

**ANALISIS KEBOCORAN PIPA AIR LAUT PADA SISTEM
PENDINGIN MESIN INDUK DI KAPAL MV. JIAN RUI 17**



KEMAL

NIT: 21.42.032

TEKNIKA

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

**ANALISIS KEBOCORAN PIPA AIR LAUT PADA SISTEM
PENDINGIN MESIN INDUK DI KAPAL MV. JIAN RUI 17**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Program Pendidikan
Diploma IV Pelayaran Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar

Program Studi Teknika

Disusun dan Diajukan Oleh

KEMAL

NIT. 21.42.032

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

SKRIPSI

**ANALISIS KEBOCORAN PIPA AIR LAUT PADA SISTEM
PENDINGIN MESIN INDUK DI KAPAL MV. JIAN RUI 17**

Disusun dan Diajukan oleh:

KEMAL
NIT. 21.42.032

Telah dipertahankan di depan panitia ujian skripsi
pada tanggal, 17 Oktober 2025

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E.
NIP.19680508 2002122 002



Rahmat Hidayat, S.T., M.M., M.Mar.E.
NIP. 19860517 2010121 006

Mengetahui:

Pembantu Direktur I

Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar

Ketua Program Studi Teknika



Capt. Faisal Saransi, M.T., M.Mar.
NIP. 19750329 199903 1 002



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

PRAKATA

Puji syukur kepada sang pencipta atas kehadiran ALLAH SWT yang telah memberikan taufik hidayah-NYA agar sang pencipta dapat menyelesaikan proposisi tentang pemanggilan laut dengan judul “analisis kebocoran pipa air laut pada sistem pendingin mesin induk di kapal MV. Jian rui 17

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan Taruna Diploma IV, Jurusan Teknika di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar. Tidak dapat di sangkal bahwa menyelesaikan pekerjaan pada tesis ini membutuhkan banyak usaha. Namun, saya tidak mungkin menyelesaikan pekerjaan ini tanpa dukungan dan bantuan dari orang-orang yang saya cintai.

Terimah kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Capt. Rudy Santoso, M.M.Tr., M.Pd selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Bapak Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P selaku Ketua Jurusan Teknika Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
3. Bapak Suyuti M.,Si.T.,M.Mar.E. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Rahmat hidayat.S.T.,M.M.,M.Mar.E. selaku Dosen Pembimbing II yang telah dengan tulus memberikan bimbingan dan petunjuk kepada penulis sejak dari penyusunan rencana penelitian, sampai tahap penyelesaian skripsi ini.
4. Ayahanda Ansar Reali, Ibunda Ernawati, serta keluarga tercinta yang selalu tulus memberikan do'a, nasihat, dan dukungan baik moral maupun material, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik..
5. Refryani Kurniawati yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan semangat bagi penulis. Kehadirannya memberi warna tersendiri dalam perjalanan penyusunan skripsi ini hingga terselesaikan dengan baik.
6. Nahkoda beserta seluruh ABK dari MV. JIAN RUI 17 khususnya kru mesin yang telah memberi pengalaman, ilmu dan kesempatan untuk belajar.

7. Seluruh Dosen dan Staff Pembina Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah membantu serta mengayomi saya selama menimba ilmu di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
8. Seluruh Taruna/I yang telah memotivasi dan membantu saya dalam proses penyusunan skripsi, terkhusus Angkatan XLII.
9. Semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, namun telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, dengan segala ketulusan hati penulis memohon maaf bila terdapat kalimat yang kurang berkenan di hati pembaca, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, menambah pengetahuan serta menjadi referensi bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Makassar, 17 Oktober 2025



KEMAL
NIT: 21.42.032

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : KEMAL
Nomor Induk Taruna : 21.42.032
Jurusan : TEKNIKA

Menyatakan bahwa skripsi ini dengan judul:

“ANALISIS KEBOCORAN PIPA AIR LAUT PADA SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK DI KAPAL MV. JIAN RUI 17”

Merupakan karya asli, Seluruh ide yang ada pada skripsi ini, kecuali tema yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide yang saya susun sendiri.

Jika pernyataan di atas terbukti sebaiknya, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Makassar, 17 Oktober 2025



KEMAL
NIT: 21.42.032

ABSTRACT

KEMAL. Analisis kebocoran pipa air laut pada sistem pendingin mesin induk di kapal MV. Jian Rui 17 (Di bimbing oleh bapak suyuti dan bapak rahmad hidayat)

Korosi merupakan salah satu masalah yang paling umum dan merugikan pada ruang mesin kapal, khususnya pada sistem pendingin air laut. Penggunaan air laut yang mengandung garam dan mineral dalam kadar tinggi mempercepat proses korosi pada pipa logam sehingga mengakibatkan penurunan kinerja sistem, peningkatan biaya perawatan, dan potensi kegagalan mesin. Penelitian ini dilakukan di atas kapal MV. Jian Rui 17 untuk menganalisis akar penyebab korosi pada pipa pendingin air laut mesin utama dan untuk mengevaluasi efektivitas tindakan pencegahan yang diambil oleh kru mesin.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif melalui observasi lapangan, pemeriksaan fisik sistem perpipaan, dokumentasi, dan wawancara dengan teknisi kedua dan petugas mesin. Studi tersebut mengungkap beberapa faktor yang berkontribusi terhadap korosi, termasuk penggunaan pipa baja galvanis yang tidak sepenuhnya tahan terhadap air laut, kurangnya jadwal perawatan yang konsisten, pengaturan aliran yang buruk, dan sistem penyaringan yang terbatas. Korosi paling menonjol di area dengan air laut yang tergenang, pelapisan yang tidak tepat, dan sambungan pipa yang terkena turbulensi dan getaran.

Kata Kunci: Korosi, Pipa Pendingin, MV.Jian Rui 17

ABSTRACT

KEMAL. Analysis of seawater pipe leak on main engine cooling system of the ship mv jian rui 17 (Supervised by Mr Musriady and Mr Rahmat hidayat)

Corrosion is one of the most common and detrimental problems in the engine room of a ship, particularly in the seawater *cooling systems*. The use of seawater, which contains high levels of salts and minerals, accelerates the corrosion process on metal pipes, resulting in reduced system performance, increased maintenance costs, and potential engine failure. This research was conducted onboard MV. Jian Rui 17 to analyze the root causes of corrosion in the main engine seawater cooling pipelines and to evaluate the effectiveness of the preventive measures taken by the engine crew.

This study applied a qualitative descriptive method through field observation, physical inspection of the *pipng system*, documentation, and interviews with the second engineer and engine officers. The study revealed several contributing factors to corrosion, including the use of galvanized steel pipes that are not fully resistant to seawater, lack of consistent maintenance schedules, poor flow regulation, and limited filtration systems. Corrosion was most prominent in areas with stagnant seawater, improper *coating*, and pipe joints exposed to turbulence and vibration.

Keywords: *Corrosion, Cooling Pipe, MV.Jian Rui 17*

DAFTAR ISI

PRAKATA	4
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	6
ABSTRACT	7
ABSTRACT	8
DAFTAR ISI	9
DAFTAR GAMBAR	11
DAFTAR TABEL	12
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Dasar Pengertian Korosi	5
B. Tipe-Tipe Korosi	6
C. Pengetahuan Logam	10
D. Korosi Oleh Mikroba	12
E. Mekanisme Terjadinya Korosi	14
F. Pengaruh pH terhadap Korosi	17
G. Sistem Pipa	20
H. Peralatan Sistem Pendingin Air Laut Dan Fungsinya.	30
I. Cara Pengecatan yang Optimal	37
J. Proteksi Pipa dengan <i>Zinc anode</i> (Anoda Seng)	40
K. Kerangka Pikir	42
L. Hipotesis	43
BAB III METODE PENELITIAN	44
A. Jenis dan Lokasi Penelitian	44
B. Metode Pengumpulan Data	44
C. Jenis dan Sumber Data	45
D. Analisis Data	46

E. Jadwal Penelitian	47
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	48
A. Hasil Penelitian	48
B. Pembahasan	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
A. Kesimpulan	61
B. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	64
RIWAYAT HIDUP PENULIS	72

DAFTAR GAMBAR

No	Halaman
Gambar 2. 1 pipa korosi merata	7
Gambar 2. 2 pipa korosi galvanik	7
Gambar 2. 3 pipa korosi tegangan	8
Gambar 2. 4 pipa korosi erosi	8
Gambar 2. 5 pipa korosi celah	9
Gambar 2. 6 pipa korosi mikrobiologis	9
Gambar 2. 7 pipa korosi lelah	9
Gambar 2. 8 Kerangka Pikir	42
Gambar 5. 1 Ship particular MV. Jian Rui 17	64
Gambar 5. 2 Crew List MV. Jian Rui 17	65
Gambar 5. 3 Piping Diagram Sea Water	66
Gambar 5. 4 pipa yang bocor	67
Gambar 5. 5 pipa yang bocor	67
Gambar 5. 6 perbaikan pipa	68
Gambar 5. 7 perbaikan pipa	68
Gambar 5. 8 pemasangan pipa	69

DAFTAR TABEL

No	Halaman
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian	47
Tabel 4. 1 Data Normal	51
Tabel 4. 2 Data Abnormal	52
Tabel 4. 3 Data Setelah Perbaikan	53
Tabel 4. 4 Data Perbandingan Normal dan Abnormal	54

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem pendingin air laut pada kapal memiliki peran yang sangat vital dalam menjaga suhu kerja mesin tetap dalam batas aman dan efisien. Salah satu komponen utama dari sistem ini adalah pipa yang mengalirkan air laut ke dalam heat exchanger untuk mendinginkan air tawar yang kemudian digunakan dalam sistem pendingin mesin utama. Namun, penggunaan air laut sebagai media pendingin membawa risiko signifikan terhadap pipa, terutama dalam bentuk korosi.

Korosi adalah proses degradasi logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan sekitarnya, terutama karena adanya garam, oksigen terlarut, dan mikroorganisme dalam air laut. Proses ini menyebabkan pengikisan material pipa secara perlahan namun progresif, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kebocoran, penurunan efisiensi pendinginan, dan bahkan kerusakan pada komponen mesin.

Kondisi ini secara nyata ditemukan pada kapal MV. Jian Rui 17, di mana pipa-pipa baja galvanis dalam sistem pendingin air laut mengalami korosi yang cukup parah, terutama pada area yang terpapar air laut yang tergenang, sambungan pipa, serta daerah yang mengalami getaran dan turbulensi tinggi. Berdasarkan observasi lapangan, penyebab utama korosi adalah pemilihan material pipa yang kurang tahan terhadap lingkungan laut, ditambah minimnya perawatan berkala dan sistem penyaringan yang tidak optimal.

Masalah kebocoran pipa akibat korosi bukan hanya berdampak pada efisiensi sistem pendingin, tetapi juga berpengaruh terhadap keselamatan pelayaran, umur pakai mesin, serta biaya operasional kapal secara keseluruhan. Oleh karena itu, dibutuhkan analisis yang mendalam mengenai bentuk korosi yang terjadi, faktor penyebabnya, serta upaya pencegahan dan penanggulangan yang tepat.

Melalui penelitian ini, penulis berupaya untuk memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam meningkatkan pemahaman terhadap sistem pendingin kapal serta strategi perawatan pipa yang lebih efektif, dengan harapan dapat memperpanjang usia komponen, mengurangi biaya perbaikan, dan meningkatkan keselamatan serta efisiensi operasional kapal.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka penulis melakukan penelitian di atas kapal dalam rangka penelitian dalam bentuk skripsi yang berjudul “**ANALISIS KEBOCORAN PIPA AIR LAUT PADA SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK DI KAPAL MV. JIAN RUI 17.** Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan pemahaman tentang pengelolaan sistem pendingin kapal dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan sistem perawatan yang lebih efektif.

B. Rumusan Masalah

Oleh karena luasnya permasalahan dan untuk memudahkan dalam pembahasan dan pelaksanaan penelitian maka penulis merumuskan masalah yaitu

1. Apa saja faktor yang menyebabkan terjadinya kebocoran pada pipa air laut sistem pendingin mesin induk?
2. Bagaimana penanggulangan terhadap kebocoran pipa air laut sistem pendingin mesin induk?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mendeteksi dan memperbaiki kebocoran pipa air laut pendingin mesin induk di kapal.
2. Untuk menganalisis penyebab kebocoran pipa air laut pendingin mesin induk di kapal.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini yaitu :

1. Manfaat Teoritis
 - a. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan pengetahuan tentang proses terjadinya korosi dan faktor-faktor yang memengaruhinya di lingkungan kapal.
 - b. Menjadi referensi akademik bagi taruna dan mahasiswa yang ingin mempelajari lebih dalam mengenai perawatan dan pencegahan korosi pada sistem pipa kapal, khususnya pada sistem pendingin mesin induk.
 - c. Menyediakan dasar teori yang dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya terkait teknologi antikorosi di bidang kelautan

2. Manfaat Praktis

- a. Memberikan panduan atau acuan teknis dalam melakukan tindakan preventif dan korektif terhadap korosi pada sistem pipa air laut di kapal.
- b. Membantu awak kapal, khususnya bagian mesin, dalam mengenali tanda-tanda awal terjadinya korosi serta menentukan langkah yang tepat dalam penanganannya.
- c. Meningkatkan kesadaran kru dan pihak manajemen kapal terhadap pentingnya perawatan sistem pendingin untuk menjaga kinerja mesin induk dan keselamatan pelayaran secara keseluruhan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Dasar Pengertian Korosi

Korosi merupakan proses alami yang menyebabkan degradasi atau kerusakan pada logam akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Istilah “korosi” berasal dari bahasa Latin *corrodere* yang berarti “mengikis” atau “menggerogoti”. Dalam konteks teknik dan permesinan kapal, korosi adalah reaksi elektrokimia antara logam dengan zat-zat korosif di lingkungannya, seperti air laut, oksigen, karbon dioksida, dan ion klorida, yang menyebabkan logam tersebut mengalami oksidasi dan kehilangan kekuatan mekanisnya.

Korosi tidak hanya menyebabkan kerusakan struktural pada material logam, tetapi juga berdampak langsung terhadap efisiensi dan keselamatan operasional kapal. Di kamar mesin kapal, komponen-komponen logam seperti pipa, tangki, dan sambungan-sambungan sangat rentan terhadap korosi karena terus-menerus bersentuhan dengan air laut dan uap panas. Jika tidak ditangani dengan baik, korosi dapat menyebabkan kebocoran pada sistem perpipaan, gangguan fungsi mesin, hingga risiko kebakaran atau pencemaran laut.

Menurut Zhu et al. (2021), kerusakan logam akibat korosi tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan berlangsung secara perlahan dan progresif. Proses ini diawali dengan terbentuknya reaksi oksidasi di permukaan logam, di mana logam melepaskan elektron dan berubah menjadi ion logam. Ion-ion ini kemudian bereaksi dengan air atau gas di sekitarnya, membentuk senyawa seperti karat ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) pada besi.

Wang et al. (2021) juga menekankan bahwa lingkungan laut merupakan salah satu lingkungan paling agresif terhadap logam karena memiliki kombinasi faktor yang mempercepat laju korosi, yaitu:

1. Kelembaban tinggi,
2. Kandungan garam
3. Perubahan suhu yang drastis, dan
4. Adanya aliran fluida atau turbulensi.

Kapal yang beroperasi di perairan laut terbuka atau tropis lebih rentan terhadap korosi dibanding kapal yang beroperasi di perairan tawar. Oleh karena itu, pemilihan material tahan korosi serta penerapan sistem proteksi katodik dan pelapisan antikorosi menjadi hal yang sangat penting dalam perencanaan dan perawatan sistem permesinan kapal.

Secara umum, korosi dapat diklasifikasikan sebagai proses termoganik yang merugikan, karena logam-logam yang sebelumnya telah diproses dan dimurnikan kembali ke bentuk senyawanya yang tidak stabil. Hal ini bukan hanya berdampak pada segi teknis, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi yang besar dalam industri pelayaran, karena menyebabkan biaya tambahan untuk perawatan, penggantian komponen, dan potensi keterlambatan operasional.

Dengan pemahaman yang mendalam mengenai definisi dan sifat korosi, maka tindakan pencegahan dan pengendaliannya dapat dirancang lebih efektif untuk menjaga keandalan sistem di atas kapal.

B. Tipe-Tipe Korosi

Korosi dapat terjadi dalam berbagai bentuk, tergantung pada kondisi lingkungan, jenis material logam, serta sifat fisika dan kimia dari fluida yang bersentuhan dengan logam tersebut. Memahami tipe-tipe korosi sangat penting agar tindakan pencegahan dan penanganannya dapat dilakukan secara tepat. Menurut Qasim et al. (2019), jenis-jenis korosi yang umum terjadi di lingkungan kapal, khususnya di kamar mesin, antara lain:

1. Korosi Merata (*Uniform corrosion*)

Merupakan bentuk korosi yang paling umum, di mana kerusakan logam terjadi secara merata pada seluruh permukaan akibat reaksi

kimia antara logam dengan oksigen dan kelembaban udara atau air laut. Jenis ini sering dijumpai pada pelat logam kapal yang terpapar langsung oleh lingkungan laut.

Gambar 2. 1 pipa korosi merata



Sumber: *Corrosionpedia*

Korosi lokal yang menghasilkan lubang-lubang kecil (pits) pada permukaan logam. *Pitting* sangat berbahaya karena sulit dideteksi dan dapat menembus dinding pipa atau tangki tanpa menimbulkan tanda-tanda korosi di permukaan. Hal ini umum terjadi pada logam tahan karat yang terkena ion klorida.

2. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Terjadi saat dua logam berbeda saling bersentuhan dalam lingkungan elektrolit (misalnya air laut), di mana logam dengan potensial elektrokimia lebih rendah akan mengalami korosi lebih cepat. Contoh klasik di kapal adalah sambungan antara baja dan kuningan pada sistem perpipaan.

Gambar 2. 2 pipa korosi galvanik



Sumber: AMPP (*The Association for Materials Protection and Performance*)

3. Korosi Tegangan (*Stress Corrosion Cracking*)

Gambar 2. 3 pipa korosi tegangan



Sumber: TWI Global

Merupakan korosi yang terjadi akibat kombinasi tegangan mekanik dan lingkungan korosif. Biasanya terjadi pada logam-logam yang mengalami perlakuan khusus seperti pengelasan atau pembengkokan. Retakan kecil yang terjadi dapat berkembang menjadi kerusakan struktural serius jika tidak segera ditangani.

4. Korosi Erosi (*Erosion corrosion*)

Terjadi karena adanya aliran fluida yang cepat dan turbulen yang menghantam permukaan logam, sehingga mempercepat pengikisan lapisan pelindung logam. Umumnya terjadi pada tikungan pipa atau bagian yang mengalami perubahan kecepatan aliran fluida.

Gambar 2. 4 pipa korosi erosi



Sumber : *Nuclear Power Plant*

5. Korosi Celah (*Crevice corrosion*)

Muncul di area sempit atau celah di antara dua permukaan logam yang rapat atau pada sambungan baut. Air laut yang terperangkap di celah ini menciptakan lingkungan asam yang mempercepat proses korosi.

Gambar 2. 5 pipa korosi celah



Sumber: *Materials Science & Engineering Student*

6. Korosi Mikrobiologis (*Microbiologically Influenced Corrosion/MIC*)

Disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme seperti bakteri pereduksi sulfat atau bakteri pengoksidasi besi yang memproduksi senyawa-senyawa korosif seperti asam, sulfida, atau *biofilm*. Jenis ini banyak ditemukan pada tangki bahan bakar dan sistem air laut kapal.

Gambar 2. 6 pipa korosi mikrobiologis



Sumber: *Microbial Insights*

7. Korosi Lelah (*Corrosion fatigue*)

Merupakan korosi yang dipercepat oleh tegangan siklik atau getaran yang terus-menerus, seperti pada pipa yang terkena tekanan berulang atau struktur logam yang mengalami getaran dari mesin.

Dengan mengetahui tipe-tipe korosi ini, perwira teknika di atas kapal dapat melakukan tindakan pencegahan yang lebih tepat, baik dari segi pemilihan material, desain instalasi, maupun sistem perlindungan logam seperti pelapisan dan penggunaan anoda pengorbanan

Gambar 2. 7 pipa korosi lelah



Sumber: *Fracture Mechanics*

C. Pengetahuan Logam

Logam merupakan salah satu material utama yang digunakan dalam sistem konstruksi dan permesinan kapal, terutama pada sistem perpipaan di kamar mesin. Pengetahuan tentang struktur logam dan sifat-sifatnya sangat penting dalam memahami bagaimana korosi dapat terjadi dan bagaimana mencegahnya secara efektif.

1. Struktur Kristal Logam

Menurut Zhu et al. (2021), logam yang didinginkan dari keadaan cair akan mengalami proses pembekuan dimulai dari titik-titik kristalisasi awal yang disebut sebagai sel satuan. Sel satuan ini membentuk kristal logam atau butiran logam (*grain*). Ada tiga jenis struktur kristal logam yang umum dijumpai, yaitu:

- a. *Body-Centered Cubic (BCC)*: struktur ini dimiliki oleh logam seperti besi, molibdenum, kromium, dan vanadium.
- b. *Face-Centered Cubic (FCC)*: dimiliki oleh logam seperti tembaga, aluminium, nikel, emas, dan perak.
- c. *Hexagonal Close-Packed (HCP)*: dimiliki oleh magnesium, seng, dan kobalt.

Setiap struktur kristal memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik logam. Misalnya, logam FCC cenderung lebih ulet, sedangkan logam BCC memiliki kekuatan lebih tinggi namun lebih rapuh.

2. Batas Butir dan Dampaknya terhadap Korosi

Struktur logam terdiri atas butiran (*grain*) yang saling terhubung melalui batas butir (*grain boundary*). Zhu et al. (2021) menjelaskan bahwa batas butir memiliki energi yang lebih tinggi dibandingkan bagian dalam butir (*matriks*), sehingga lebih reaktif terhadap reaksi kimia. Akibatnya, korosi seringkali dimulai dari batas butir. Oleh karena itu, logam dengan ukuran butir yang lebih halus memang memiliki kekuatan mekanik lebih tinggi, namun juga berisiko lebih tinggi terhadap korosi antar butir (*intergranular corrosion*).

3. Struktur Mikro Logam

Struktur mikro logam dapat diteliti melalui proses metalografi, yakni metode pengamatan permukaan logam menggunakan mikroskop setelah dilakukan proses pemotongan, penghalusan, dan etsa dengan larutan kimia seperti HNO_3 dalam alkohol.

Zhu et al. (2021) menjelaskan bahwa logam terdiri dari ion-ion positif dalam susunan kisi kristal dengan jarak antar atom sekitar 2–3 Å. Elektron valensi yang bergerak bebas di antara ion-ion ini memberikan sifat konduktivitas listrik dan panas yang tinggi. Selain itu, atom-atom dalam logam senantiasa bergetar, dan getarannya semakin kuat seiring meningkatnya suhu, hingga pada titik tertentu logam akan mencair.

4. Transformasi Struktur Besi Akibat Suhu

Menurut Hsissou et al. (2020), besi memiliki kemampuan untuk mengubah struktur kristalnya bergantung pada suhu, yang berpengaruh besar terhadap sifat mekaniknya. Perubahan struktur ini antara lain:

- a. Ferrit ($\alpha\text{-Fe}$): memiliki struktur BCC, stabil pada suhu kamar, bersifat lunak dan magnetik.
- b. Austenit ($\gamma\text{-Fe}$): memiliki struktur FCC, terbentuk saat besi dipanaskan pada suhu tertentu.
- c. Martensit: terbentuk dari austenit yang didinginkan dengan sangat cepat. Struktur ini sangat keras namun juga getas.

Transformasi ini dimanfaatkan dalam teknik pengerasan logam untuk meningkatkan kekuatan komponen mesin.

5. Logam Paduan dan Ketahanannya terhadap Korosi

Zhu et al. (2021) juga menekankan bahwa logam murni pada umumnya tidak memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang memadai untuk aplikasi teknik. Oleh karena itu, logam sering dipadukan dengan unsur lain seperti kromium, nikel, atau molibdenum untuk meningkatkan sifat-sifat tersebut.

Menurut Rezandy (2019), jenis logam paduan seperti stainless steel 304 dan stainless steel 316 sangat umum digunakan di kapal karena ketahanannya terhadap lingkungan laut. Stainless steel 304 memiliki kandungan kromium 18% dan nikel 8%, sedangkan stainless steel 316 mengandung tambahan molibdenum yang membuatnya lebih tahan terhadap ion klorida, sehingga cocok digunakan pada sistem pipa air laut.

D. Korosi Oleh Mikroba

Korosi mikrobiologis atau *Microbiologically Influenced Corrosion (MIC)* merupakan jenis korosi yang disebabkan atau dipercepat oleh aktivitas mikroorganisme, terutama bakteri. MIC menjadi perhatian penting dalam industri maritim karena dapat menyebabkan kerusakan serius pada sistem perpipaan (*piping system*), tangki (*tank*), dan struktur baja kapal (*ship's steel structures*).

Menurut Lis, Krysa, dan Wiecek (2020), mikroba dapat menimbulkan korosi melalui proses metabolisme yang menghasilkan senyawa-senyawa korosif (*corrosive compounds*) seperti sulfida (*sulfides*), asam organik (*organic acids*), dan *biofilm* yang mengganggu distribusi oksigen serta mempercepat reaksi elektrokimia pada permukaan logam (*metal surface*).

1. Jenis Mikroorganisme Penyebab MIC (*Types of Microorganisms Causing MIC*)

Beberapa jenis mikroorganisme yang umum terlibat dalam MIC antara lain:

a. Bakteri Pereduksi Sulfat (*Sulfate Reducing Bacteria / SRB*)

SRB seperti *Desulfovibrio desulfuricans* merupakan kelompok bakteri anaerob yang menggunakan ion sulfat (*sulfate ions*) sebagai akseptor elektron dan menghasilkan hidrogen sulfida (*hydrogen sulfide / H₂S*) sebagai produk sampingan. H₂S ini sangat korosif terhadap logam seperti baja karbon (*carbon steel*), membentuk besi sulfida (*iron sulfide / FeS*) yang bersifat rapuh.

b. Bakteri Pengoksidasi Besi dan Sulfur (*Iron and Sulfur Oxidizing Bacteria*)

Bakteri seperti *Gallionella* dan *Ferrobacillus ferrooxidans* memanfaatkan oksidasi besi (*iron oxidation*) sebagai sumber energi. Aktivitas ini menghasilkan lapisan oksida yang bersifat asam (*acidic oxide layer*), mempercepat terbentuknya korosi lokal (*localized corrosion*) seperti *Pitting*.

c. Bakteri Penghasil Metana (*Methanogenic Bacteria / Methanogens*)

Bakteri metanogenik adalah organisme anaerob yang menghasilkan metana (*methane / CH₄*) dari reduksi karbon dioksida dengan hidrogen. Walaupun korosi yang ditimbulkan cenderung ringan, keberadaannya tetap menurunkan efisiensi sistem dan mempercepat kerusakan jangka panjang.

d. Bakteri Pengoksidasi Nitrat dan Amonium (*Nitrate- and Ammonium-Oxidizing Bacteria*)

Bakteri ini mengoksidasi nitrat atau amonium menjadi senyawa seperti asam nitrat (*nitric acid*) yang dapat menurunkan pH dan mempercepat korosi.

2. Mekanisme MIC pada Baja (*Mechanism of MIC in Steel*)

MIC terjadi melalui beberapa mekanisme sebagai berikut:

a. Pembentukan *biofilm* (*Biofilm Formation*)

Mikroorganisme membentuk lapisan *biofilm* yang menciptakan lingkungan mikrolokal dengan konsentrasi oksigen rendah (*oxygen-depleted zones*) dan pH tidak stabil, menyebabkan terjadinya *Pitting* atau korosi lokal.

b. Produksi Senyawa Korosif (*Corrosive Metabolite Production*)

Produk metabolisme mikroba seperti H₂S, asam organik, dan CO₂ bereaksi dengan logam dan mempercepat proses degradasi permukaan logam (*metal degradation*).

c. Efek Diferensiasi Konsentrasi Oksigen (*Differential Aeration Cell Effect*)

Variasi konsentrasi oksigen yang terbentuk di bawah *biofilm* menciptakan sel galvanik (*galvanic cell*) yang menyebabkan area tertentu menjadi anoda dan mengalami korosi lebih cepat.

3. Lingkungan yang Mendukung MIC (*Environments Favoring MIC*)

MIC umumnya terjadi pada lingkungan dengan kondisi sebagai berikut:

- a. Suhu antara 10–40°C (*temperature range*).
- b. pH netral hingga asam ringan (sekitar 5–7).
- c. Keberadaan air laut (*seawater*), bahan organik (*organic matter*), dan ion logam (*metal ions*).
- d. Sistem tertutup atau stagnan seperti pipa ballast, tangki bahan bakar (*fuel tanks*), dan sistem pendingin (*cooling systems*).

4. Dampak MIC terhadap Sistem Kapal (*Impact of MIC on Ship Systems*)

MIC dapat menyebabkan kerusakan sistem secara signifikan, di antaranya:

- a. Kebocoran pipa (*pipe leakage*) akibat *Pitting* atau korosi retakan (*cracking*).
- b. Penyumbatan (*blockage*) akibat penumpukan *biofilm* atau produk korosi.
- c. Kegagalan struktur (*structural failure*) pada tangki atau sistem pipa.
- d. Kerugian operasional (*operational loss*) berupa biaya perbaikan dan waktu henti operasional (*downtime*).

E. Mekanisme Terjadinya Korosi

Menurut Guimarães et al. (2021), mekanisme terjadinya korosi logam terjadi dalam beberapa tahap dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar logam tersebut. Reaksi korosi pada dasarnya adalah reaksi elektrokimia yang berlangsung dalam dua bagian besar, yaitu

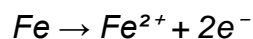
reaksi anodik dan reaksi katodik, yang saling melengkapi dalam satu sel elektrokimia.

1. Reaksi Anodik dan Katodik

Dalam reaksi korosi, logam bertindak sebagai anoda dan mengalami oksidasi, sementara reaksi reduksi terjadi di bagian katoda. Kedua proses ini terjadi secara simultan di lingkungan elektrolit, seperti air laut.

a. Reaksi Anodik (*Anodic Reaction*)

Di sisi anoda, logam melepaskan elektron dan berubah menjadi ion:

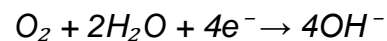


Reaksi ini menyebabkan logam larut ke dalam larutan, meninggalkan kekosongan atau kerusakan pada permukaan logam.

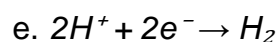
b. Reaksi Katodik (*Cathodic Reaction*)

Elektron yang dilepaskan dari anoda kemudian digunakan untuk mereduksi zat lain dalam lingkungan, misalnya:

c. Dalam media netral atau basa:



d. Dalam media asam:



Proses ini dapat menciptakan kondisi mikro galvanik pada permukaan logam, di mana bagian-bagian logam menjadi anoda dan katoda mikro yang mempercepat laju degradasi secara lokal.

2. Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Laju atau kecepatan korosi sangat bergantung pada berbagai faktor lingkungan dan fisik. Faktor-faktor tersebut antara lain:

a. pH Larutan

Menurut Guimarães et al. (2021), pH merupakan salah satu faktor paling berpengaruh. Pada pH rendah (asam), reaksi korosi cenderung lebih agresif. Sementara pada pH tinggi (basa), dapat terjadi *Passivation* atau pembentukan lapisan pelindung.

b. Konsentrasi Oksigen

Oksigen terlarut di dalam air berperan penting dalam reaksi katodik. Kekurangan oksigen di suatu titik permukaan logam dapat menyebabkan perbedaan potensial dan memicu korosi lokal, seperti *Pitting* dan *Crevice corrosion*.

c. Ion Cl^- (Klorida)

Ion klorida dalam air laut dapat menembus lapisan pelindung logam dan mempercepat reaksi korosi, terutama pada logam yang seharusnya tahan karat seperti stainless steel.

d. Temperatur

Suhu tinggi meningkatkan laju reaksi kimia dan mempercepat korosi. Mesin kapal yang beroperasi terus-menerus dalam suhu tinggi sangat rentan terhadap korosi jika sistem pendinginnya tidak optimal.

e. Aliran Fluida (*Flow rate*)

Aliran air laut atau air pendingin yang cepat dan bergolak dapat menyebabkan jenis korosi yang disebut *Erosion corrosion*, karena lapisan pelindung logam terkikis secara mekanis.

f. Struktur Permukaan Logam

Permukaan logam yang kasar, memiliki celah sempit, atau tidak bersih dapat memicu akumulasi ion korosif dan mikroorganisme, meningkatkan risiko korosi lokal.

3. Peran pH dalam Proses Korosi

Guimarães et al. (2021) menjelaskan bahwa pH tidak hanya memengaruhi jenis reaksi, tetapi juga menentukan apakah korosi berlangsung cepat atau lambat:

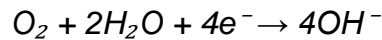
a. $\text{pH} \leq 4$ (Sangat Asam)

1) Reaksi dominan: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

2) Pada pH ini, lapisan oksida pelindung logam larut, menyebabkan permukaan logam terekspos langsung ke lingkungan agresif, meningkatkan korosi.

b. pH 4–10 (Netral hingga Basa Moderat)

1) Reaksi dominan:



2) Pada kisaran ini, laju korosi lebih stabil karena adanya lapisan pelindung oksida, meskipun masih dapat terjadi korosi seragam (*Uniform corrosion*).

c. pH > 10 (Basa Tinggi)

1) Terjadi pembentukan lapisan pasif seperti $Fe(OH)_3$ yang sangat efektif menahan korosi. Namun, jika pH terlalu tinggi (pH > 14), ion-ion seperti $HFeO_2^-$ dapat terbentuk dan merusak lapisan pasif, menyebabkan korosi meningkat kembali.

Perubahan pH yang drastis, baik akibat reaksi kimia atau kontaminasi, harus diantisipasi dalam sistem pendinginan kapal agar sistem tetap terlindungi dari kerusakan akibat korosi.

4. Dampak Korosi dalam Sistem Permesinan Kapal

Korosi yang tidak dikendalikan dengan baik dapat menimbulkan konsekuensi serius, antara lain:

- Penurunan efisiensi sistem pendingin akibat kebocoran pipa.
- Kerusakan dini pada pompa dan komponen mesin lainnya.
- Kegagalan operasi kapal, yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi besar.

Peningkatan risiko kecelakaan atau pencemaran lingkungan akibat kebocoran bahan kimia atau bahan bakar.

Oleh karena itu, pemahaman tentang mekanisme korosi sangat penting bagi perwira teknika di kapal agar dapat mengambil langkah pencegahan yang tepat dan efisien.

F. Pengaruh pH terhadap Korosi

Korosi merupakan salah satu penyebab utama kerusakan pada material logam di kapal, terutama dalam sistem perpipaan, tangki, dan mesin. Salah satu faktor lingkungan yang paling signifikan memengaruhi korosi adalah tingkat keasaman atau kebasaan larutan, yang dikenal

dengan istilah pH. Dalam sistem teknik perkapalan, seperti pendingin mesin, sistem ballast, dan saluran air laut, nilai pH dari cairan yang bersentuhan dengan logam harus dikontrol secara ketat untuk mencegah kerusakan akibat korosi.

Menurut Guimarães et al. (2021), nilai pH sangat berpengaruh terhadap jenis reaksi kimia yang terjadi pada permukaan logam, apakah reaksi tersebut mendorong terbentuknya lapisan pelindung atau justru mempercepat pelarutan logam. Dengan memahami pengaruh pH terhadap logam, teknisi dan perwira mesin dapat menentukan tindakan pencegahan yang paling efektif untuk memperpanjang umur pakai peralatan di atas kapal.

1. Apa Itu pH dan Mengapa Penting?

pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam suatu larutan.

Skala pH berkisar dari 0 hingga 14:

- a. pH 0–6 = Asam (contoh: air limbah, air laut tercemar, bahan bakar terkontaminasi)
- b. pH 7 = Netral (contoh: air murni)
- c. pH 8–14 = Basa (contoh: cairan pembersih, air pendingin dengan inhibitor)

Logam seperti baja dan besi mudah bereaksi di lingkungan dengan pH ekstrem (terlalu rendah atau terlalu tinggi), sehingga pH yang stabil menjadi kunci dalam pengendalian korosi.

2. Korosi pada pH Rendah (Asam)

Di lingkungan asam, logam mengalami korosi yang sangat agresif.

Beberapa penyebabnya:

- a. Lapisan pelindung logam larut dengan cepat, meninggalkan permukaan logam yang langsung terekspos terhadap lingkungan.
- b. Reaksi ini mempercepat pelepasan elektron dari logam, sehingga mempercepat proses oksidasi (karat).

Contoh nyata: Pipa pembuangan di kamar mesin yang sering menerima cairan dari bahan kimia, oli, atau air kondensat yang bersifat

asam akan lebih cepat korosi jika tidak diberi lapisan pelindung atau tidak terbuat dari bahan tahan asam seperti stainless steel tipe tertentu.

Guimarães et al. (2021) menjelaskan bahwa pada $\text{pH} \leq 4$, tidak hanya korosi yang meningkat, tetapi gas hidrogen yang terbentuk juga dapat memicu terjadinya korosi retakan tegangan (*hydrogen-induced cracking*) pada logam yang sedang dalam kondisi tertekan.

3. Korosi pada pH Netral hingga Sedikit Basa (pH 4–10)

Pada kondisi ini biasanya terbentuk endapan yang dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung sementara. Namun, lapisan ini tidak selalu stabil, terutama bila terdapat garam (klorida), aliran air deras, atau suhu tinggi.

Contoh di kapal: Pada sistem sirkulasi air pendingin (*cooling water system*), pH yang terkontrol antara 7–9 sering kali mampu mencegah korosi, terutama jika ditambah inhibitor kimia. Tapi jika air pendingin tercampur air laut atau bahan kimia dari luar, pH bisa turun dan menyebabkan korosi lokal.

4. Korosi pada pH Tinggi (Basa Kuat)

Dalam kondisi pH tinggi (>10), logam cenderung mengalami pasivasi, yaitu terbentuk lapisan pelindung yang memperlambat korosi. Namun, jika terlalu basa, lapisan tersebut bisa rusak sehingga korosi muncul kembali.

Contoh: Tangki penampung bahan kimia pembersih dek (alkali kuat) jika bocor atau tidak memiliki ventilasi yang baik, bisa menyebabkan korosi cepat di bagian dasar tangki, terutama jika logamnya tidak dirancang tahan terhadap basa ekstrem.

5. Peran pH dalam Pencegahan Korosi di Kapal

Pemantauan dan pengaturan pH menjadi langkah strategis dalam manajemen sistem teknik di atas kapal:

- a. Menambahkan inhibitor pH dalam sistem pendingin untuk menjaga kisaran aman.

- b. Menggunakan material tahan korosi, seperti tembaga atau stainless steel pada area dengan pH ekstrem.
- c. Melakukan pengukuran pH berkala, terutama pada air pendingin, tangki ballast, dan saluran pembuangan.
- d. Menghindari pencampuran cairan asing (limbah, air laut tercemar) ke dalam sistem yang sensitif.

Bahkan perubahan pH sekecil 1–2 angka bisa berarti perbedaan antara logam bertahan 10 tahun atau rusak dalam hitungan bulan.

G. Sistem Pipa

1. Pengertian Sistem Pipa

Sistem pipa (*piping system*) adalah salah satu bagian terpenting dari sistem mekanikal di atas kapal, yang bertugas untuk menyalurkan fluida seperti bahan bakar, oli pelumas, air laut, air tawar, udara tekan, hingga cairan limbah ke berbagai unit dan mesin. Sistem ini terdiri dari jaringan pipa dan perlengkapannya, termasuk pompa, katup, sambungan, dan instrumen pengatur tekanan dan aliran.

Menurut Supriyanto (2020), sistem perpipaan di kapal memiliki peranan sangat krusial dalam menghubungkan berbagai komponen mesin dan instalasi yang membutuhkan sirkulasi fluida secara berkesinambungan. Tanpa sistem pipa yang terencana dan terpelihara dengan baik, kinerja mesin kapal akan menurun dan bisa menyebabkan kerusakan besar.

Dalam dunia perkapalan modern, sistem pipa telah didesain untuk menghadapi kondisi ekstrem seperti tekanan tinggi, suhu ekstrem, getaran dari mesin, serta lingkungan korosif akibat air laut. Oleh karena itu, desain dan pemeliharaan sistem ini harus mengikuti standar teknis internasional seperti ASME (American Society of Mechanical Engineers), IMO (International Maritime Organization), dan regulasi SOLAS (Safety of Life at Sea).

2. Fungsi Sistem Pipa di Kapal

Fungsi sistem pipa di kapal sangat beragam dan menyentuh

hampir seluruh aspek operasional kapal. Fungsi-fungsi utamanya mencakup:

- a. Transportasi fluida vital seperti bahan bakar, pelumas, dan pendingin untuk mesin.
- b. Distribusi air laut sebagai media pendingin dan untuk sistem pemadam kebakaran.
- c. Sistem ballast untuk menjaga stabilitas kapal dengan mengisi atau mengosongkan tangki air laut.
- d. Sistem sanitasi yang mengalirkan air bersih dan membuang air limbah.
- e. Sistem udara tekan untuk penggerak pneumatik, start mesin, dan kontrol otomatis.

Fungsi-fungsi ini membutuhkan sistem pipa yang tidak hanya tahan terhadap tekanan dan suhu, tetapi juga tahan terhadap korosi dan keausan akibat fluida kimia atau gesekan internal.

3. Komponen-Komponen Sistem Pipa

Komponen sistem pipa tidak hanya mencakup pipa sebagai saluran utama, tetapi juga melibatkan sejumlah alat pendukung:

a. Pipa (Pipe)

Terbuat dari bahan logam atau plastik, pipa adalah media utama yang mengalirkan fluida. Ukurannya tergantung dari kapasitas aliran yang dibutuhkan.

b. Fitting dan Sambungan

Berfungsi untuk mengatur arah, menyambung antar pipa, atau mengubah ukuran diameter. Termasuk dalam kategori ini adalah *elbow, tee, reducer, dan coupling*.

c. Katup (Valve)

Digunakan untuk mengatur, menghentikan, atau mengarahkan aliran fluida. Ada berbagai jenis katup: *gate valve, globe valve, check valve, dan ball valve*, masing-masing digunakan sesuai kebutuhan sistem.

d. Pompa (Pump)

Pompa memberikan energi agar fluida dapat mengalir melalui sistem. Pompa harus disesuaikan dengan jenis fluida dan kebutuhan tekanan.

e. Instrumen Monitoring

Seperti *pressure gauge*, *flow meter*, dan *temperature sensor*, alat ini digunakan untuk memantau dan mengontrol kondisi fluida dalam pipa.

f. Flange dan Gasket

Untuk penyambungan pipa yang memudahkan pembongkaran. Gasket digunakan untuk mencegah kebocoran di sambungan tersebut.

Semua komponen ini harus dipasang dengan presisi tinggi karena kesalahan pemasangan bisa menyebabkan kebocoran, getaran berlebih, atau bahkan kegagalan sistem.

4. Jenis-Jenis Sistem Pipa di Kapal

Sistem pipa di kapal terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan fungsi dan fluida yang dialirkan:

a. Sistem Air Laut

Menggunakan air laut untuk mendinginkan mesin dan digunakan dalam sistem pemadam kebakaran. Sistem ini sangat rentan terhadap korosi.

b. Sistem Air Tawar

Air tawar digunakan sebagai pendingin mesin dan air konsumsi. Sistem ini biasanya merupakan sistem tertutup agar efisien dan tidak terkontaminasi.

c. Sistem Bahan Bakar

Meliputi *transfer system*, *purification system*, dan *service system* untuk memasok bahan bakar ke mesin utama dan mesin bantu.

d. Sistem Udara Tekan

Berfungsi untuk menggerakkan komponen pneumatik, serta start mesin diesel melalui tekanan udara.

e. Sistem Bilga dan Ballast

Sistem bilga berfungsi mengeluarkan air dari ruang mesin dan ruang tertutup, sedangkan sistem ballast menjaga keseimbangan kapal.

f. Sistem Limbah dan Sanitasi

Mengalirkan air kotor dari kamar mandi, dapur, dan toilet ke tangki pengolahan limbah.

5. Material Pipa

Pemilihan material pipa sangat penting agar sesuai dengan kondisi kerja dan jenis fluida. Material umum antara lain:

- a. Baja karbon untuk tekanan tinggi dan bahan bakar.
- b. Stainless steel untuk air tawar dan fluida korosif ringan.
- c. PVC dan CPVC untuk air limbah dan sistem ventilasi.

Setiap material memiliki karakteristik khusus, misalnya tahan terhadap suhu tinggi, anti-korosi, atau ringan dan fleksibel. Material harus memenuhi standar klasifikasi dan aman untuk digunakan dalam jangka panjang.

6. Metode Penyambungan dan Instalasi

Metode penyambungan utama pada sistem pipa meliputi:

- a. Welding (pengelasan) untuk sambungan permanen dan kuat.
- b. Flanged connection untuk sambungan yang mudah dibongkar pasang.
- c. Threaded joint untuk pipa kecil dan tekanan rendah.

Dalam instalasinya, sistem pipa harus dipasang dengan mempertimbangkan arah aliran, kemudahan perawatan, serta kestabilan terhadap getaran mesin. Jalur pipa juga harus memiliki *support bracket* agar tidak mudah bergeser atau pecah akibat tekanan dan guncangan.

7. Perawatan Sistem Pipa

Perawatan sistem pipa mencakup:

- a. Pemeriksaan visual untuk mendeteksi kebocoran dan korosi.
- b. Penggantian gasket dan seal secara berkala.
- c. Pembersihan saringan dan filter agar tidak terjadi sumbatan.
- d. Uji tekanan (*hydrotest*) untuk memastikan kekuatan sambungan.
- e. Penggunaan inhibitor korosi untuk memperpanjang usia pipa.

Korosi adalah masalah utama dalam sistem perpipaan, terutama pada sistem air laut. Oleh karena itu, perawatan dan pemilihan material sangat menentukan ketahanan jangka panjang dari sistem ini.

Menurut Hukum Pascal : Ketika tekanan pada bagian manapun suatu fluida yang tertutup berubah, maka setiap bagian fluida juga berubah dengan jumlah yang sama. Peraturan dan perhitungan instalasi pipa, terdapat pada Rules BKI volume III tahun 2013 tentang *Machinery Instalation*. Sistem pipa merupakan bagian utama suatu sistem yang menghubungkan titik dimana fluida disimpan ke titik pengeluaran semua pipa baik untuk memindahkan tenaga atau pemompaan harus dipertimbangkan secara teliti karena keamanan dari sebuah kapal akan tergantung pada susunan perpipaaan seperti hanya pada perlengkapan kapal lainnya (Supriyanto. 2020)

8. Macam-macam pipa dan bahannya

Dikutip dari Rezandy (2019) Pipa secara umum di kelompokkan menjadi dua bagian, yaitu:

- a. Jenis pipa tanpa sambungan (pembuatan pipa tanpa sambungan pengelasan)
- b. Jenis pipa dengan sambungan (pembuatan pipa dengan pengelasan)

Bahan-bahan pipa secara umum :

Bahan-bahan pipa yg dimaksud disini adalah struktur bahan baru pipa tersebut yang dapat dibagi secara umum sebagai berikut:

1) Galvanees

Bahan pipa jenis ini digunakan untuk suplai air laut (sistem Ballast kapal dan sistem Bilga kapal).

2) Ferro Nikel

Bahan pipa jenis ini digunakan sebagai pelapis produk besi antikorosi.

3) Stainless Steel

Bahan pipa jenis ini adalah baja tahan karat atau lebih dikenal dengan Stainless steel adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% Kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam).

4) PVC (Paralon)

Pipa PVC adalah produk pipa termoplastik pertama yang digunakan untuk saluran air. Seperti namanya, Pipa ini terbuat dari bahan baku Polivinil Klorida atau biasa dikenal dengan istilah PVC atau pipa uPVC. Material ini merupakan salah satu polimer termoplastik urutan ketiga.

5) Chrom Moly

Pipa berbahan Chromoly merupakan frame dengan bahan dasar steel (baja) dengan campuran chromium dan molybdenum. Frame chromoly karakternya hampir mirip dengan Hi-Ten Steel, namun lebih baik.

6) *Carbon steel*

Pipa berbahan ini adalah material logam yang Baja karbon adalah material logam yang terbentuk dari unsur utama Fe dan unsur kedua yang berpengaruh pada sifat-sifatnya adalah karbon, sedangkan unsur yang lain berpengaruh menurut prosesnya.

7) Carbon Moly

Sedang bahan-bahan pipa secara khusus dapat

dikelompokkan sebagai berikut :

a) Fiberglass

Bahan pipa jenis Fiberglass atau kaca serat atau serat gelas sederhananya merupakan kaca cair yang ditarik menjadi serat tipis. Serat ini bisa dipintal dan dicampur dengan resin sehingga menjadi bahan yang kuat.

b) Aluminium (Aluminium)

Bahan pipa jenis aluminium adalah Bahan baku yang dibuat untuk dilebur menjadi bahan jenis aluminium yaitu alumina diperoleh melalui impor dari Australia. Alumina diproduksi melalui proses Bayer dari bijih bauksit.

c) Wrought Iron (besi tanpa tempa)

Bahan pipa jenis Wrought Iron atau yang dikenal dengan Besi tempa adalah salah satu dari dua jenis besi yang diperoleh melalui proses peleburan selain besi cor (Cast Iron). Wrought Iron adalah jenis besi yang memiliki karakteristik lunak, ulet, dan berserat yang dihasilkan dari massa gumpalan besi yang relatif murni yang sebagian dikelilingi oleh terak. Digunakan pada pembuatan pipa karena ketahanan korosi dan kelelahan yang baik serta kualitas pengelasan dan threading yang lebih baik.

d) Cooper (Tembaga)

Pipa jenis ini tidak boleh digunakan pada temperatur lebih dari 406 °F dan tidak boleh digunakan pada super heater (uap dan panas lanjut).

e) Nickel cooper = Monel (timah tembaga)

Pipa berbahan monel adalah campuran dua metal atau yang disebut alloy.

f) Nickel chrom iron = inconel (besi timah chrom)

Pipa berbahan Logam Inconel adalah superalloy yang berbasis nikel (nickel-base alloys) dengan tambahan

kandungan unsur Chrom (Cr) dan Besi (Fe), sehingga kadang disebut juga superalloy yang berbasis nikelkromium-besi (Ni-Cr-Fealloys) (Rezandy,2019).

Macam – macam pipa yang ada di kapal Pipa adalah suatu batang silindar berongga yang dapat berfungsi untuk dilalui atau mengalirkan zat cair, uap, gas ataupun zat padat yang dapat dialirkan yang berjenis serbuk/tepung. Untuk pembuatan pipa baja dapat dibuat dengan beberapa metoda antara lain seamless pipe, butt welded pipe dan spiral welded pipe. Pembuatan pipa disesuaikan dengan kebutuhan dan dibedakan dari batas kekuatan tekanan, ketebalan dinding pipa, temperatur zat yang mengalir, jenis material berkaitan dengan korosi dan kekuatan pipa tersebut.

Untuk instalasi pipa dikapal tentu pipa-pipa tersebut tidak hanya pipa lurus melainkan terdapat belokan , cabang, mengecil, naik dan turun. Panjang dari pipa pun beraneka ragam ada yang panjang ataupun pendek. Berkaitan dengan hal ini maka kita akan mengenal beberapa jenis sambungan pipa seperti sambungan ulir, sambungan shock , sambungan dengan las (butt welded) dan sambungan dengan menggunakan flange. Selain itu dikenal juga istilah belokan atau ellbow, cabang T atau tee, cabang “Y” dan ada juga pipa yang diameternya mengecil disebut reducer.

Pada setiap kapal yang memiliki perlengkapan permesinan yang terdiri dari Mesin Induk , Mesin Bantu dan pompa-pompa atau kapal yang tidak dilengkapi Mesin Penggerak namun memiliki permesinan lain dan pompa-pompa, selalu dilengkapi dengan instalasi perpipaan. Instalasi pipa dikapal digunakan untuk mengalirkan fluida dari satu *tanki*/kompartmen ke *tanki* lain, atau dari satu tangki ke peralatan permesinan dikapal, atau mengalirkan fluida dari kapal keluar kapal atau sebaliknya. Selain itu terdapat instalasi pipa yang lain berfungsi mengalirkan gas non cair seperti pipa gas buang, pipa sistim CO₂, atau instalasi pipa yang mengalirkan udara dan uap bertekanan. Jenis

pipa yang terdapat dikapal memiliki beragam jenis ditinjau dari material pipa sesuai dengan kegunaannya. Material pipa dikapal pada umumnya terbuat dari baja galvanis, baja hitam, baja campuran, stainless steel, kuningan, tembaga ataupun aluminium. Pada kegunaan tertentu terdapat pula pipa yang terbuat dari bahan non metal seperti rubber hose, gelas dan PVC.

Instalasi pipa di kapal memiliki beberapa sistem perpipaan sesuai dengan fungsinya.

a. Sistem instalasi pipa air laut (*Sea water piping system*)

Instalasi pipa air laut digunakan untuk mengalirkan air laut dari satu *tanki* ke *tanki* lain, dari luar ke dalam kapal, dari kapal ke laut dan lain sebagainya. Pengaliran air laut menggunakan sarana pompa, dapat berupa pompa hisap atau pompa tekan, pompa ini disebut Pompa air laut/Sea water pump. Selain pompa pengaturan aliran instalasi air laut dikontrol dengan menggunakan sistem katub/valve. Pompa air laut pada umumnya menggunakan jenis pompa sentrifugal disesuaikan dengan kebutuhannya.

b. Sistem instalasi pipa bahan bakar (*Fuel oil piping system*)

Instalasi pipa Bahan Bakar/Fuel Oil digunakan untuk mengalirkan kebutuhan bahan bakar dari *tanki* bahan bakar ke sistem di permesinan dan dari luar ke dalam kapal pada saat pengisian Bahan Bakar. Pengaliran bahan bakar menggunakan sarana pompa, dapat berupa pompa Bahan bakar atau pompa transfer bahan bakar, pompa ini disebut Pompa bahan bakar/Fuel Oil pump and Fuel Oil Transfer pump. Selanjutnya dari pompa pengaturan aliran bahan bakar juga dikontrol dengan menggunakan sistem katub/valve.

c. Sistem instalasi pipa air kotor (*Sewage piping system*)

Instalasi pipa Air Kotor/*sewage piping system* digunakan untuk mengalirkan air kotor dan air limbah dikapal dari dan ke *tanki* Sewage di dalam kapal. Pengaliran sewage menggunakan sarana

pompa, berupa pompa Sewage/Sewage Pump. Air kotor/Sewage berasal dari buangan water closet dari setiap ruang akomodasi, yang mengalir ke *tanki* sewage secara gravity atau dengan tekanan air bilas/flushing , selanjutnya dari *tanki* sewage akan dipompa keluar kapalsesuai dengan peraturan pembuangan limbah. Pengaturan aliran air kotor juga dikontrol dengan menggunakan sistim katub/valve.

d. Sistem instalasi pipa air tawar (*Fresh water piping system*)

Istalasi pipa air Tawar/Fresh water digunakan untuk mengalirkan air Tawar dari satu *tanki* ke sistim yang dibutuhkan, dari luar ke dalam kapal pada saat pengisian Air Tawar , dari *tanki* ke katup-katup didaerah ruang akomodasi untuk kebutuhan orang dikapal dan lain sebagainya. Pengaliran air Tawar menggunakan sarana pompa, dapat berupa pompa hisap atau pompa tekan, pompa ini disebut Pompa air Tawar/Fresh water pump. Selain pompa pengaturan aliran instalasi air Tawar dikontrol dengan menggunakan sistim katub/valve. 5. Sistem instalasi lainnya Selain sistim Instalasi pipa yang utama tersebut diatas masih ada beberapa instalasi pipa yang lain, diantaranya inatalasi pipa Minyak lumas, instalasi pipa Cargo (khusus untuk *Tanker*), Instalasi pipa pendingin mesin, instalasi pipa Udara, instalasi pipa Uap, dan instalasi pipa Bilga.

9. Pemilihan ukuran pipa

Dikutip Wicaksono (2018) dari Ukuran diameter dalam sebuah pipa ditentukan berdasarkan:

- a. Jenis fluida yang mengalir di dalam pipa.
- b. Jumlah volume fluida yang akan dipindahkan.
- c. Kecepatan aliran dari fluida yang akan dipindahkan, dimana perlu juga diperhatikan adanya tekanan akibat gesekan.
- d. Harga pipa, dimana semakin berat pipa harganya makin mahal.

Dengan demikian dapatlah disimpulkan bahwa:

- a. Makin besar penampang pipa makin tinggi harganya,
- b. Makin kecil penampang pipa, makin banyak pipa yang dibutuhkan, makin banyak pula tempat yang dibutuhkan, tetapi hal ini memberikan keuntungan karena pada penginstalasian pipa mudah diselipkan di tempat-tempat yang tidak terpakai,
- c. Makin kecil aliran fluida dalam pipa, makin kecil tahanannya dan dapat memberikan aliran yang laminar.
- d. Peralatan Sistem Pendingin Air Laut Dan Fungsinya.

H. Peralatan Sistem Pendingin Air Laut Dan Fungsinya.

1. Pengertian Sistem Pendingin Air Laut

Sistem pendingin air laut merupakan sistem yang digunakan untuk menyerap panas dari mesin kapal, terutama mesin induk dan mesin bantu, guna menjaga suhu kerja tetap dalam batas aman. Mesin kapal menghasilkan panas yang tinggi saat beroperasi, terutama akibat pembakaran bahan bakar dan gesekan komponen internal. Jika panas tersebut tidak dikendalikan, maka akan menyebabkan overheating yang dapat merusak komponen, mengurangi efisiensi kerja mesin, dan bahkan memicu kebakaran atau kegagalan sistem.

Menurut Supriyanto (2020), sistem pendingin di kapal sangat berperan dalam menjaga performa mesin tetap optimal dan memperpanjang umur pakainya. Sistem ini memastikan bahwa suhu kerja mesin selalu stabil, sehingga bahan bakar terbakar sempurna, pelumasan bekerja maksimal, dan keausan komponen berkurang.

Air laut digunakan karena ketersediaannya yang melimpah, kemudahan akses langsung dari lambung kapal, dan kemampuan menyerap panas yang cukup baik. Sistem pendingin air laut biasanya digabungkan dengan sistem air tawar tertutup (sistem sekunder) untuk mencegah air laut langsung bersentuhan dengan bagian dalam mesin.

2. Prinsip Kerja Sistem Pendingin Air Laut

Sistem pendingin air laut bekerja dengan mengambil air laut dari luar kapal melalui sea chest, kemudian menyaringnya, dan

mengalirkannya ke heat exchanger untuk menyerap panas. Setelah menyerap panas dari air tawar (yang telah bersirkulasi di dalam mesin), air laut kemudian dibuang kembali ke laut melalui pipa pembuangan (*overboard discharge*).

Secara sederhana, sistem ini mengikuti alur:

Sea chest → strainer → sea water pump → heat exchanger → *overboard discharge*

Air laut tidak secara langsung bersirkulasi dalam mesin, tetapi hanya berperan sebagai media pendingin yang menyerap panas dari air tawar melalui dinding-dinding pipa dalam heat exchanger. Prinsip ini menjaga bagian dalam mesin dari korosi dan pengendapan garam.

3. Komponen Utama Sistem Pendingin Air Laut

Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja secara terintegrasi:

a. Sea Chest

Sea chest adalah bagian dari lambung kapal yang dirancang untuk mengalirkan air laut ke dalam sistem pendingin. Komponen ini berada di bawah garis air kapal dan dilengkapi dengan pelindung berupa grating atau saringan kasar, yang berfungsi menyaring benda asing seperti plastik, rumput laut, atau ikan kecil agar tidak masuk ke sistem dan merusak pompa.

b. Strainer (Saringan Halus)

Strainer adalah alat penyaring yang berfungsi menyaring partikel kecil seperti pasir, lumpur, atau kotoran lainnya yang masih lolos dari sea chest. Pemasangan strainer sangat penting agar sistem tidak mengalami sumbatan dan komponen seperti pompa atau heat exchanger tidak cepat rusak.

c. Sea Water Pump (Pompa Air Laut)

Pompa ini bertugas menyedot air laut dari sea chest dan mengalirkannya ke sistem pendingin. Jenis pompa yang digunakan biasanya adalah centrifugal pump karena mampu menghasilkan

aliran fluida yang stabil. Pompa ini harus dirancang untuk tahan terhadap air laut yang bersifat korosif, sehingga bahan pembuatannya biasanya dari logam tahan karat seperti stainless steel atau kuningan laut.

d. Heat Exchanger (Penukar Panas)

Heat exchanger adalah komponen utama tempat pertukaran panas terjadi. Di sini, air laut menyerap panas dari air tawar yang telah melewati bagian mesin. Jenis heat exchanger yang umum digunakan adalah:

- 1) *Shell and Tube*: Air tawar mengalir dalam tabung, sedangkan air laut mengalir di sekelilingnya.
- 2) *Plate Type*: Menggunakan pelat logam berlapis-lapis yang efisien untuk transfer panas.

Heat exchanger sangat menentukan efektivitas sistem pendingin, dan harus dijaga kebersihannya dari kerak dan korosi.

e. *Overboard discharge* (Pembuangan Keluar)

Setelah menyerap panas, air laut dibuang ke laut melalui saluran pembuangan. Saluran ini juga dilengkapi dengan katup satu arah agar air laut tidak masuk kembali saat kapal dalam kondisi miring atau ombak tinggi.

f. Thermometer dan Pressure Gauge

Digunakan untuk memantau suhu dan tekanan air laut dalam sistem. Jika tekanan rendah atau suhu terlalu tinggi, maka menandakan ada gangguan seperti sumbatan atau kerusakan pompa.

4. Fungsi Sistem Pendingin Air Laut dalam Operasi Mesin

Fungsi dari sistem ini sangat penting untuk kelangsungan operasional mesin, antara lain:

- a. Menjaga suhu kerja mesin agar tetap optimal. Mesin diesel kapal biasanya bekerja pada suhu sekitar 85–95°C.
- b. Meningkatkan efisiensi bahan bakar karena suhu mesin yang stabil

membuat pembakaran menjadi lebih sempurna.

- c. Mencegah kerusakan komponen mesin akibat ekspansi logam karena suhu tinggi.
- d. Memperpanjang umur mesin dengan mengurangi keausan dan memperkecil risiko overheating.
- e. Mendukung pendinginan sistem lainnya, seperti oil cooler dan air compressor cooler.

5. Permasalahan Umum dalam Sistem Pendingin Air Laut

Sistem ini sering menghadapi beberapa kendala, seperti:

- a. Korosi, karena air laut mengandung garam dan oksigen terlarut tinggi. Komponen logam seperti pipa dan tabung heat exchanger rentan terhadap korosi jika tidak dilindungi.
- b. Tersumbatnya strainer dan heat exchanger, akibat kotoran laut yang terbawa masuk.
- c. Kebocoran pada pompa atau sambungan pipa, karena getaran mesin atau korosi.
- d. Kerusakan pompa, jika baling-baling (*impeller*) aus atau tertahan oleh kotoran keras.

Menurut Ziliwu (2020), pompa air laut harus diperiksa secara berkala untuk memastikan karet baling tidak aus, tidak ada kebocoran pada rumah pompa, dan aliran air lancar. Ia juga menekankan pentingnya membersihkan strainer dan saluran masuk agar tidak terjadi sumbatan.

6. Upaya Pencegahan dan Perawatan

Beberapa langkah pencegahan yang dapat dilakukan antara lain:

- a. Membersihkan strainer setiap hari atau sesuai jam kerja mesin.
- b. Menggunakan material tahan korosi, seperti tembaga-nikel, stainless steel, atau pelapisan khusus pada bagian pipa.
- c. Melapisi permukaan logam dalam heat exchanger dengan cat pelindung antikorosi.
- d. Menggunakan proteksi katodik, yaitu pemasangan anoda seng atau

aluminium yang dikorbankan untuk menghambat korosi pada logam utama sistem.

- e. Monitoring suhu dan tekanan secara berkala agar gangguan bisa dideteksi lebih awal.

Sistem pendingin air laut merupakan bagian krusial dalam menjaga kestabilan suhu kerja mesin induk di kapal. Komponen-komponen di dalam mesin bekerja dalam suhu tinggi akibat proses pembakaran dan gesekan mekanik. Oleh karena itu, sistem pendingin bertugas menyerap dan membuang panas secara efisien. Namun, sistem ini tidak lepas dari berbagai risiko kerusakan, salah satunya adalah kebocoran pipa.

Kebocoran pada pipa air laut dapat mengganggu sirkulasi pendinginan dan menyebabkan penurunan efisiensi sistem, bahkan dalam beberapa kasus menyebabkan shutdown darurat mesin. Memahami penyebab kebocoran menjadi hal penting agar dapat dilakukan pencegahan dan penanganan secara tepat, cepat, dan efektif.

1. Penyebab Utama Kebocoran Pipa

a. Korosi

Korosi adalah kerusakan logam yang terjadi akibat reaksi kimia dengan lingkungannya. Dalam konteks kapal, korosi menjadi faktor paling dominan dalam kerusakan pipa air laut. Pipa dalam sistem pendingin bersinggungan langsung dengan air laut, yang mengandung ion-ion garam, oksigen terlarut, dan mikroorganisme laut yang bersifat sangat korosif.

Menurut Rezandy (2019), korosi dapat muncul dalam berbagai bentuk:

- 1) Korosi merata yang menyebar di seluruh permukaan logam,
- 2) Korosi lubang kecil (*Pitting*) yang bersifat lokal namun menembus dalam,
- 3) Korosi celah (*Crevice corrosion*) di antara sambungan pipa atau dudukan bracket,
- 4) Korosi galvanik, yaitu kerusakan akibat perbedaan potensial

antara dua logam berbeda yang bersentuhan dalam lingkungan elektrolit seperti air laut.

Jika korosi ini tidak ditangani sejak dini, maka akan menipiskan dinding pipa secara perlahan hingga akhirnya pecah atau bocor, terutama pada area sambungan, tikungan, atau daerah yang sering tergenang air laut.

b. Usia dan Umur Pemakaian Pipa

Semakin lama pipa digunakan, semakin tinggi kemungkinan terjadi kebocoran akibat penurunan ketebalan dan kekuatan logam. Material pipa memiliki batas umur teknis, tergantung jenis logam, kualitas pelapisan, dan kondisi lingkungan. Pipa yang sudah beroperasi lebih dari lima hingga sepuluh tahun tanpa peremajaan atau perawatan intensif, biasanya mulai menunjukkan tanda-tanda korosi dan kebocoran.

Dalam laporan kasus di kapal MV. Jian Rui 17 usia pipa yang melebihi 10 tahun menjadi faktor utama kebocoran berulang, meskipun perawatan rutin telah dilakukan.

c. Tekanan Sistem dan Getaran

Sistem pendingin bekerja dengan tekanan tertentu agar aliran air laut lancar ke seluruh bagian mesin. Jika terjadi lonjakan tekanan atau fluktuasi tekanan yang tidak stabil, maka sambungan pipa dapat retak dan mengalami kebocoran. Selain itu, getaran mekanik dari mesin induk atau pompa laut yang tidak teredam dengan baik juga menimbulkan fatigue pada sambungan pipa dan pengelasan, yang lamakelamaan menyebabkan kebocoran.

Tekanan berlebih juga dapat mendorong partikel-partikel kasar dari air laut ke dalam dinding pipa, sehingga mempercepat erosi dan korosi.

d. Kesalahan dalam Proses Instalasi

Pemasangan pipa yang tidak sesuai standar dapat menyebabkan titik-titik lemah pada sistem. Contohnya, sambungan

las yang tidak sempurna, pipa yang terlalu kaku tanpa expansion joint (untuk ekspansi termal), atau penyangga pipa yang kurang kuat sehingga menyebabkan pergeseran posisi akibat getaran. Pemasangan yang tidak lurus juga bisa menimbulkan tekanan pada sambungan sehingga mempercepat keausan.

2. Deteksi Kebocoran

Kebocoran harus segera dideteksi agar tidak berkembang menjadi kerusakan sistem menyeluruh. Deteksi dapat dilakukan melalui:

- a. Inspeksi visual rutin, yaitu dengan memeriksa adanya rembesan air, tetesan di sekitar sambungan, atau karat basah yang muncul pada badan pipa.
- b. Monitoring tekanan sistem, bila tekanan turun secara tiba-tiba, bisa mengindikasikan kebocoran.
- c. Perubahan suhu sistem, kebocoran menyebabkan penurunan efisiensi pendinginan, sehingga suhu mesin naik.
- d. Suara dan getaran abnormal, bisa muncul jika aliran air terganggu akibat adanya lubang atau retakan di pipa.

Menurut praktik di lapangan yang dijelaskan oleh Ziliwu (2020), kebocoran biasanya terlihat saat terdapat tetesan air laut dari bawah pipa atau genangan di area *tank top* yang tidak wajar.

3. Penanganan Kebocoran Pipa

Penanganan kebocoran tergantung pada tingkat keparahan dan posisi kebocoran. Umumnya terdiri dari:

- a. Perbaikan Sementara
 - 1) Menggunakan devcon atau lem baja: dipakai untuk menambal lubang kecil dengan tekanan rendah, tapi hanya bertahan sementara.
 - 2) Balutan darurat (rubber patch): digunakan untuk menghentikan aliran sebelum tindakan pengelasan dilakukan.
- b. Pengelasan (Welding Repair)

Untuk kebocoran menengah hingga besar yang masih bisa

diperbaiki tanpa mengganti pipa. Area sekitar bocor harus dibersihkan, dikikis (*grinding*), lalu dilas ulang secara menyeluruh.

c. Penggantian Pipa

Jika pipa sudah keropos, maka solusi terbaik adalah mengganti seluruh pipa atau segmen yang rusak. Langkah ini memerlukan penghentian sistem pendingin dan dilakukan saat kapal dalam kondisi aman atau saat sandar.

4. Pencegahan Terjadinya Kebocoran

Mencegah kebocoran lebih mudah dan murah dibanding memperbaikinya. Upaya yang disarankan meliputi:

- a. Melakukan inspeksi berkala, baik visual maupun menggunakan metode *ultrasonic thickness testing*.
- b. Membersihkan strainer dan saringan secara rutin agar tidak terjadi penyumbatan.
- c. Menggunakan pelapis anti karat (*coating*) pada bagian luar pipa dan sambungan.
- d. Mengaplikasikan proteksi katodik, seperti pemasangan anoda seng untuk mencegah korosi galvanik.
- e. Memilih material pipa yang sesuai, seperti stainless steel atau paduan tembaga-nikel untuk air laut yang agresif.

I. Cara Pengecatan yang Optimal

1. Persiapan Permukaan

- a. Pembersihan Permukaan Pipa: Sebelum melakukan pengecatan, pastikan permukaan pipa atau komponen logam bersih dari kotoran, karat, dan minyak. Penggunaan alat pembersih seperti sandblasting atau wire brushing sangat disarankan untuk membersihkan karat dan kotoran yang menempel pada permukaan logam. Permukaan yang bersih akan memungkinkan lapisan cat melekat lebih kuat dan tahan lama.
- b. Pengeringan: Pastikan permukaan yang telah dibersihkan kering sepenuhnya sebelum pengecatan. Kelembaban yang masih ada

dapat menyebabkan cat tidak menempel dengan baik dan berpotensi meningkatkan korosi.

- c. Pemeriksaan Permukaan: Periksa apakah terdapat celah atau retakan pada permukaan logam yang perlu diperbaiki dengan pengelasan atau pengisian bahan pengisi sebelum melanjutkan pengecatan.

2. Pemilihan Cat yang Tepat

- a. Cat Epoxy: Cat epoxy memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi dan sangat cocok untuk digunakan pada sistem perpipaan yang terpapar air laut. Cat ini membentuk lapisan keras dan tahan lama yang memberikan perlindungan maksimal terhadap logam.
- b. Cat Berbasis Seng (*Zinc-based Coatings*): Cat berbasis seng memberikan perlindungan galvanik. Ketika logam dasar (pipa atau komponen) dan lapisan cat bersentuhan, lapisan seng akan bertindak sebagai anoda yang melindungi logam utama dari korosi.
- c. Cat Polyurethane: Untuk lapisan atas, cat polyurethane sering digunakan karena tahan terhadap cuaca dan abrasi. Ini memberi perlindungan tambahan terhadap kerusakan mekanis, seperti gesekan dan benturan.

3. Penggunaan Primer

- a. Primer Epoxy: Sebelum aplikasi cat utama, primer epoxy memberikan lapisan pelindung pertama yang berfungsi untuk mencegah korosi serta meningkatkan daya rekat cat utama pada permukaan logam. Primer juga memberikan daya tahan ekstra terhadap kelembaban dan bahan kimia.
- b. Primer Anti-Korosi: Pilih primer yang dirancang khusus untuk melawan korosi, terutama primer yang dapat menahan pengaruh air laut dan kondisi lingkungan ekstrem.

4. Teknik Aplikasi Cat

- a. Penyemprotan (*Spraying*): Penyemprotan menggunakan alat semprot dapat memberikan lapisan cat yang lebih merata pada

permukaan logam. Gunakan alat semprot yang dapat menghasilkan lapisan halus dan rata tanpa adanya tetesan cat.

- b. Pengecatan dengan Kuas: Pengecatan menggunakan kuas cocok untuk area yang sulit dijangkau atau bagian yang memerlukan kontrol lebih besar. Namun, hasilnya mungkin tidak sebaik penyemprotan untuk area luas.
- c. Pengecatan dengan Roller: Untuk area yang lebih besar dan datar, menggunakan roller dapat mempercepat proses pengecatan dan memberikan lapisan yang lebih konsisten.

5. Jumlah Lapisan

- a. Lapisan Primer: Oleskan satu lapisan primer anti-korosi yang merata pada permukaan logam. Biarkan primer mengering sesuai waktu yang direkomendasikan oleh produsen.
- b. Lapisan Cat Utama: Oleskan dua lapisan cat utama. Lapisan pertama harus dibiarkan mengering dengan baik sebelum lapisan kedua diterapkan. Pastikan setiap lapisan rata dan bebas dari gelembung udara atau ketidaksempurnaan lainnya.
- c. Lapisan Pelindung: Setelah cat utama mengering, oleskan lapisan pelindung (clear coat) jika diperlukan untuk memberikan perlindungan tambahan terhadap abrasi dan kondisi lingkungan yang lebih keras.

6. Waktu Pengeringan

- a. Pengeringan Antara Lapisan: Biarkan lapisan cat primer dan cat utama mengering sepenuhnya sebelum melanjutkan ke lapisan berikutnya. Pengeringan yang tidak sempurna dapat menyebabkan cat terkelupas atau mengurangi ketahanan terhadap korosi.
- b. Waktu Pengeringan Akhir: Setelah pengecatan selesai, biarkan sistem benar-benar kering selama beberapa jam atau bahkan hari, tergantung pada kondisi cuaca dan jenis cat yang digunakan. Pengeringan yang cepat dalam kondisi lembap atau basah dapat mengurangi daya rekat dan ketahanan cat.

7. Pengecekan Kualitas Cat

- a. Inspeksi Visual: Setelah pengecatan selesai, lakukan inspeksi visual untuk memastikan tidak ada area yang terlewat atau cacat pada lapisan cat. Perhatikan adanya gelembung, kerutan, atau keretakan.
- b. Pengujian Ketebalan Lapisan Cat: Gunakan alat pengukur ketebalan lapisan cat (*dry film thickness gauge*) untuk memastikan lapisan cat memenuhi standar ketebalan yang disarankan. Ketebalan lapisan yang cukup penting untuk memastikan perlindungan yang efektif terhadap korosi.

8. Pemeliharaan Rutin

- a. Pengecekan Berkala: Lakukan pemeriksaan rutin pada permukaan yang telah dicat untuk memastikan tidak ada kerusakan, seperti pengelupasan atau adanya karat yang muncul di bawah cat. Kebocoran atau kerusakan kecil harus segera diperbaiki untuk mencegah perkembangan lebih lanjut.
- b. Pembersihan: Bersihkan bagian-bagian yang dicat dari kotoran, garam, dan debu yang menumpuk untuk menjaga integritas lapisan cat.

J. Proteksi Pipa dengan *Zinc anode* (Anoda Seng)

Salah satu metode yang paling efektif dalam mencegah korosi pada pipa sistem pendingin air laut adalah penggunaan *zinc anode* atau anoda seng. *Zinc anode* termasuk dalam metode proteksi katodik dengan sistem anoda korban (*Sacrificial anode*), yaitu teknik yang memanfaatkan logam yang memiliki potensial elektrokimia lebih rendah dibanding logam utama yang dilindungi.

1. Prinsip kerja

Ketika pipa baja sistem pendingin bersentuhan dengan air laut, reaksi elektrokimia dapat menimbulkan korosi galvanik, khususnya pada sambungan, las-lasan, dan area tikungan pipa. dengan pemasangan *zinc anode*, maka:

- a. Seng (Zn) akan berperan sebagai anoda dan terkorosi terlebih dahulu.
- b. Baja pada pipa akan berperan sebagai katoda dan tetap terlindungi.
- c. Air laut berfungsi sebagai elektrolit yang menghubungkan kedua logam.

2. Pemasangan *zinc anode* pada pipa

Zinc anode biasanya dipasang pada titik-titik rawan korosi, seperti:

- a. Pipa hisap (suction pipe) dari sea chest menuju pompa pendingin.
- b. Pipa distribusi sebelum masuk ke heat exchanger.
- c. Sambungan flange, elbow, dan area yang sering mengalami turbulensi.

Bentuk *zinc anode* dapat berupa batang silinder, blok, atau pelat yang ditempel atau dipasang dengan baut pada bagian dalam maupun luar pipa.

3. Keunggulan Penggunaan *Zinc anode*

- a. Mencegah terjadinya korosi *Pitting* dan korosi celah pada bagian pipa yang sulit dijangkau lapisan cat.
- b. Mudah dalam pemasangan dan perawatan.
- c. Tidak membutuhkan sumber listrik tambahan (berbeda dengan proteksi katodik arus paksa).
- d. Efektif digunakan pada lingkungan air laut dengan kandungan garam tinggi.

4. Keterbatasan

- a. *Zinc anode* akan habis terkorosi dalam jangka waktu tertentu (\pm 1–2 tahun), sehingga harus diganti secara berkala.
- b. Kurang efektif pada sistem dengan aliran fluida yang sangat cepat (turbulensi tinggi).
- c. Tidak cocok digunakan pada air tawar, karena lebih efektif memakai magnesium anode.

5. Aplikasi di Kapal

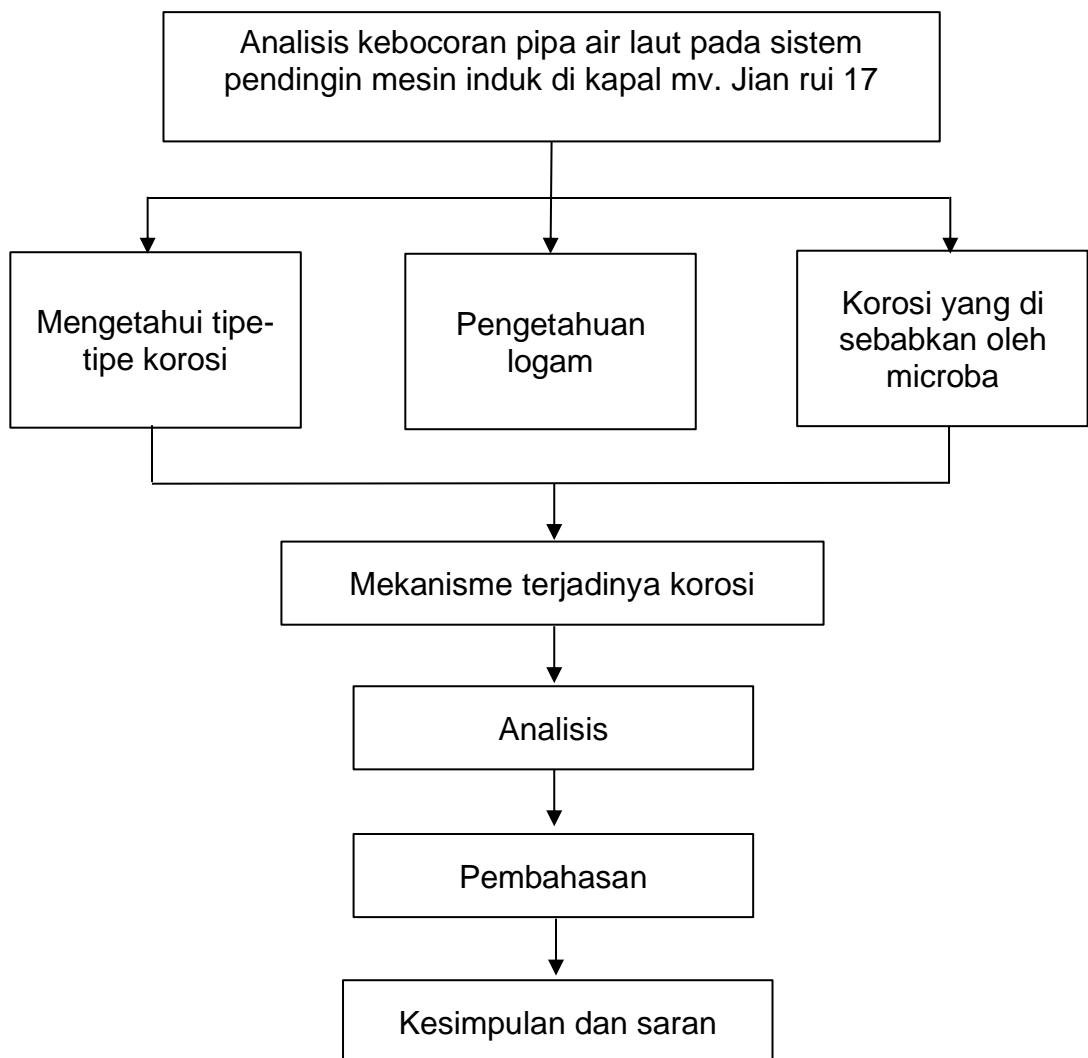
Dalam sistem pendingin air laut di kapal, *zinc anode* banyak digunakan untuk:

- Melindungi pipa pendingin air laut mesin induk.
- Menjaga ketahanan heat exchanger dan kondensor.
- Melindungi sambungan flange dari korosi galvanik.

Dengan penerapan *zinc anode* pada sistem perpipaan, laju korosi dapat ditekan secara signifikan. Hal ini memperpanjang umur pipa, menurunkan risiko kebocoran, serta mengurangi biaya perawatan dan perbaikan.

K. Kerangka Pikir

Gambar 2. 8 Kerangka Pikir



L. Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah yang telah penulis uraikan di atas, Maka hipotesisnya adalah pencegahan korosi pipa pendingin air laut adalah sebagai berikut :

1. Kurangnya perhatian terhadap pemilihan material yang tepat dan penggunaan proteksi katodik pada pipa pendingin air laut.
2. Kurangnya perawatan sistem pipa pendingin air laut.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Lokasi Penelitian

1. Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran yang komprehensif dan mendalam tentang masalah kebocoran pipa air laut di kapal MV. Jian Rui 17. Data diperoleh melalui observasi langsung di lapangan, wawancara mendalam dengan *crew* kamar mesin, dan analisis dokumen (diagram perpipaian). Pengukuran fisik, seperti ketebalan pipa, tekanan, suhu, dan aliran, digunakan sebagai data pendukung untuk memperkaya deskripsi dan analisis dari sudut pandang kualitatif. Penelitian ini berfokus pada kondisi riil di atas kapal selama penulis melaksanakan *Praktik Laut (PRALA)*, yang menjadi konteks tunggal (*single case*) yang diteliti secara mendalam.

2. Lokasi Penelitian

Penelitian tentang Analisis Upaya Pencegahan korosi di dalam kamar mesin akan dilaksanakan di atas kapal dengan waktu penelitian selama kurang lebih 1 tahun (12 bulan) yaitu pada saat penulis akan melaksanakan *Praktek laut (PRALA)*.

B. Metode Pengumpulan Data

Dalam penyusunan proposal ini informasi dan data yang dikumpulkan diperoleh melalui:

1. Observasi Langsung Penulis melakukan pengamatan langsung di kapal MV. JIAN RUI 17 untuk melihat secara detail kondisi aktual pipa pendingin air laut. Pengamatan difokuskan pada area yang mengalami korosi dan kebocoran, serta cara perawatan yang dilakukan oleh kru mesin. Metode ini memberikan data nyata tentang lokasi, bentuk, dan tingkat keparahan kerusakan yang terjadi.

2. Wawancara Mendalam Untuk mendapatkan informasi yang mendalam, penulis melakukan wawancara langsung dengan narasumber yang berkompeten, yaitu Chief Engineer dan Boatswain. Wawancara bertujuan untuk memahami penyebab korosi, langkah-langkah penanganan kebocoran yang sudah dilakukan, serta kendala yang dihadapi dalam perawatan sistem pendingin.
3. Studi Dokumentasi Penulis mengumpulkan dan menganalisis berbagai dokumen pendukung, seperti:
 - a. *Ship Particular* (Data Teknis Kapal)
 - b. Diagram Perpipaan Air Laut (*Sea Water Piping Diagram*)
 - c. Foto-foto kondisi pipa, kerusakan, dan proses perbaikanData dari dokumen ini digunakan untuk melengkapi dan memastikan keakuratan data yang diperoleh dari observasi dan wawancara.

C. Jenis dan Sumber Data

Selama penulis berada di kapal, jenis dan sumber data berikut diperlukan untuk penelitian ini:

1. Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kualitatif, yaitu informasi tentang pembahasan yang dapat ditemukan dalam bentuk variabel secara lisan maupun tertulis.

2. Sumber data

a. *Data primer*

Data primer adalah informasi yang dikumpulkan melalui pengamatan langsung. Informasi eksplorasi diperoleh melalui teknik kajian, khususnya dengan memperhatikan, memperkirakan dan mencatat secara langsung di tempat pemeriksaan. Selama di atas kapal, *data primer* yang akan dikumpulkan adalah Data pengamatan korosi di kapal

- 1) Data komponen kapal yang rawan korosi

b. *Data sekunder*

Data sekunder adalah data lengkap dari *data primer* yang dikumpulkan dari sumber pustaka seperti literatur, bahan kuliah, data dari bisnis, dan hal-hal terkait penelitian lainnya. Namun demikian, *data sekunder* berikut akan dikumpulkan selama di kapal: Data spesifikasi-spesifikasi kapal

- 1) Data umur kapal kapal
- 2) Data perawatan kapal
- 3) Data kerusakan kapal (jika ada)
- 4) Data area oprasi kapal
- 5) Data bagan kapal.

D. Analisis Data

Penulis dapat mengumpulkan informasi mengenai penelitian yang dilakukan berdasarkan apa yang telah mereka terima sesuai dengan langkah-langkah sebelumnya. Sebelum data dikumpulkan, informasi yang diterima diolah sesuai dengan teori dan metode penulis. Setelah bahan diolah, penulis membandingkan dan menganalisis hasil yang diperoleh dari bidang teori penulis. Penulis membahas hasil perhitungan yang telah penulis analisis.

Penulis dapat mengambil kesimpulan dari analisis dan pembahasan penulis setelah memperhitungkan semuanya. Penulis kemudian menawarkan saran untuk topik yang sejalan dengan kesimpulannya dan dapat digunakan untuk berbicara tentang peran pengendalian korosi kapal khususnya di kamar mesin. Langkah-langkah ini tidak dianggap selesai sampai saat itu.

E. Jadwal Penelitian

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Tahun 2022											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Pengumpulan Data												
2.	Pemilihan Judul												
3.	Penyusunan Proposal dan bimbingan												
No	Kegiatan	Tahun 2023											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4.	Seminar Proposal												
5.	Perbaikan Seminar Proposal												
6.	Pengambilan data												
No	Kegiatan	Tahun 2024											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7.	Pengambilan Data												
8.	Pengolahan Data Dan Bimbingan Hasil Skripsi												
No	Kegiatan	Tahun 2025											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9.	Pengolahan Data Dan Bimbingan Hasil Skripsi												
10.	Seminar Hasil & Perbaikan												
11.	Bimbingan Seminar Tutup												
12/	Seminar Tutup & Perbaikan												