengan angka 3 dan 11.

4. *Water Tube*

Water wall tube atau *water tube* adalah pipa-pipa yang dipasang di dinding pembakaran dalam ketel uap, dimana air umpan mengalir melalui pipa-pipa ini untuk dipanaskan oleh gas pembakaran. *Water wall tube* berperan sebagai bagian dari permukaan pemanas dalam ketel uap, dimana panas dari gas pembakaran diserap oleh air umpan yang mengalir melalui pipa-pipa ini, sehingga menghasilkan uap yang diperlukan untuk proses energi (Narto et al. 2024, 9). *Tube* atau pipa-pipa ini memiliki desain material dan bentuk khusus yang harus tahan terhadap perbedaan temperatur ekstrim antara ruang bakar dengan air/uap air yang mengalir di dalamnya. Selain itu material pipa haruslah bersifat konduktor panas yang baik. Sehingga perpindahan panas (*heat transfer*) dari proses pembakaran ke air/uap air bisa efektif (sarifuddin 2024, 50). Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *water tube* ditandai dengan angka 4.

5. *Refractory*

Refractory adalah material tahan panas yang dipasang pada dinding ruang bakar (*furnace*) ketel. Material ini berfungsi menahan panas, melindungi dinding ketel dari kerusakan akibat suhu tinggi,

serta memantulkan panas kembali ke ruang bakar agar proses pembakaran lebih efisien. *Refractory* biasanya terbuat dari batu tahan api (*firebrick*) atau bahan keramik khusus. Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *refractory* ditandai dengan angka 5.

6. *Funnel*

Funnel atau cerobong asap adalah saluran yang digunakan untuk membuang gas sisa pembakaran ke atmosfer. Selain sebagai jalur pembuangan, *funnel* juga berfungsi menciptakan tarikan alami (*natural draft*) yang membantu kelancaran aliran udara dan gas dalam ketel. Desain *funnel* harus memperhatikan arah angin dan tinggi tertentu agar tidak mengganggu area geladak kapal. Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *funnel* ditandai dengan angka 6.

7. *Insulation*

Insulation atau lapisan isolasi adalah material pelapis luar dinding ketel yang berfungsi menahan panas agar tidak terbang ke lingkungan. Dengan adanya isolasi, panas di dalam ketel dapat dipertahankan, sehingga efisiensi termal meningkat dan konsumsi bahan bakar menjadi lebih hemat. Material isolasi berupa *glass wool*, *rock wool*, atau bahan serat tahan panas lainnya. Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *insulation* ditandai dengan angka 7.

8. *Soot Blower*

Soot blower adalah perangkat pembersih jelaga yang menempel pada permukaan panas, khususnya pada *water tube*. Jelaga yang menempel dapat menghambat perpindahan panas dan

menurunkan efisiensi ketel uap. Dengan adanya *soot blower*, pembersihan dapat dilakukan tanpa menghentikan operasi ketel uap, sehingga efisiensi kerja dan kontinuitas operasi tetap terjaga. Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *soot blower* ditandai dengan angka 8.

9. *Burner*

Burner adalah komponen dari *boiler* yang berfungsi mengkabutkan bahan bakar minyak yang dibantu oleh tekanan udara yang diberikan oleh *blower* dan didukung oleh elektroda supaya terjadi pembakaran di ruang bakar. *Burner* sendiri sangatlah penting pada *boiler* dikarenakan jika *burner* itu sendiri tidak bisa mengkabutkan bahan bakar maka ketel uap tidak akan bekerja dengan maksimal. Sistem kerja *burner* sendiri ialah mengkabutkan bahan bakar yang dibantu dengan *nozzle* dan elektroda yang disemprotkan ke ruang bakar agar terjadi pembakaran (Santiko and Saifudin 2022, 8). Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *burner* ditandai dengan angka 9.

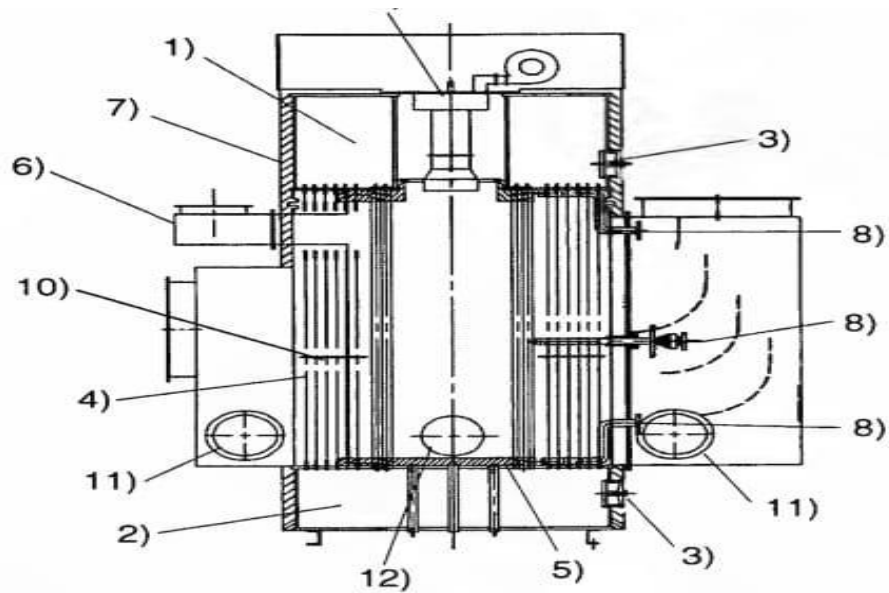
10. *Fixed Plate*

Fixed plate adalah pelat yang berfungsi sebagai penguat dan penahan konstruksi bagian tertentu dari ketel uap. Komponen ini dirancang untuk menjaga kestabilan struktur, menahan tekanan, serta mencegah deformasi akibat gaya internal maupun eksternal selama ketel uap beroperasi. Keberadaan *fixed plate* juga membantu menjaga ketahanan konstruksi ketel terhadap getaran yang terjadi selama operasi. Selain itu, komponen ini berperan penting dalam memperpanjang umur pakai ketel. Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *fixed plate* ditandai dengan angka 10.

11. Handhole

Handhole merupakan lubang akses yang lebih kecil dibandingkan *manhole*. *Handhole* digunakan sebagai jalur inspeksi atau pembersihan yang tidak membutuhkan akses personel masuk ke dalam ketel uap. Melalui *handhole*, para kru kapal maupun inspektor dari darat dapat melakukan pengecekan kondisi pipa atau membersihkan kerak yang terbentuk pada bagian dalam ketel uap. Keberadaan *handhole* sangat penting karena memudahkan perawatan rutin tanpa harus melakukan pembongkaran besar pada ketel. Posisi *handhole* biasanya ditempatkan di sisi atau bagian bawah ketel agar area yang sulit dijangkau tetap bisa diperiksa. Berikut gambar di bawah yang menunjukkan *handhole* ditandai dengan angka 12.

Gambar 2. 1 Komponen Ketel Uap



Sumber : *Instruction Book Marine Auxiliary Engine Boiler GK Series : 2007*

Tabel 2. 1 Keterangan Komponen Ketel Uap

1	<i>Steam Drum</i>	4	<i>Water Tube</i>	7	<i>Insulation</i>	10	<i>Fixed Plate</i>
2	<i>Water Drum</i>	5	<i>Refractory</i>	8	<i>Soot Blower</i>	11	<i>Manhole</i>
3	<i>Manhole</i>	6	<i>Funnel (Burner)</i>	9	<i>Burner</i>	12	<i>Handhole</i>

* Handhole digunakan untuk akses tangan, manhole untuk akses personel

Sumber : *Instruction Book Marine Auxiliary Boiler GK Series : 2007*

12. Economizer

Economizer adalah sebuah perangkat tambahan yang ditujukan untuk membantu kerja ketel uap agar lebih efisien dalam memanfaatkan energi panas, pemanasan air pada *economizer* cukup hanya dengan memanfaatkan gas buang dari hasil pembakaran di dalam ketel uap, sehingga penggunaan *economizer* tidak membutuhkan bahan bakar tambahan untuk memanaskan di dalamnya (Muchlishiin and Erivianto 2023, 2228).

Fungsi *economizer* pada ketel uap yaitu untuk memanaskan air pengisi ketel uap dengan memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran di dalam ketel uap. Gas sisa pembakaran bahan bakar di dalam ketel uap masih mempunyai temperatur yang cukup tinggi. Dengan melewati gas sisa pembakaran melalui pipa-pipa *economizer* maka akan terjadi transfer panas yang akan diserap oleh pipa-pipa *economizer* dan panas tersebut diteruskan ke dalam air pengisi ketel uap yang terdapat di dalam pipa-pipa *economizer* (Sarifuddin 2024 :52-53).

Di *economizer* temperatur air pengisi ketel uap pada sisi keluar/*outlet economizer* akan lebih tinggi daripada temperatur air masuk pada sisi masuk/*inlet economizer*. Hal ini terjadi karena temperatur antara air pengisi ketel uap yang terdapat dalam pipa-pipa *economizer* lebih rendah dari temperatur gas buang ketel uap yang berada di bagian luar pipa-pipa *economizer*, sehingga akan terjadi perpindahan panas dari gas buang pembakaran ke air pengisi ketel uap. Temperatur gas buang ketel uap akan turun setelah melewati *economizer* dan sebaliknya temperatur air pengisi ketel uap drum akan meningkat setelah melewati *economizer* (Sarifuudin 2024, 54). Berikut adalah gambar yang menunjukkan *economizer*

Gambar 2. 2 *Economizer*



Sumber : MV. Arimbi Baruna : 2024

13. Forced Draft Fan

Forced Draft Fan (FDF) merupakan alat yang digunakan untuk menyuplai atau memaksa udara luar masuk ke dalam ruang bakar. FDF ini digerakkan oleh motor listrik dan terletak pada ujung saluran *air intake boiler*. *Fan* ini bekerja pada tekanan tinggi untuk menghasilkan udara sekunder yang dialirkan ke dalam ketel uap. Udara ini kemudian dicampur dengan bahan bakar dan digunakan sebagai udara pembakaran di *furnace boiler*, udara yang dihasilkan oleh FDF diambil dari udara luar (Fitri and Wardoyo 2024, 125). Selain itu, terdapat juga *primary air fan* yang berfungsi untuk *supply* udara bertekanan yang akan digunakan untuk membawa bahan bakar menuju ke ketel uap (sarifuddin 2024, 51).

Gambar 2. 3 Forced Draft Fan (FDF)



Sumber : MV. Arimbi Baruna : 2024

14. Cascade Tank

Cascade tank adalah tangki yang berfungsi untuk menampung air kondensat hasil kondensasi uap yang telah

digunakan, kondensasi terjadi di dalam *Atmospheric condenser* dimana uap hasil dari ketel uap yang telah digunakan kemudian mengalir masuk ke dalam *atmospheric condenser* dan energi panas yang ada pada uap diserap melalui *tube* yang di dalamnya mengalir air laut sehingga suhu uap akan menurun secara drastis dan berubah wujud menjadi air kondensat kemudian mengalir masuk ke dalam *cascade tank*. Air yang ada di dalam *cascade tank* digunakan untuk mengisi *water drum* dari ketel uap yang kemudian dipanaskan dan menghasilkan uap yang digunakan untuk operasional di atas kapal (Setyadi 2022, 13).

Gambar 2. 4 Cascade Tank



Sumber : <https://chiefengineerlog.com/tag/cascade-tank/?amp=1>

15. Kondensor

Kondensor adalah komponen yang berfungsi untuk mengubah uap panas menjadi air dengan menghilangkan panasnya melalui pendinginan. Kondensor membantu meningkatkan efisiensi *termal* sistem ketel uap dengan

mengembalikan uap yang sudah mengalami ekspansi dalam turbin menjadi air, sehingga dapat digunakan kembali dalam siklus proses (Narto et al. 2024, 8). Di kapal, energi panas yang dihasilkan oleh mesin atau sistem lainnya sering kali menyebabkan air atau fluida lain berubah menjadi uap. Agar dapat digunakan kembali, uap ini perlu didinginkan dan dikondensasikan kembali menjadi cairan. Kondensor berfungsi untuk menurunkan suhu uap hingga mencapai titik kondensasi, sehingga uap berubah menjadi cairan yang dapat digunakan kembali dalam sistem (sarifuddin 2025, 25).

Gambar 2. 5 Condensor



Sumber : MV. Arimbi Baruna : 2024

16. Safety Valve

Katup pengaman (*safety Valve*) adalah alat untuk mencegah ketel meledak saat tekanan ketel melebihi tekanan yang ditentukan. Katup pengaman bekerja untuk membuang

tekanan lebih tersebut. Alat ini minimal 2 (dua) buah (Narto et al. 2024, 11). Menurut sumber lain, katup keamanan (*safety valve*) merupakan katup untuk memelihara keamanan ketel dengan cara melepaskan uap secara otomatis jika tekanan uap dalam ketel melampaui nilai yang ditentukan (Santiko 2024, 111). *Safety valve* sendiri merupakan komponen penting pada ketel uap yang berfungsi untuk melindungi ketel dari tekanan berlebih. Ketika tekanan uap dalam ketel melebihi batas aman yang telah ditentukan, *safety valve* secara otomatis akan membuka untuk melepaskan uap dan mengurangi tekanan (Sarifuddin 2024, 66).

Gambar 2. 6 Safety Valve



Sumber : MV. Arimbi Baruna : 2024

17. Water Gauge

Water gauge atau gelas duga merupakan alat untuk menunjukkan tinggi permukaan air dalam ketel. Ada berbagai jenis. Jika permukaan air dalam ketel terlalu rendah, permukaan pemanas akan terlalu panas sehingga berbahaya. Sebaliknya, jika terlalu tinggi, uap akan tercampur tetes-tetes air sehingga

mengganggu jalannya mesin, Karena itu, permukaan air harus dijaga berada pada tinggi yang normal (Santiko 2024, 111). Alat ini harus dilakukan inspeksi dan pemeriksaan secara rutin guna memastikan tidak ada kerusakan yang dapat menyebabkan pembacaan tinggi permukaan air ketel tidak akurat. Menurut sumber lain *water gauge* atau *sight glass* atau gelas duga merupakan perangkat visual yang digunakan untuk memantau level air di dalam ketel. Ini adalah tabung kaca transparan yang memungkinkan operator melihat ketinggian air secara langsung (Sarifuddin 2024, 67).

Gambar 2. 7 Water Gauge



Sumber : MV. Arimbi Baruna : 2024

18. Feed Water Pump

Feed water pump atau pompa air umpan bekerja secara otomatis. Apabila air dalam tangki ataupun ketel telah mencapai batas minimal, secara otomatis pompa ini akan mengisi ketel sehingga air dalam ketel tetap terisi sesuai batas yang dikehendaki. Pompa ini minimal harus ada 2 buah (Narto et al.

2024, 12). *Feed water pump* di kapal umumnya menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama. Keadaan pompa ini sangat berperan penting terhadap kestabilan operasi ketel uap serta keselamatan sistem secara keseluruhan. Menurut sumber lain, pompa air umpan ini digunakan untuk mengalirkan air dari tangki penyimpanan ke ketel uap. Pompa ini harus selalu dipastikan mampu mengatasi tekanan ketel uap dan aliran air yang stabil (Sarifuddin 2024, 56).

Gambar 2. 8 Feed Water Pump



Sumber : MV. Arimbi Baruna : 2024

C. Jenis-Jenis Ketel Uap

Jenis-jenis ketel uap dapat dibeda-bedakan menurut konstruksi, fungsi, dan menurut undang-undang. Setiap jenis ketel uap memiliki ciri khas masing-masing.

1. Menurut konstruksinya, ketel uap terdiri atas beberapa macam.
 - a. Ketel pipa air. Pada ketel ini air ada di dalam pipa-pipanya, sedangkan gas pemanasnya ada di luar pipa, contohnya

adalah ketel B&W, ketel Foster Wheeler, dan ketel Yarrow.

- b. Ketel pipa api. Pada ketel ini, air ada di luar pipa, sedangkan gas panasnya mengalir di dalam pipa-pipanya, contohnya ketel Schots, ketel Cochran, ketel Clarkson.
- c. Ketel gabungan pipa api dan pipa air merupakan perkembangan dari ketel Schots. Contohnya : ketel Werkspoor, ketel Howden-Johnson, ketel Proudhon Capus.
- d. Ketel *Thermal Oil Heater* adalah ketel yang *oil*-nya ada di dalam pipa dan gas pemanas di luar pipa. Contohnya : ketel yang sekarang berkembang di atas kapal.

2. Menurut fungsinya, ketel uap terbagi menjadi :

- a. Ketel induk ialah ketel yang menghasilkan uap untuk menggerakkan mesin induk ;
- b. Ketel bantu ialah ketel yang menghasilkan uap untuk keperluan pesawat bantu, misalnya pompa pemanas.

3. Menurut undang-undang, ketel uap terdiri atas :

- a. Ketel tetap ; ialah sebuah perangkat yang dirancang untuk menghasilkan uap panas atau uap jenuh di dalam suatu wadah tertutup dengan memanaskan air atau bahan cair lainnya. Fungsi utama ketel uap adalah menghasilkan uap yang digunakan dalam berbagai proses industri, termasuk pembangkit listrik, pemanas, dan proses produksi lainnya.
- b. Ketel kapal ; ialah sebuah jenis ketel uap yang dirancang khusus untuk digunakan di kapal laut. Fungsi utama dari ketel kapal adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk berbagai keperluan di kapal, seperti propulsi (menggerakkan mesin penggerak utama), pemanas untuk proses industri di

kapal, dan penyediaan air panas bagi kebutuhan harian awak kapal. Ketel kapal biasanya dirancang dengan memperhatikan keterbatasan ruang dan berbagai faktor lingkungan di laut, sehingga mereka harus memenuhi standar keselamatan yang ketat untuk operasi di lingkungan maritim.

- c. Ketel bergerak atau sering disebut juga sebagai ketel mobil atau *boiler locomotive*, adalah jenis ketel uap yang digunakan dalam lokomotif atau kereta api untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai tenaga penggerak. Fungsi utama dari ketel bergerak adalah mengubah air menjadi uap yang memiliki tekanan tinggi dan suhu yang cukup tinggi untuk menggerakkan mesin uap pada lokomotif, sehingga dapat menggerakkan kereta api secara efisien. Ketel bergerak umumnya memiliki desain yang kompak dan dapat dipindahkan, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi transportasi seperti kereta api (Narto et al. 2024, 16–17).

D. Prinsip Kerja Ketel Uap

Pada umumnya prinsip kerja ketel uap cukup sederhana dan sama seperti pada saat kita sedang mendidihkan air menggunakan panci. Proses pendidihan air ini akan selalu diiringi proses perpindahan panas serta melibatkan bahan bakar, udara, material wadah air, serta air itu sendiri. Dalam tahapannya terbagi lagi menjadi tiga jenis perpindahan panas yang sudah sangat familiar dengan kita yakni konduksi, konveksi, dan radiasi.

Proses pertama adalah konduksi, dimana ini terjadi saat ketel uap mendapatkan energi panas untuk mengubah air menjadi uap dari penghantar panas. Lalu dilanjutkan dengan distribusi antar molekul air dalam aliran yang terjadi secara konveksi. Perpindahan panas

konvektif antar molekul air, seolah-olah menciptakan aliran fluida yang terpisah dari aliran air di pipa-pipa ketel uap. Selanjutnya, bahan bakar gas yang mengandung energi panas terus mengalir ke sisi knalpot mengikuti bentuk ketel uap. Panas yang terkandung dalam gas buang diserap oleh permukaan tabung ketel dan dipindahkan ke air di dalam tabung. Air secara bertahap mengubah fase menjadi uap basah (jenuh) dan selanjutnya dapat bertransisi menjadi uap kering (super panas) (Fadhilla 2024).

E. Sifat Kimia Air Ketel Uap

Air memiliki peran krusial dalam menghasilkan uap (*steam*) di kapal. Kualitas air yang digunakan mesti sesuai dengan standar yang sudah ditentukan guna mencegah masalah yang mungkin terjadi seperti korosi, , atau *carry over* (terbawanya air bersama uap). Oleh karena itu, mengetahui sifat kimia air ketel uap sangat penting untuk menjaga efisiensi dan umur panjang ketel uap. Berikut sifat kimia utama air ketel uap.

1. pH (Derajat Keasaman)

pH merupakan faktor penting yang harus dikontrol sesuai batas kontrol yang ditentukan agar program *treatment* dapat bekerja dengan baik. Jika pH turun maka air akan bersifat asam dan korosif, sebaliknya pH naik maka air akan bersifat basa dan potensi semakin besar (Husnawati, Bhernama, and Tarmizi 2022, 64).

2. Total Dissolved Solid (TDS)

Total dissolved solid (TDS) merupakan jumlah keseluruhan zat yang larut dalam air. Kandungan padatan atau garam terlarut dari air yang ada karena ion meningkatkan konduktivitas potensi

korosi. Nilai total padatan terlarut yang lebih tinggi akan mengurangi laju perpindahan panas, meningkatkan endapan dan akan meningkatkan kehilangan panas (Husnawati, Bhernama, and Tarmizi 2022, 64). Oleh karena itu, pengendalian *Total Dissolved Solids* (TDS) pada air ketel penting untuk menjaga efisiensi ketel uap.

3. Alkalinitas (*Alkalinity*)

Alkalinitas merupakan gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam, atau kuantitas anion di dalam air yang dapat menetralkan kation hidrogen. Alkalinitas dalam air disebabkan oleh adanya bikarbonat, karbonat dan ion hidroksil. Kebebasan dalam air baku terutama disebabkan oleh bikarbonat dan terkadang ion karbonat juga dapat hadir (Husnawati, Bhernama, and Tarmizi 2022, 64).

4. *Hardness* (Kesadahan)

Kesadahan merupakan suatu keadaan dimana terdapat kandungan dapur yang berlebihan di dalam air. Pada dasarnya prinsip dari kesadahan adalah terkontaminasinya air dengan unsur logam seperti kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) (Husnawati, Bhernama, and Tarmizi 2022, 64).

5. Silika

Air alam dapat mengandung kadar silika 1-100 ppm. Silika yang dimaksud disini adalah silika yang dapat larut. Silika yang tidak dapat larut dapat dihilangkan dengan cara flokulasi dan penyaringan. Akan tetapi proses demikian tidak akan mengurangi silika yang dapat larut dalam air. Beberapa masalah muncul ketika

nilai parameternya terlampaui tinggi (Husnawati, Bhernama, and Tarmizi 2022, 64).

F. Jenis-Jenis Air Ketel Uap

Dalam sistem ketel uap, kualitas air yang digunakan berpengaruh terhadap efisiensi operasional dan massa pakai dari ketel uap itu sendiri. Secara umum air yang digunakan pada ketel uap untuk menghasilkan uap (*steam*) diklasifikasikan berdasarkan tingkat kemurnian dan perlakuan sebelum digunakan dalam sistem. Air pengisian yang digunakan untuk mengisi ketel uap bisa berasal dari berbagai macam jenis air, seperti air tanah, air sungai, air hujan, air PDAM, air distilasi, dan air kondensat. Kualitas dari sumber air tersebut sangat menentukan kinerja ketel uap. Berikut penjelasan dari berbagai macam jenis air yang digunakan dalam sistem uap :

1. Air Tanah

Air tanah atau bisa juga disebut air sumur biasanya diambil secara langsung dari tanah atau sumur yang telah dibuat menggunakan pompa air. Hal ini penting karena jarak lokasi terhadap laut dapat memengaruhi kandungan garam dan mineral yang terdapat di dalam air tanah tersebut.

2. Air Sungai

Air sungai adalah air yang berasal dari sungai, air ini kurang bagus digunakan untuk mengisi air ketel, karena biasanya tercemar dengan garam (payau), terutama jika diambil dari bagian yang dekat dengan muara. Selain itu, penggunaan air sungai sebagai pengisi ketel dapat mempercepat terbentuknya kerak dan korosi pada pipa ketel uap dikarenakan mengandung mineral, lumpur, serta zat organik yang terbawa aliran sungai.

3. Air Hujan

Air hujan adalah air paling murni di alam. Air ini jatuh di bumi melewati pepohonan, air hujan terlarut dalam beberapa karbon dioksida yang dihasilkan dari proses fotosintesis. Air ini bereaksi pada mineral dan bebatuan dengan demikian kandungan oksigen akan meningkat. Sehingga dapat dijadikan sebagai air pengisian ketel uap.

4. Air PDAM

Air PDAM atau air ledeng yaitu air yang diproduksi oleh perusahaan pengolahan air minum, namun air ini juga tidak bisa ditentukan kondisinya, tergantung dengan lokasinya karena jika dekat dengan pantai bisa saja masih mengandung garam.

5. Air Disitilasi

Ketika air distilasi dihasilkan dari proses penguapan air laut atau air tawar, hasilnya akan mempunyai derajat kemurnian yang tinggi, asalkan tidak terjadi *carry over* pada *evaporator*. Ketidakmurnian mineral yang terdapat dalam air laut maupun air tawar terkonsentrasi dalam *evaporator* dan uap yang dihasilkan bebas dari ketidakmurnian, terkondensasi membuat kandungan tidak lebih dari 4 ppm dari padatan terlarut dan biasanya adalah 1 ppm garam terlarut. Sejak gas karbon dioksida terbawa dalam uap, ini akan terlarut kembali dalam *distillate* apabila tidak dikondensasikan pada temperatur yang mendekati titik didih. Kehadiran karbon dioksida memberikan keasaman air dan digunakan sejumlah kecil *chemical treatment* untuk meminimalisir

korosi. Air jenis inilah yang baik dipergunakan untuk air ketel, tetapi masih juga perlu ditambahkan bahan kimia untuk menetralkan sifat-sifat air tersebut.

6. Air Kondensat

Air kondensat yaitu air yang terbentuk dari uap bekas yang didinginkan di dalam kondensor dan menjadi air kondensat. Air kondensat ini juga hampir sama dengan air destilasi yang dianggap paling baik untuk dipakai sebagai air ketel, karena merupakan bagian proses sistem perjalanan air ketel itu sendiri (peredaran lingkaran) (Setyadi 2022, 27–28).

G. Apendasi Ketel Uap

Apendasi ketel uap adalah komponen penunjang yang dipasang pada ketel uap dengan tujuan untuk menunjang operasi, pengendalian, serta keselamatan. Apendasi ketel uap terbagi menjadi dua yaitu apendasi ketel uap yang berhubungan dengan uap dan apendasi ketel yang berhubungan dengan air.

Apendasi ketel uap yang berhubungan dengan ketel uap yaitu komponen tambahan yang digunakan untuk mendukung operasi ketel uap secara aman dan efisien. Apendasi yang berhubungan dengan ketel uap yaitu *safety valve*, *main and auxiliary engine*, dan *Manometer*. *Safety valve* merupakan komponen penting yang berfungsi untuk melindungi ketel dari tekanan berlebih. *Main* dan *Auxiliary Valve* merupakan katup yang digunakan untuk mengendalikan aliran uap dari ketel sistem distribusi uap atau mesin. Sedangkan *manometer* merupakan alat pengukur tekanan yang digunakan untuk memantau tekanan uap dalam ketel (sarifuddin 2024,66-67).

Apendasi ketel uap yang berhubungan dengan air yaitu komponen tambahan yang digunakan untuk mengelola dan memantau air dalam sistem ketel uap. Apendasi ketel uap yang berhubungan dengan air yaitu katup pengisian, *sigh glass*, dan katup *blow down*. Katup pengisian adalah komponen yang digunakan untuk mengatur aliran air masuk ke dalam ketel. *Sigh glass* merupakan perangkat visual yang digunakan untuk memantau level air di dalam ketel. Sedangkan katup *blow down* merupakan katup yang digunakan untuk mengeluarkan air dan sedimen dari dasar ketel (sarifuddin 2024, 67-68).

H. Hubungan *Fresh Water Generator* dan Ketel Uap

Fresh Water Generator (FWG) merupakan perangkat penting yang digunakan untuk menghasilkan air tawar dari air laut melalui proses distilasi atau metode lainnya. Pada FWG, air tawar umumnya dihasilkan menggunakan metode evaporasi dengan memanfaatkan panas dari salah satu sumber panas. Umumnya sumber panas yang tersedia diambil dari *water jacket* mesin utama, yang digunakan untuk mendinginkan komponen mesin utama seperti kepala silinder, liner, dsb. Keberadaan *Fresh Water Generator* (FWG) di kapal sangat krusial karena air tawar tidak hanya diperlukan untuk kebutuhan dasar manusia tetapi juga untuk berbagai sistem operasional kapal. Dalam mesin diesel kapal, air tawar digunakan sebagai pendingin untuk mengurangi suhu komponen mesin dan menjaga efisiensi kerja. Selain itu, dalam sistem ketel uap, air tawar menjadi elemen utama yang harus memiliki tingkat kemurnian tinggi agar tidak menyebabkan kerak atau korosi pada peralatan (Sarifuddin 2025, 44-45).

Dalam hubungannya dengan ketel uap, kualitas air tawar hasil dari *Fresh Water Generator* (FWG) harus selalu diperiksa kandungan

garamnya agar sesuai standar. Maka dari itu, digunakan *salinometer* sebagai alat ukur kadar garam (salinitas) dalam air suling yang dihasilkan. *Salinometer* bekerja dengan prinsip *salinity cell* yang mampu mendeteksi kandungan garam terlarut. Jika kadar garam melebihi batas yang ditetapkan (umumnya 10 ppm), maka *salinometer* memberikan alarm peringatan. Hal ini menunjukkan bahwa air tawar tidak memenuhi standar kualitas untuk digunakan sebagai air pengisi ketel uap.

Apabila air dengan kadar garam tinggi tetap digunakan, risiko kerusakan pada ketel meningkat, misalnya korosi pada pipa, pembentukan kerak, serta gangguan proses pembangkitan uap. Oleh karena itu, FWG dan *salinometer* bekerja secara berkesinambungan dalam menyediakan air tawar yang layak sebagai air pengisi ketel. Dengan demikian, hubungan antara FWG dan ketel uap tidak hanya sebatas pada penyediaan air, tetapi juga pada pengendalian kualitas air demi menjaga keandalan dan efisiensi kinerja ketel uap di kapal.

I. Definisi dan Jenis-Jenis Korosi

Korosi adalah kerusakan logam akibat interaksi dengan lingkungannya. Korosi merupakan proses alamiah yang terjadi dan tidak dapat dicegah, tetapi dapat dikendalikan. Korosi juga dapat didefinisikan sebagai penurunan sifat-sifat yang menguntungkan dari logam, sehingga penggunaannya menjadi tidak optimal.

Korosi adalah proses merusak material, khususnya logam, akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Hal ini terjadi ketika logam berinteraksi dengan oksigen, air, atau zat kimia lainnya yang dapat menyebabkan perubahan pada struktur dan sifat logam tersebut. Korosi umumnya mengakibatkan degradasi material dan

penurunan kualitas, kekuatan, dan fungsi dari logam yang terkena dampaknya.

Proses korosi melibatkan reaksi elektrokimia, yaitu logam yang berfungsi sebagai elektroda dalam sel elektrokimia. Reaksi ini melibatkan anoda (area di mana oksidasi terjadi) dan katoda (area dimana reduksi terjadi) yang terhubung melalui elektrolit (seperti air atau larutan asam). Proses ini menghasilkan aliran arus listrik, yang mengakibatkan pelepasan ion logam dari permukaan logam yang teroksidasi (Irwan et al. 2023, 1–2).

Korosi bergantung pada kualitas air, seperti pH, gas terlarut, jenis, dan konsentrasi garam, lingkungan, dll, seperti suhu dan kecepatan aliran. Untuk ketel uap, oksigen terlarut dan pH merupakan faktor yang paling mempengaruhi korosi. Jenis korosi yang umum terjadi pada ketel uap adalah sebagai berikut :

1. Korosi akibat oksigen terlarut

Korosi yang disebabkan oksigen terlarut dalam air umpan terjadi ketika oksigen di dalam air ketel merusak lapisan pelindung pada permukaan logam dan mengakibatkan besi terelusi. Selain itu, dalam kondisi ini, jika produk korosi mengendap di permukaan baja, maka akan terbentuk sel konsentrasi oksigen yang menyebabkan besi mengalami elusi secara terkonsentrasi. Proses ini mengakibatkan terbentuknya lubang-lubang kecil pada permukaan baja, Jika hal tersebut dibiarkan maka korosi akan semakin dalam dan merusak struktur logam. Selain itu, jika produk korosi masuk ke dalam sistem kondensat atau air umpan dan kemudian dialirkan kembali ke dalam ketel uap, endapan tersebut dapat memicu terbentuknya sel konsentrasi yang tersusun atas oksigen terlarut,

sehingga korosi serupa dapat terjadi di dalam sistem (Miura Protec Co. 2007, 88) .

2. Korosi akibat nilai pH yang tidak tepat

Korosi yang diakibatkan tidak menjaga pH air ketel uap pada 11-12 membuat jumlah korosi tembaga menjadi minimum. Ketika pH tidak diatur, terutama lebih rendah, jumlah korosi menjadi tinggi (Miura Protec Co. 2007, 88). Pengukuran pH sangat penting untuk dikontrol agar kebocoran pipa tidak terjadi oleh asam dan terbentuk . pH berfungsi untuk menentukan tingkat laju korosi yang terdapat dan berpengaruh terhadap pembentukan atau korosi, jika pH naik maka alkalinitas dan korosi akan berjalan dengan cepat. Selain juga dapat menimbulkan busa sehingga menimbulkan *carry over* (Volara and Nasution 2022, 25).

3. Korosi akibat ion klorida dan ion asam sulfat

Ion klorida dan ion asam sulfat disebut ion berbahaya, serta ion ini merusak lapisan pencegah korosi dan menyebabkan korosi pada pin (Miura Protec Co. 2007, 88). Kedua ion ini bersifat agresif terhadap logam yang menyebabkan penipisan pada material, salah satu contohnya penipisan pada *water tube*. Ion klorida dapat menyebabkan korosi *pitting*, yaitu pembentukan lubang-lubang kecil pada permukaan *water tube* yang dapat mempercepat kebocoran, terutama pada suhu dan tekanan tinggi. Sementara itu, ion asam sulfat menurunkan pH air ketel uap, meningkatkan keasaman, dan mempercepat korosi asam yang menyebabkan degradasi lapisan pelindung logam. Ion-ion berbahaya ini menjadi faktor utama yang mempercepat terjadinya kerusakan material ketel uap apabila tidak dikendalikan dengan pengolahan air yang tepat.

J. Regulasi SOLAS Tentang Ketel Uap di Atas Kapal

Regulasi SOLAS (*Safety Of Life at Sea*) merupakan standar keselamatan untuk berbagai sistem di atas kapal, termasuk permesinan bantu ketel uap. Ada berbagai macam peraturan di SOLAS yang membahas tentang ketel uap dirancang, dibangun, dan dioperasikan sesuai standar keselamatan yang ketat. Berikut beberapa peraturan dalam SOLAS yang berkaitan dengan ketel uap :

1. Chapter II-1, Regulation 26

Pada *Chapter II-1 Regulation 26*, SOLAS mengatur tentang tenaga uap, termasuk ketel uap guna memastikan keamanan dalam pengoperasiannya. Mesin ketel uap, dan bejana tekan lainnya, sistem perpipaan dan perlengkapan terkait harus memiliki desain dan konstruksi yang memadai serta harus dipasang dan dilindungi sedemikian rupa untuk mengurangi bahaya bagi orang-orang di atas kapal seminimal mungkin dengan memperhatikan bagian-bagian yang bergerak, permukaan yang panas, dan bahaya lainnya. Semua ketel uap dan bagian mesin utama uap hidrolik pneumatik dan sistem lainnya serta perlengkapan yang terkait yang mempunyai tekanan internal harus dilakukan pengujian yang sesuai termasuk uji tekanan sebelum dioperasikan untuk pertama kalinya (International Maritime Organization 2014, 85).

2. Chapter II-1, Regulation 32

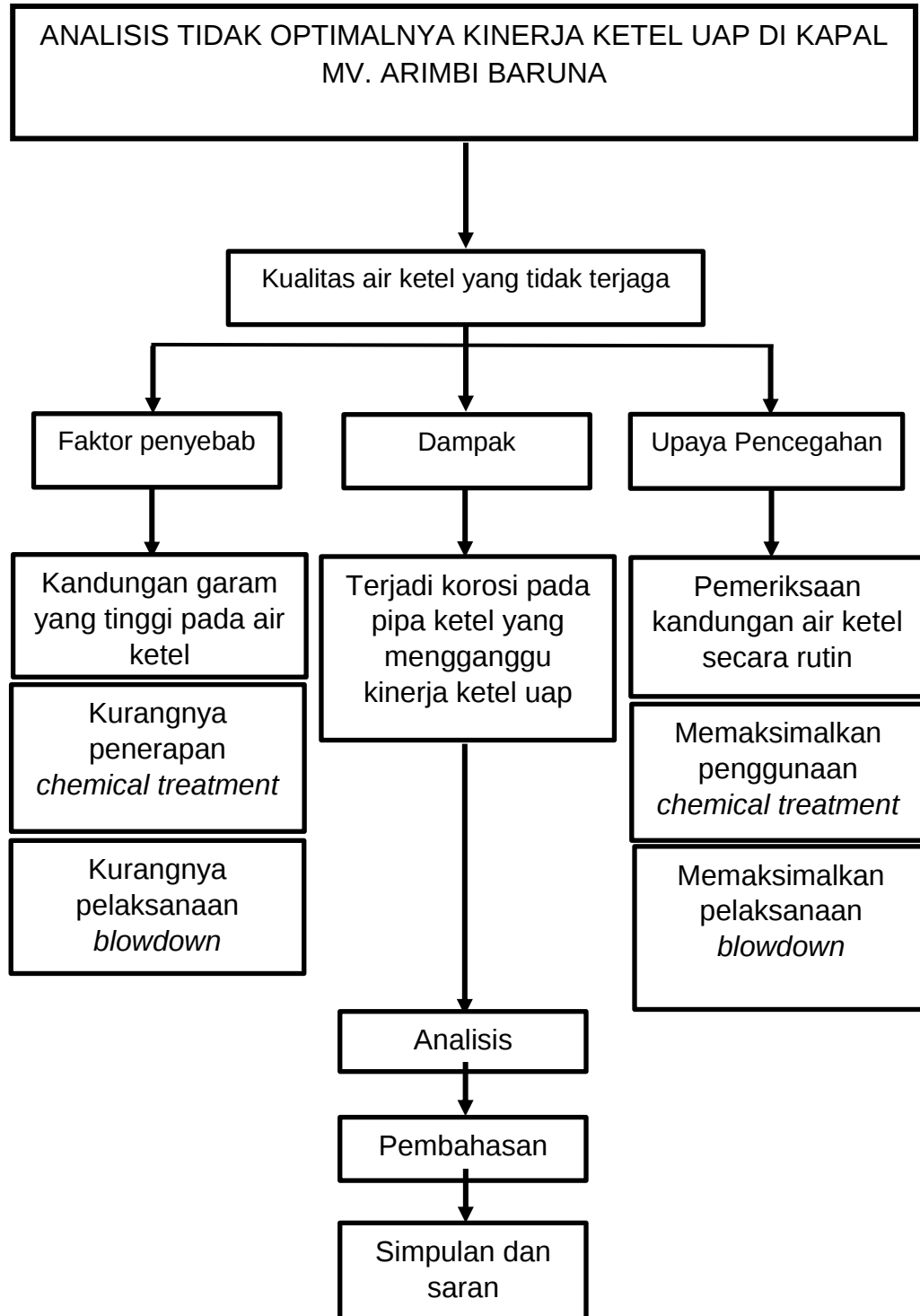
Pada regulasi 32 ini, SOLAS membahas tentang beberapa hal yaitu :

- a. Setiap ketel uap dan setiap generator uap yang tidak dipanaskan harus dilengkapi dengan tidak kurang dari dua katup pengaman dengan kapasitas yang memadai. Namun, dengan mempertimbangkan keluaran atau fitur lain dari ketel uap atau generator uap yang tidak dipanaskan. Pemerintah hanya boleh mengizinkan satu katup pengaman untuk dipasang jika yakin bahwa perlindungan yang memadai terhadap tekanan berlebihan bisa dikendalikan dengan katup pengaman tersebut.
- b. Setiap ketel uap berbahan bakar minyak yang dimaksudkan untuk beroperasi tanpa pengawasan manual harus mempunyai peraturan keselamatan yang dapat mematikan pasokan bahan bakar dan memberikan alarm jika permukaan air rendah, pasokan udara gagal, atau api mati.
- c. Ketel uap tabung air yang digunakan sebagai mesin penggerak turbin harus dilengkapi dengan alarm level air tinggi. Ketentuan ini bertujuan untuk mencegah kondisi kelebihan air (*overflowing*) di dalam ketel uap yang dapat menyebabkan terbawanya air bersama uap (*carry over*) menuju turbin. Apabila hal ini terjadi, turbin berisiko mengalami kerusakan serius akibat erosi, benturan air (*water hammer*), serta penurunan efisiensi kerja. Dengan adanya alarm level air tinggi, operator dapat segera melakukan tindakan korektif untuk menstabilkan level air pada batas aman, sehingga sistem ketel uap tetap beroperasi secara efisien dan keselamatan permesinan kapal tetap terjamin.
- d. Setiap sistem pembangkit uap yang tersedia alat keselamatan kapal atau yang dapat membahayakan karena kegagalan

pasokan air umpannya, harus dilengkapi dengan tidak kurang dari dua buah pompa yang terpisah yang memungkinkan penetrasi uap, Terkecuali jika tekanan berlebih disebabkan oleh pompa maka harus disediakan peralatan yang akan mencegah tekanan berlebih di bagian manapun dari sistem.

- e. Ketel uap harus dilengkapi dengan sarana untuk mengawasi dan mengendalikan kualitas air umpan. Oleh karena itu, perlu disediakan peraturan untuk mencegah hal-hal yang dapat berdampak pada ketel uap.
- f. Setiap ketel uap yang berperan penting dalam keselamatan kapal dan dirancang untuk menampung air pada level tertentu harus dilengkapi dengan setidaknya dua sarana untuk menunjukkan level airnya, dengan minimal satu diantaranya berupa kaca pengukur dengan pembacaan langsung (International Maritime Organization 2014, 95).

K. Kerangka Pikir



L. Hipotesis

Hipotesis berasal dari kata *Hupo* dan *Thesis*. *Hupo* artinya sementara atau lemah keberadaannya dan *thesis* artinya pernyataan/teori. Hipotesis pada dasarnya merupakan preposisi atau anggapan yang mungkin benar, dan yang sering digunakan sebagai dasar pembuatan suatu keputusan/pemecahan persoalan ataupun dasar penelitian lebih lanjut (Junaedi and Wahab 2023). Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, maka dugaan-dugaan awal (hipotesis) yang muncul dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kandungan garam pada air ketel diduga menyebabkan korosi pada pipa ketel uap.
2. Terjadinya korosi pada pipa ketel diduga berdampak terhadap ketidakstabilan tekanan uap yang dihasilkan.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan oleh penulis adalah penelitian kualitatif yaitu suatu teknik penelitian yang menggunakan narasi atau kata-kata dalam menjelaskan dan menjabarkan makna dari setiap fenomena, gejala, dan situasi sosial tertentu. Dalam penelitian kualitatif, peneliti adalah instrumen kunci untuk memaknai dan menginterpretasikan setiap fenomena, gejala, dan situasi sosial tertentu (Naruwu 2023, 2898).

B. Definisi Operasional Variabel

Definisi operasional adalah pernyataan konkret mengenai bagaimana suatu variabel diukur atau diamati dalam penelitian tertentu. Definisi ini memastikan bahwa variabel dapat diukur secara konsisten dan sesuai dengan tujuan penelitian (M. Anwar Rifa'i, 2024). Definisi operasional variabel yang sering dikutip oleh penulis adalah :

1. Kandungan Garam

Adalah zat terlarut air yang terbentuk karena adanya ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , atau juga dapat disebabkan karena adanya ion-ion lain dari *polyvalent metal* (logam bervalensi banyak) seperti Al, Fe, Mn, Sr, dan Zn.

2. Korosi

Adalah kerusakan logam akibat interaksi dengan lingkungannya. Korosi merupakan proses alamiah yang terjadi dan tidak dapat dicegah, tetapi dapat dikendalikan. Korosi juga

dapat didefinisikan sebagai penurunan sifat-sifat yang menguntungkan dari logam, sehingga penggunaannya menjadi tidak optimal.

3. *Water Tube*

Water wall tube atau *water tube* adalah pipa-pipa yang dipasang di dinding pembakaran dalam ketel uap, dimana air umpan mengalir melalui pipa-pipa ini untuk dipanaskan oleh gas pembakaran.

4. Kinerja Ketel Uap

Kinerja ketel uap adalah ukuran efektivitas dan efisiensi suatu ketel uap dalam mengubah energi bahan bakar menjadi energi panas untuk menghasilkan uap. Kinerja ini dinilai berdasarkan parameter seperti efisiensi *termal*, kapasitas produksi uap, konsumsi bahan bakar, dan kehilangan panas.

C. Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian

Adapun teknik pengumpulan data dan instrumen yang diperlukan untuk penulisan penelitian ini adalah :

1. Observasi

yaitu pengamatan yang dilakukan secara langsung terhadap objek yang akan diteliti di lapangan pada saat melaksanakan praktek laut.

2. Dokumentasi

Yaitu teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara melihat, membaca, mencatat, dan mendokumentasikan dalam

bentuk gambar atau video segala sesuatu mengenai objek yang akan diteliti.

3. Tinjauan kepustakaan (*Library Research*)

Yaitu teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara membaca dan mempelajari buku-buku referensi yang berhubungan dengan masalah yang dibahas, untuk memperoleh landasan teori yang akan digunakan dalam membahas masalah yang diteliti.

4. Wawancara

Yaitu teknik pengumpulan data menggunakan metode tanya jawab secara langsung antara pewawancara dengan narasumber. Teknik pengumpulan data ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang mendalam mengenai suatu topik atau permasalahan yang diteliti.

D. Teknik Analisis Data

Metode analisis kualitatif terdiri dari menganalisis, mendeskripsikan, dan merangkum setiap fenomena, gejala, dan situasi sosial tertentu dengan data yang dikumpulkan dalam bentuk observasi, dokumentasi, tinjauan kepustakaan, dan wawancara. Dalam konteks penelitian ini, jenis data yang digunakan yaitu data kualitatif. Data kualitatif adalah data yang bersifat deskriptif dan tidak berbentuk angka. Data ini menggambarkan karakteristik, pengalaman, persepsi, atau makna dari suatu fenomena. Sumber data yang digunakan pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yaitu sumber data yang berasal dari pengamatan langsung. Data penelitian ini dapat dikumpulkan melalui metode survei, yaitu dengan

mengamati, mengukur, dan mencatat langsung di tempat penelitian. Data sekunder yaitu sumber data tambahan dari sumber tertulis seperti literatur, bahan kuliah, data permesinan di atas kapal dan aspek lain dari penelitian ini.

E. Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di atas kapal MV. Arimbi Baruna dengan waktu penelitian selama 6 bulan pada saat penulis melaksanakan prala (Praktek Laut).

No	Kegiatan	TAHUN 2023											
		BULAN											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Pengarahan dan pembekalan												
2.	Pembagian dosen pembimbing proposal												
3.	Pengajuan judul proposal												
4.	Pengumpulan data dan referensi												
5.	Penyusunan proposal												
6.	Pelaksanaan prala di kapal MV. H Whaleshark												
		TAHUN 2024											
7.	Pelaksanaan prala di kapal MV. Arimbi Baruna												

8.	Pengambilan data												
		TAHUN 2025											
9.	Pembagian dosen pembimbing skripsi												
10.	Pergantian judul skripsi												
11.	Penyusunan skripsi												
12.	Seminar hasil												
13.	Revisi												
14.	Seminar tutup												