

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN  
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN  
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



**MAKALAH**

**MEMPERTAHANKAN KINERJA KETEL UAP  
DENGAN MENJAGA UNSUR KIMIWI PADA AIR  
KETEL MELALUI PERAWATAN AIR KETEL DI  
LNG/C EKAPUTRA 1**

**Oleh:**

**TIO DWIYOGA WIN**

**NIS. 02132/T-I**

**PROGRAM PENDIDIKAN DIKLAT PELAUT-I**

**JAKARTA**

**2024**



### PENGAJUAN SINOPSIS MAKALAH

NAMA : TIO DWIYOGA WIN  
NIS : 02132/T-I  
BIDANG KEAHLIAN : TEKNIKA  
PROGRAM DIKLAT : DIKLAT PELAUT- I

Mengajukan Sinopsis Makalah sebagai berikut

#### A. Judul

MEMPERTAHANKAN KINERJA KETEL UAP DENGAN MENJAGA UNSUR KIMIAWI PADA AIR KETEL MELALUI PERAWATAN AIR KETEL DI LNG/C EKAPUTRA 1

#### B. Masalah Pokok

1. Kadar pH yang rendah.
2. Tingginya kadar oksigen di dalam air ketel.
3. Adanya kandungan unsur kekerasan (*hardness*) di dalam air ketel.

#### C. Pendekatan Pemecahan Masalah

1. Melaksanakan pembuangan air pada tangki ketel secara berkala.
2. Memberikan injeksi senyawa kimia berupa pengikat oksigen agar kadar oksigen berkurang.
3. Melakukan percobaan kimia terhadap eksistensi senyawa kimia pada air ketel dan memberikan injeksi bahan kimia yang sesuai dengan hasil percobaan.

Menyetujui :

Jakarta, 21 Mei 2024

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Penulis

**Mohamad Ridwan, S.Si.T., M.M**  
Penata ( III/c )

NIP. 19780707 200912 1 005

**Trisanti, S.S., M.Pd**  
Penata Tk I ( III/d )

NIP. 19720424 200212 2 007

**Tio Dwiyoqa Win**  
NIS : 02132/T-I

Kepala Divisi Pengembangan Usaha

**Capt. Suhartini, MM., MMTr**  
Penata Tk I (III/d)  
NIP. 19800307 200502 2 002

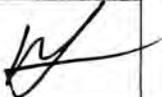
**SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**  
**DIVISI PENGEMBANGAN USAHA**  
**PROGRAM DIKLAT PELAUT - I**

---

Judul Makalah : **MEMPERTAHAKAN KINERJA KETEL UAP DENGAN MENJAGA UNSUR KIMIWI PADA AIR KETEL MELALUI PERAWATAN AIR KETEL DI LNG/C EKAPUTRA 1**

Dosen Pembimbing I : **Mohamad Ridwan, S.Si.T., M.M**

Bimbingan I

No.	Tanggal	Uraian	Tanda Tangan Pembimbing
	22/5 <sup>24</sup>	Pengantar SIMPOSIS	
	27/5 <sup>24</sup>	BAB I	
	29/5 <sup>24</sup>	BAB II	
	31/5 <sup>24</sup>	BAB III	
	03/6 <sup>24</sup>	BAB IV	
	04/6 <sup>24</sup>	All ok.	

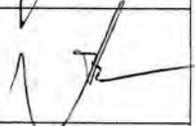
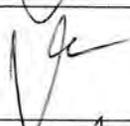
Catatan : ..... *MAKALAH SIAP DITAMBAH.* .....  
.....  
.....

**SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**  
**DIVISI PENGEMBANGAN USAHA**  
**PROGRAM DIKLAT PELAUT - I**

Judul Makalah : **MEMPERTAHANKAN KINERJA KETEL UAP DENGAN MENJAGA UNSUR KIMIAWI PADA AIR KETEL MELALUI PERAWATAN AIR KETEL DI LNG/C EKAPUTRA 1**

Dosen Pembimbing II : **Trisanti, S.S., M.Pd**

Bimbingan II

No.	Tanggal	Uraian	Tanda Tangan Pembimbing
	22/04/5	Introduksi	
	27/5/24	Bab III	
	31/5	Bab I	
	4/6	bab II	
	6/6	bab III	
	7/6	bab IV	

Catatan :

*Apresiasi bagi A-dang*

.....  
 .....

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN  
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN  
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



**MAKALAH**

**MEMPERTAHANKAN KINERJA KETEL UAP  
DENGAN MENJAGA UNSUR KIMIWI PADA AIR  
KETEL MELALUI PERAWATAN AIR KETEL DI  
LNG/C EKAPUTRA 1**

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Penyelesaian Program  
Pendidikan Diklat Pelaut-I**

**Oleh:**

**TIO DWIYOGA WIN**

**NIS. 02132/T-I**

**PROGRAM PENDIDIKAN DIKLAT PELAUT-I**

**JAKARTA**

**2024**

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN  
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN  
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



**TANDA PERSETUJUAN MAKALAH**

**Nama** : TIO DWIYOGA WIN  
**NIS** : 02132/T-I  
**Program Pendidikan** : DIKLAT PELAUT-I  
**Program Studi** : TEKNIKA  
**Judul** : **MEMPERTAHANKAN KINERJA KETEL UAP  
DENGAN MENJAGA UNSUR KIMIAWI PADA AIR  
KETEL MELALUI PERAWATAN AIR KETEL DI  
LNG/C EKAPUTRA 1**

Jakarta, Mei 2024

Pembimbing I

**MOHAMAD RIDWAN, S.SiT., MM**

Penata (III/c)

NIP. 19780707 200912 1 005

Pembimbing II

**TRISANTI, S.S., M.Pd**

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 19720424 200212 2 007

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknika**

**MARKUS YANDO, S.SiT., MM**

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 19800605 200812 1 001

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN  
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN  
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



**TANDA PENGESAHAN MAKALAH**

**Nama** : TIO DWIYOGA WIN  
**NIS** : 02132/T-I  
**Program Pendidikan** : DIKLAT PELAUT-I  
**Program Studi** : TEKNIKA  
**Judul** : **MEMPERTAHANKAN KINERJA KETEL UAP  
DENGAN MENJAGA UNSUR KIMIAWI PADA AIR  
KETEL MELALUI PERAWATAN AIR KETEL DI  
LNG/C EKAPUTRA 1**

Jakarta, Juni 2024

**Penguji I**

**RIYANTO, M.Pd, M.Mar.E**  
Pembina (IV/a)  
NIP. 19740901 200212 1 002

**Penguji II**

**I MADE MARIASA, S.ST.Pel, MM**  
Penata (III/c)  
NIP. 19890416 201402 1 004

**Penguji III**

**MOHAMAD RIDWAN, S.SiT, MM**  
Penata (III/c)  
NIP. 19780707 200912 1 005

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknika**

**Dr. MARKUS YANDO, S.SiT, MM**  
Penata Tk. I (III/d)  
NIP. 19800605 200812 1 001

## **KATA PENGANTAR**

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena hanya berkat rahmat dan karunia-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan makalah ini sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Berdasarkan pengalaman penulis di atas kapal dan berbekal ilmu permesinan kapal yang penulis pelajari, penulis pun dapat menyusun makalah ini dengan judul:

### **MEMPERTAHANKAN KINERJA AIR KETEL DENGAN MENJAGA UNSUR KIMIAWI PADA AIR KETEL MELALUI PERAWATAN AIR KETEL DI LNG/C EKAPUTRA 1**

Makalah ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan Diklat Pelaut-I Program Studi Teknika di Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

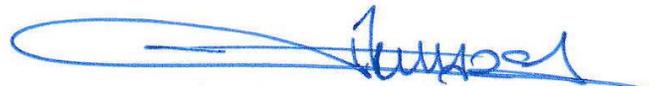
1. Dr. Capt. Tri Cahyadi, MH, M.Mar., selaku Ketua Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.
2. Capt. Suhartini, S.SiT., M.M., M.MTr, selaku Ketua Divisi Pengembangan Usaha Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.
3. Markus Yando, S.SiT., M.M., selaku Ketua Jurusan Teknika Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta
4. Mohamad Ridwan, S.SiT., M.M., selaku dosen pembimbing I yang telah berkenan meluangkan waktunya untuk mengarahkan penulis dalam pembuatan makalah dengan sistematika materi yang baik dan benar.
5. Trisanti, S.S., M.Pd., selaku dosen pembimbing II yang telah senantiasa meluangkan waktunya dalam mengarahkan penulisan makalah ini dengan baik dan benar.

6. Seluruh dosen dan staf pengajar Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta yang telah memberikan bantuan dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini.
7. Seluruh rekan-rekan yang ikut memberikan sumbangsih pikiran dan saran serta keluarga besar, istri dan anak saya yang telah memberikan motivasi selama penyusunan makalah ini.

Mengingat kemampuan dan pengalaman penulis yang terbatas, maka apabila dijumpai kekurangan-kekurangan dalam bentuk penyajian, penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dan membantu demi menghindari adanya misinformasi dalam makalah ini.

Semoga makalah ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya bagi penulis sendiri.

Jakarta, Juni 2024



**TIO DWIYOGA WIN**  
**NIS. 02132/T-I**

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>SAMPUL DALAM</b> .....	<b>i</b>
<b>TANDA PERSETUJUAN MAKALAH</b> .....	<b>ii</b>
<b>TANDA PENGESAHAN MAKALAH</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I       PENDAHULUAN</b>	
A.       Latar Belakang .....	1
B.       Identifikasi, Batasan dan Rumusan Masalah.....	2
C.       Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	3
D.       Metode Penelitian .....	4
E.       Waktu dan Tempat Penelitian.....	6
F.       Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB II       LANDASAN TEORI</b>	
A.       Tinjauan Pustaka .....	8
B.       Kerangka Pemikiran .....	15
<b>BAB III      ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	
A.       Deskripsi Data .....	16
B.       Analisis Data .....	17
C.       Pemecahan Masalah .....	20
<b>BAB V       KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A.       Kesimpulan .....	31
B.       Saran .....	32
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> <i>Sectional Drawing of Boiler</i> LNG/C Ekaputra 1.....	10
<b>Gambar 2.2</b> <i>Pitting</i> pada pipa ketel uap.....	12

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Keuntungan dan kerugian terhadap alternatif pemecahan masalah	27

## DAFTAR SINGKATAN

bpj	bagian per juta
FO	<i>Fuel Oil</i>
GRT	<i>Gross Tonnage</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
KKM	Kepala Kamar Mesin
LBP	<i>Length Between Perpendicular</i>
LNG	<i>Liquified Natural Gas</i>
LNG/C	<i>Liquified Natural Gas Carrier</i>
LOA	<i>Length Overall</i>
MT	<i>metric ton</i>
NRT	<i>Net Tonnage</i>
pH	<i>power of Hydrogen</i>
SS	<i>Steamship</i>

## DAFTAR SIMBOL

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>
$\text{CaCO}_3$	Kalsium Karbonat
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	Kalsium Bikarbonat
$\text{CaSO}_4$	Kalsium Sulfat
$\text{Fe}$	<i>Ferro</i>
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	<i>Ferrous Oxide</i>
$\text{H}_2\text{O}$	Air
$\text{MgCl}_2$	Magnesium Klorida
$\text{N}_2$	Nitrogen
$\text{NH}_3$	Ammonia
$\text{N}_2\text{H}_4$	Hidrazin
$\text{NaCl}$	Natrium Klorida
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Natrium Karbonat
$\text{Na}_2\text{FeO}_4$	Sodium Ferit
$\text{NaHCO}_3$	Natrium Hidrokarbonat
$\text{Na}_3\text{PO}_4$	Natrium Fosfat
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	Natrium Sulfat
$\text{O}_2$	Oksigen

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LAMPIRAN I</b>	TABEL SPESIFIKASI AIR KETEL
<b>LAMPIRAN II</b>	<i>SPECTROPHOTOMETER</i>
<b>LAMPIRAN III</b>	PERALATAN <i>BOILER WATER ANALYSIS</i>
<b>LAMPIRAN IV</b>	PROSEDUR <i>BOILER WATER ANALYSIS</i>
<b>LAMPIRAN V</b>	TABEL KADAR UNSUR <i>HARDNESS</i>
<b>LAMPIRAN VI</b>	HASIL ANALISA AIR KETEL
<b>LAMPIRAN VII</b>	<i>SHIP'S PARTICULAR</i>
<b>LAMPIRAN VIII</b>	<i>IMO CREW LIST</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. LATAR BELAKANG

*Steamship* adalah suatu jenis kapal yang memiliki susunan permesinan dengan azas penggunaan uap bertekanan. Untuk menghasilkan uap bertekanan tersebut, kapal membutuhkan suatu perangkat penghasil uap yang disebut dengan ketel uap (*boiler*). Uap bertekanan ini kemudian digunakan sebagai tenaga penggerak mesin utama dan mesin-mesin bantu lainnya.

Pada umumnya, *steamship* memiliki mesin utama berupa turbin uap. Karena ukuran kapal yang relatif besar, turbin uap memerlukan uap dengan tekanan yang tinggi agar kapal dapat bergerak dan bermanuver dengan baik. Oleh karena itu, ketel uap berperan sebagai “jantung” permesinan di kapal jenis ini sehingga ketel uap disebut dengan istilah *main boiler*. Selain itu, uap dari *main boiler* juga digunakan untuk penggerak turbin pada mesin-mesin bantu lainnya seperti *turbo generator* dan *main feed water pump* serta sebagai *heater* untuk tangki-tangki bahan bakar dan air pada akomodasi. Karena peranannya yang sangat vital, kinerja *main boiler* harus dijaga agar *lifetime*-nya lebih panjang. Hal ini wajib dilakukan mengingat bahwa perwira mesin tidak dapat melakukan *overhaul* pada *main boiler*. Ini disebabkan oleh kebutuhan uap bertekanan yang kontinu sehingga pengoperasian *main boiler* tidak bisa dihentikan terkecuali pada saat *dry docking*. Oleh sebab itu, seorang perwira mesin harus menjaga kondisi perpipaan pada ketel dengan cara melakukan perawatan pada air ketel.

Selama melaksanakan tugas sebagai Perwira Mesin di atas kapal LNG/C Ekaputra 1, penulis memiliki tanggung jawab terhadap ketel uap di atas kapal. Hal ini meliputi sistem kerja, inspeksi visual, dan perawatan serta keamanan dan keselamatan penggunaannya. Sistem yang dimaksud berkaitan dengan azas penggunaan uap bertekanan yang dihasilkan dari pemanasan air sehingga

perawatan air ketel menjadi bagian yang cukup vital di atas kapal. Oleh karena itu, perawatan dan pengamatan air ketel harus dilaksanakan dengan cermat.

Pada tanggal 21 Oktober 2023, penulis menerima teguran dari Kepala Kamar Mesin (KKM) bahwa adanya indikator unsur kimia air ketel yang melewati batas normal. Berdasarkan penjelasan KKM, hal ini dapat terjadi salah satunya disebabkan oleh prosedur percobaan kimia air ketel yang kurang tepat dan mengakibatkan spesifikasi air ketel tidak sesuai dengan standar dari buku instruksi manual.

Hal ini berpengaruh dalam pemberian dosis injeksi pada air ketel karena jumlah dosis yang diinjeksikan harus berdasarkan hasil perawatan air ketel. Jika hasilnya tidak tepat, maka indikator kimawi air ketel, seperti *pH* salah satunya, akan mengalami perubahan yang tidak stabil. Oleh karena hal tersebut penulis mempelajari perawatan air ketel lebih dalam guna mengetahui hubungan kimawi antara pipa-pipa ketel (logam) dengan air, terlebih pada air yang tidak murni dan memiliki kandungan senyawa kimia yang dapat merusak logam seperti air ketel, mengingat bahwa air ketel yang masuk ke dalam *main boiler* adalah air hasil distilasi air laut pada *fresh water generator*. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, permasalahan tersebut dituangkan oleh penulis pada makalah ini dengan judul:

***“MEMPERTAHANKAN KINERJA KETEL UAP DENGAN MENJAGA  
UNSUR KIMIAWI PADA AIR KETEL MELALUI PERAWATAN AIR  
KETEL DI LNG/C EKAPUTRA 1”***

**B. IDENTIFIKASI, BATASAN DAN RUMUSAN MASALAH**

**1. Identifikasi masalah**

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan penulis sebelumnya, maka penulis mengidentifikasi masalah yaitu sebagai berikut:

- a. Kadar pH yang rendah dalam air ketel.
- b. Tingginya kadar oksigen dalam air ketel.
- c. Adanya kandungan unsur kekerasan (*hardness*) dalam air ketel.

## 2. Batasan masalah

Mengingat luasnya penjabaran masalah yang dikemukakan, maka penulis membatasi masalah yang terjadi mengenai perawatan air ketel. Oleh karena itu, penulis akan menjabarkan dua masalah pokok yaitu tentang:

- a. Tingginya kadar oksigen dalam air ketel.
- b. Adanya kandungan unsur kekerasan (*hardness*) dalam air ketel.

## 3. Rumusan masalah

Percobaan kimia air ketel (*boiler water analysis*) adalah salah satu bentuk perawatan air ketel yang sangat vital pada kapal-kapal turbin uap yang menggunakan ketel uap (*main boiler*) sebagai penyuplai uap bertekanan. Hasil dari percobaan kimia ini menjadi rujukan mengenai perawatan yang akan dilakukan selanjutnya pada air ketel. Oleh karena itu, tidak boleh terjadi kesalahan pada proses pelaksanaannya. Hal ini menjadi sumber perumusan masalah yang telah penulis rumuskan dalam bentuk pertanyaan yang sesuai dengan masalah-masalah di atas, yaitu sebagai berikut:

- a. Mengapa kadar oksigen dalam air ketel tinggi?
- b. Mengapa terdapat kandungan unsur kekerasan (*hardness*) dalam air ketel?

## C. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

### 1. Tujuan penelitian

Berkaitan dengan latar belakang dan perumusan masalah yang telah diuraikan di atas, tujuan penelitian dari penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui prosedur percobaan kimia air ketel (*boiler water analysis*) yang baik dan benar.
- b. Untuk lebih memahami hubungan antara unsur kimiawi air ketel dengan bahaya jangka panjang yang dapat terjadi.

## **2. Manfaat penelitian**

### **a. Aspek teoritis**

- 1) Sebagai sumbangan terhadap dunia ilmu pengetahuan terkait cara mempertahankan kinerja ketel uap dengan menjaga unsur kimiawi air ketel.
- 2) Sebagai informasi atas bahaya jangka panjang yang dapat terjadi pada ketel uap sehubungan dengan perawatan air ketel yang tidak terkontrol.

### **b. Aspek praktis**

- 1) Kesalahan-kesalahan yang dapat terjadi pada percobaan kimia air ketel (*boiler water analysis*) dapat dihindari.
- 2) Usia pengoperasian ketel uap (*main boiler*) dapat diperpanjang dengan pengontrolan unsur kimiawi pada air ketel.

## **D. METODE PENELITIAN**

### **1. Metode pendekatan**

Pada makalah ini, penulis menggunakan metode pendekatan deskriptif yang bertujuan untuk membuat deskripsi secara sistematis mengenai latar belakang masalah yang dikemukakan.

### **2. Teknik pengumpulan data**

Penulis menggunakan beberapa teknik dalam pengumpulan, antara lain:

#### **a. Penelitian lapangan**

Penulis melakukan penelitian lapangan yaitu untuk mengamati secara langsung terhadap objek penelitian melalui beberapa cara:

##### **1) Observasi**

Teknik pengumpulan data melalui Observasi menurut Narbuko dan Achmadi (1999 : 83 ) adalah: “Alat pengumpulan data yang dilakukan cara mengamati dan mencatat secara sistematis gejala-gejala yang diselidiki”.

Berdasarkan hal di atas penulis menyimpulkan bahwa dalam melakukan observasi partisipatif, peneliti melibatkan diri dalam kehidupan masyarakat dan situasi dimana penelitian dilaksanakan.

Observasi dilaksanakan secara langsung pada tempat penelitian selama penulis menjalani pelayaran di kapal.

## **2) Wawancara**

Salah satu cara yang dilakukan oleh penulis untuk mendapatkan data-data mengenai ketel uap adalah melakukan wawancara dengan para kru kapal. Wawancara yang dilakukan yaitu terhadap Kepala Kamar Mesin dan Masinis I sebagai perwira mesin yang bertanggung jawab atas terlaksananya pekerjaan di atas kapal, terlebih sebagai sumber referensi lain mengingat bahwa jabatan tersebut termasuk dalam perwira senior yang tentunya memiliki banyak pengalaman di bidangnya.

Pada pembahasan ini penulis hanya akan menguraikan hasil dari wawancara dengan kedua pihak.

Adapun masalah yang dibahas antara lain:

- a) Cara kerja dan pengoperasian dari ketel uap.
- b) Peranan dari ketel uap terhadap mesin induk maupun permesinan lainnya.
- c) Hubungan perawatan air ketel terhadap kinerja ketel uap.
- d) Prosedur percobaan kimia air ketel yang sesuai dengan pedoman manual.
- e) Akibat yang dapat ditimbulkan dari kerusakan–kerusakan yang terjadi pada ketel uap.

## **3) Dokumentasi**

Penulis memeriksa dan memperoleh data dengan cara membaca arsip-arsip mengenai laporan bulanan dari perawatan air ketel. Ini bertujuan untuk agar penulis mendapatkan referensi nyata dari spesifikasi air ketel yang baik selain dari sumber pedoman manual karena data-data tersebut merupakan data yang konkrit yang

dapat memberikan keterangan nyata yang benar-benar terjadi di atas kapal selama pelayaran dimana data-data tersebut telah didokumentasikan dan dilaporkan pada pihak perusahaan.

#### **4) Studi kasus**

Berdasarkan masalah yang penulis kemukakan, penulis juga melakukan studi kasus untuk dapat menganalisa penyebab dari masalah tersebut sehingga penulis dapat memberikan kesimpulan dan solusi. Penulis menggunakan beberapa referensi berupa buku-buku yang berkaitan dengan masalah yang diangkat antara lain:

- a) *Boiler Water Treatment* (ENERCON)
- b) *Ketel Uap* (Ir. M. J. Djokosetyardjo)
- c) *Teknik Ketel Uap* (T. Van der Veen)

### **E. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN**

Penelitian didasarkan pada pengalaman penulis ketika berada di atas kapal selama 8 bulan 10 hari (1 September 2023 – 10 Mei 2024) di kapal LNG/C Ekaputra 1, salah satu kapal yang dioperasikan oleh PT. HUMOLCO LNG INDONESIA.

### **F. SISTEMATIKA PENULISAN**

Untuk memudahkan pembaca dalam pemahaman isi dari makalah ini, penulis membagi tulisannya dalam empat bab yang saling berkaitan secara kronologis. Adapun sistematika penulisan makalah ini diringkas sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Penulis menjelaskan asal mula masalah yang dijabarkan dalam latar belakang yaitu tentang vitalnya posisi ketel uap yang harus dipertahankan kinerjanya dengan perawatan air ketel yang sesuai. Penulis mengidentifikasi masalah yang dirumuskan dalam mengenai

prosedur perawatan air ketel yang baik dan benar serta tujuan dan manfaat penelitian dari makalah ini.

## BAB II LANDASAN TEORI

Penulis menguraikan teori-teori yang berkaitan dengan masalah yang diangkat serta penjelasan tentang penerapan teori tersebut secara aktual dan disusun dalam kerangka pemikiran.

## BAB III ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penulis memberikan deskripsi saat masalah terjadi, kemudian menganalisis data tersebut dan memberikan alternatif pemecahan masalah serta mengevaluasi alternatif pemecahan masalah untuk mendapatkan pemecahan masalah terbaik.

## BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

Penulis menyimpulkan mengapa masalah yang diambil dapat terjadi dan menjabarkan solusi yang tepat untuk mengatasi masalah tersebut.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **A. TINJAUAN PUSTAKA**

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya maka penulis mencari beberapa landasan teori untuk pemecahan masalah yang berhubungan dengan perawatan air ketel, diantaranya yaitu sebagai berikut:

##### **1. Kinerja**

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, kinerja adalah sesuatu yang dicapai, prestasi yang diperlihatkan, dan kemampuan kerja (tentang peralatan) (<https://kbbi.web.id/kinerja>). Berdasarkan pengertian tersebut, kinerja ketel uap adalah kemampuan kerja dari ketel uap yang digunakan untuk mencapai tujuan tertentu.

##### **2. Ketel uap**

###### **a. Definisi ketel uap**

Menurut T. van der Veen (1977:1.1) dalam bukunya Teknik Ketel Uap pengertian ketel uap itu “Merupakan alat penukar kalor yang harus memenuhi syarat primer sebagai berikut: ia harus dapat menyediakan sebanyak mungkin uap dengan tekanan dan suhu tertentu dan penggunaan bahan bakar serendah mungkin”.

Menurut Handoyo (2016:15) Ketel uap adalah sebuah bejana tertutup pembentuk uap dengan tekanan lebih besar dari 1 (satu) atmosfer atau 1 (satu) bar. Apabila air dipanaskan di dalam tabung tertutup tersebut oleh gas-gas panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar di dalam dapur ketel, maka uap panas bertekanan tinggi akan dihasilkan.

Berdasarkan penjelasan tersebut, ketel uap adalah penghasil uap bertekanan dengan prinsip perpindahan kalor.

## **b. Komponen utama ketel uap**

Menurut Nanda (2017:11), komponen utama ketel uap adalah sebagai berikut:

### 1) Pompa

Berfungsi untuk mendistribusikan air umpan ketel uap.

### 2) *Economizer*

Berfungsi untuk memanaskan air umpan ketel uap sebelum masuk ke pipa evaporator.

### 3) *Waterwall tube*

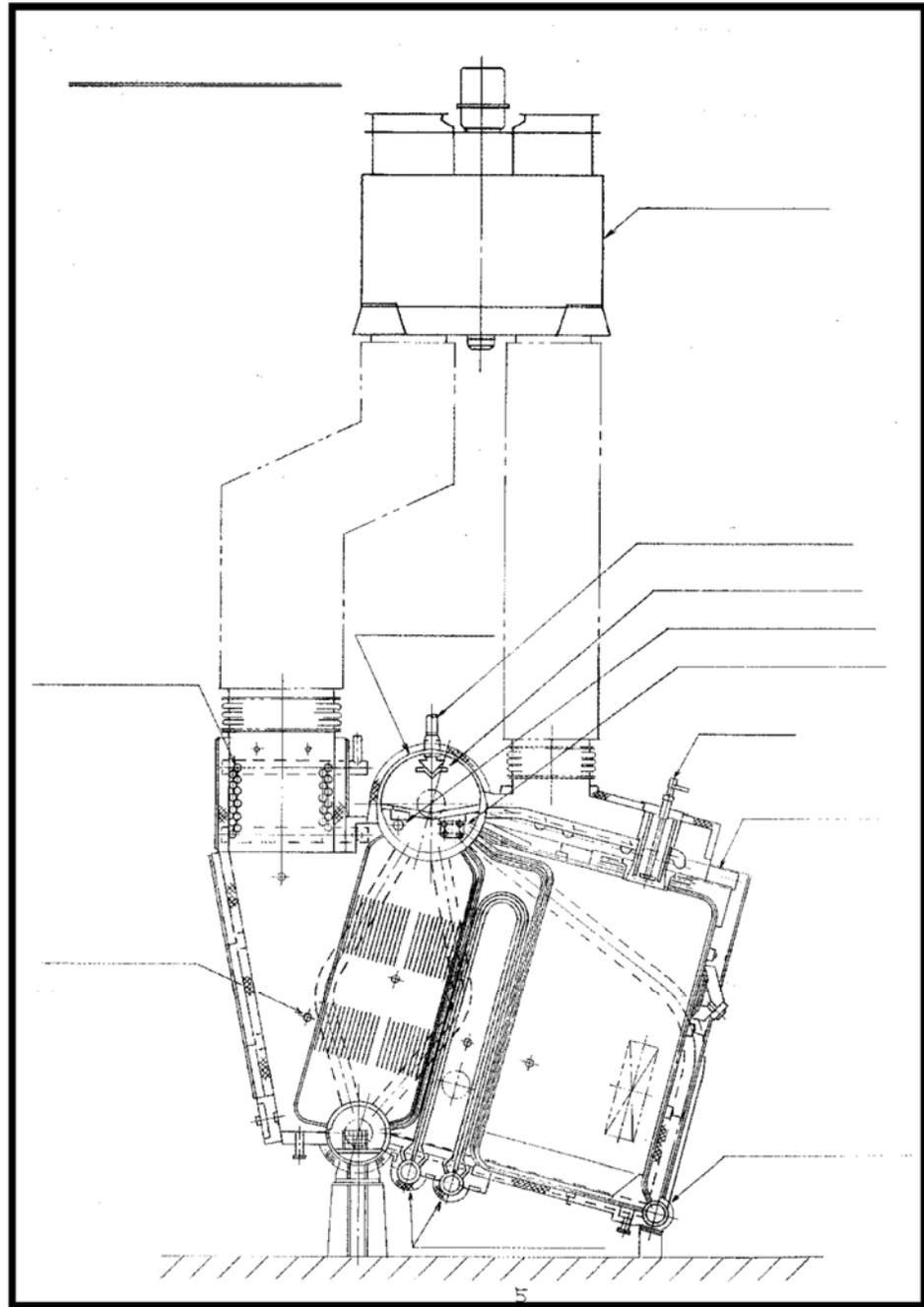
Berfungsi untuk memanaskan air hingga menjadi uap jenuh.

### 4) *Superheater*

Berfungsi untuk memanaskan uap jenuh menjadi uap lanjut.

## **c. Prinsip kerja ketel uap**

Menurut Nanda (2017:12), prinsip kerja ketel uap pipa air adalah sumber panas yang didapatkan dari pembakaran bahan bakar di dalam *furnace*. Energi panas ini akan terpancar secara radiasi ke pipa-pipa evaporator sehingga memanaskan pipa-pipa tersebut. Panas yang terserap oleh permukaan luar pipa akan berpindah secara konduksi ke permukaan dalam pipa. Di dalam pipa, mengalir air yang terus menerus menyerap panas tersebut. Proses penyebaran panas antarmolekul air di dalam aliran ini terjadi secara konveksi. Perpindahan panas konveksi antarmolekul air ini seakan-akan menciptakan aliran fluida tersendiri terlepas dengan aliran air di dalam pipa-pipa *boiler*. Gas hasil pembakaran yang mengandung energi panas akan terus mengalir mengikuti bentuk *boiler* hingga ke sisi keluaran. Di sepanjang perjalanan. Panas yang terkandung di dalam gas buang akan diserap oleh permukaan *boiler* dan diteruskan secara konduksi ke air di dalam pipa. Secara bertahap, air akan berubah fase menjadi uap basah (*saturated steam*) dan dapat berlanjut hingga menjadi uap kering (*superheated steam*).



Gambar 2.1

*Sectional Drawing of Boiler LNG/C Ekaputra 1*

(Sumber: Dokumen Kapal)

**d. Korosi pada ketel uap**

Menurut Sulaiman (2007:36), korosi pada ketel uap adalah perusakan dinding ketel dari permukaan dinding ke arah dalam. Korosi

pada ketel uap dapat dibedakan menjadi dua yaitu korosi dinding sebelah dalam dan korosi dinding sebelah luar.

Pada kesempatan kali ini hanya akan diuraikan mengenai korosi dinding bagian dalam yang disebabkan oleh air ketel uap yang mengandung kotoran. Korosi dinding sebelah dalam dapat berbentuk:

1) Lubang (*Pitting*).

*Pitting* adalah bentuk korosi berupa lubang-lubang, terutama disebabkan oleh air ketel yang pH nya antara 6 dan 9 dan mengandung oksigen yang terlarut. Peristiwa ini sesungguhnya adalah proses elektrokimia. Permukaan logam apabila kontak dengan atmosfer, cenderung berubah menjadi kondisi alamiahnya.

Bila oksigen terlarut dalam air, maka terbentuklah oksida besi yang berwarna merah pada permukaannya dan oksida ini akan terbentuk terus sehingga seluruh besi tersebut menjadi berkarat. Bila kadar oksigen yang terlarut terbatas, oksida tidak akan terjadi tetapi permukaan besi menjadi kusam. Warna kusam ini sebenarnya adalah terbentuknya sebuah lapisan tipis dari oksida besi pada permukaan logam yang tidak teroksidasi secara penuh sebagaimana terjadi pada oksida besi yang berwarna merah. Pada alkalinitas tertentu lapisan tipis ini menjadi lebih stabil dan dapat memberikan perlindungan lebih baik pada besi.

Selain itu, korosi ini juga dapat disebabkan oleh adanya kandungan oksigen yang berlebihan pada air ketel. Molekul oksigen akan terlokalisasi pada suatu titik tertentu dan mengoksidasi besi pipa pada titik tersebut. Hasil korosi yang ditimbulkan tidak tetap menempel pada area sebelumnya, akan tetapi molekul  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  akan terlarut ke dalam air dan meninggalkan jejak berupa lubang kecil (*pitting*) pada permukaan pipa. Jika kandungan oksigen terus berlebihan, maka akan semakin banyak lubang *pitting* yang ditimbulkan atau bahkan akan semakin

memperdalam lubang yang sebelumnya sudah terbentuk seperti terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2

*Pitting pada pipa ketel uap*

(Sumber: <http://artikel-teknologi.com/korosi-pada-boiler/>)

## 2) Penipisan (*General Wasting*).

Bentuk korosi ini terjadi apabila air ketel yang terkontaminasi dengan air laut yang cenderung akan menjadi sedikit asam. Hal ini mungkin karena dekomposisi dari garam magnesium klorida pada temperatur tinggi.

## 3. Air ketel

Air ketel adalah air yang dipanaskan di dalam ketel uap untuk menghasilkan uap bertekanan. Air ini berasal dari hasil distilasi air laut pada *fresh water generator* di atas kapal.

Menurut Rusnoto (2013:3), penyediaan air isian ketel yang ideal harus memenuhi persyaratan tertentu, sehingga kapasitas uap dan tekanan kerja dari ketel akan sesuai dengan yang dibutuhkan. Berdasarkan penjelasan tersebut, air ketel diharuskan memiliki standar tertentu sebagaimana tertuang dalam lampiran I.

#### 4. Perawatan air ketel

Menurut Handoyo (2015:35), pemeliharaan (*maintenance*) adalah sebuah pekerjaan yang dilakukan secara berurutan untuk menjaga atau memperbaiki fasilitas yang ada sehingga sesuai dengan standar fungsional dan kualitas. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa kegiatan perawatan dilakukan untuk merawat ataupun memperbaiki peralatan agar dapat melakukan kegiatan operasional dengan efektif dan efisien sesuai dengan yang diharapkan. Sudah dapat dipastikan bahwa mesin yang bekerja secara terus menerus tentu akan mengalami gangguan-gangguan bahkan mungkin akan mengalami kerusakan berat apabila tidak dirawat dengan baik.

Menurut Nanda (2017:17), perawatan air ketel terbagi menjadi dua yaitu perawatan internal dan perawatan eksternal.

##### a. Perawatan internal

Perawatan internal air ketel adalah analisa unsur kimiawi air ketel dan juga melakukan penambahan bahan kimia ke dalam air ketel untuk mencegah pembentukan kerak. Prosedur analisa unsur kimiawi disajikan dalam lampiran. Untuk bahan kimia yang umum ditambahkan ke dalam air ketel adalah sebagai berikut:

##### 1) Fosfat

Fosfat bereaksi kesadahan kalsium untuk menetralkan kesadahan air dengan membentuk *hydrate tricalcium phosphate*, yang berbentuk lumpur dan dapat dibuang melalui *blowdown*.

##### 2) Hidrazin

Hidrazin ( $N_2H_4$ ) dapat mengurangi sejumlah oksigen terlarut di dalam air ketel. Senyawa ini mengikat oksigen dengan hasil reaksi nitrogen dan air. Akan tetapi, jika dosisnya berlebihan maka hasil reaksinya akan menjadi ammonia yang memiliki sifat asam.

##### b. Perawatan eksternal

Perawatan eksternal air ketel adalah pembuangan (*blowdown*) air di dalam tangki air ketel uap yang bertujuan untuk mengurangi

konsentrasi kotoran di dalam ketel dengan memanfaatkan tekanan dari ketel uap itu sendiri. Menurut Riyanto (2018:33), ada dua jenis *blowdown* yaitu:

1) *Surface blowdown*

Pembuangan air dilakukan dari *steam drum* pada ketel uap ke laut. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kotoran-kotoran yang berada pada permukaan air dalam tangki *steam drum*. *Surface blowdown* dapat dilakukan tanpa mengganggu operasional dari ketel uap itu sendiri.

2) *Bottom blowdown*

Pembuangan air dilakukan dari *water drum* pada ketel uap ke laut. Proses ini bertujuan untuk membuang endapan-endapan yang berada di dasar tangki *water drum*. Proses pembuangan ini dilakukan ketika kapal sedang dalam kondisi diam dalam arti mesin utama tidak dioperasikan.

Hal ini berkaitan dengan kebutuhan uap bertekanan pada mesin utama yang berasal dari evaporasi air ketel yang tinggi. Apabila *bottom blowdown* dilakukan ketika mesin utama sedang dioperasikan, maka produksi uap bertekanan menjadi tidak stabil dan mengganggu kinerja mesin utama itu sendiri.

## B. KERANGKA PEMIKIRAN

### MEMPERTAHANKAN KINERJA KETEL UAP DENGAN MENJAGA UNSUR KIMIAWI PADA AIR KETEL MELALUI PERAWATAN AIR KETEL DI LNG/C EKAPUTRA 1

#### IDENTIFIKASI MASALAH

1. Kadar pH yang rendah dalam air ketel
2. Tingginya kadar oksigen dalam air ketel.
3. Adanya kandungan unsur kekerasan (*hardness*) dalam air ketel

#### BATASAN MASALAH

Kadar pH yang rendah dalam air ketel

Adanya kandungan unsur kekerasan (*hardness*) dalam air ketel

#### RUMUSAN MASALAH

Mengapa kadar pH dalam air ketel rendah?

Mengapa terdapat kandungan unsur kekerasan (*hardness*) dalam air ketel?

#### ANALISIS DATA

*Blowdown* tidak dilakukan secara berkala

Kurangnya pemberian dosis hidrazin

Kurangnya injeksi bahan kimia ke dalam air ketel

#### PEMECAHAN MASALAH

Melakukan *Blowdown* secara berkala

Menambahkan dosis hidrazin ke dalam air ketel

Melakukan analisa kimiawi dan injeksi bahan kimia ke dalam air ketel

#### OUTPUT

Unsur kimiawi dalam air ketel dapat dijaga dan kinerja ketel uap dapat dipertahankan

## **BAB III**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **A. DESKRIPSI DATA**

Sistem kerja dari ketel uap adalah tentang aliran air ketel. Air ketel yang tersimpan di dalam tangki air distilasi dipompa menuju *deaerator* untuk meminimalisir kandungan oksigen di dalam air ketel. Selain itu, air ketel juga melalui proses pemanasan awal untuk memaksimalkan perpindahan energi kalor (*heat exchange*) pada sistem.

Setelah melalui *deaerator*, air ketel ditransfer menuju *steam drum* oleh pompa air ketel (*main feed water pump*). Lokasi *deaerator* yang tinggi (berbeda 3-4 lantai dari pompa air ketel) menghasilkan tekanan keluaran yang tinggi yaitu  $\pm 80 \text{ kg/cm}^2$ . Hal ini diperlukan karena *steam drum* adalah tangki yang menampung air dan juga uap jenuh sehingga di dalam tangki tersebut memiliki tekanan tersendiri. Oleh karena itu, air ketel harus ditransfer dengan tekanan tinggi.

*Steam drum* yang berada di bagian atas ketel terhubung dengan *water drum* yang berada di bagian bawah ketel oleh pipa-pipa yang disebut *main bank*. Air ketel yang tertampung di dalam *steam drum* bersirkulasi melalui *main bank* dan *water drum*. Posisi *main bank* yang berada di samping dapur (*furnace*) menyebabkan pemanasan air melalui pipa-pipa sehingga terbentuk uap dari air ketel yang bersirkulasi tersebut. Uap ini disebut dengan uap jenuh yang terkumpul di dalam *steam drum*.

Selanjutnya uap jenuh ini bergerak menuju *superheater*, yaitu sebuah susunan pipa-pipa yang terletak di dekat dapur (*furnace*). Uap jenuh kemudian dipanaskan kembali hingga terbentuk uap akhir yang memiliki

sifat kering dengan spesifikasi tekanan uap  $\pm 60 \text{ kg/cm}^2$  dan temperatur uap  $\pm 515^\circ\text{C}$ .

Pada tanggal 21 Oktober 2023, penulis mendapati hasil dari laporan perawatan air ketel tidak sesuai dengan spesifikasi dari buku manual perawatan. Berdasarkan data tersebut, terdapat dua poin yang signifikan yaitu:

1. Kadar pH yang rendah dalam air ketel.
2. Tingginya kandungan kekerasan (*hardness*) pada air ketel yaitu kadar silika.

Berdasarkan laporan perawatan air ketel tersebut, terlihat dari tanggal 17 sampai 22 Oktober 2023 tidak ada injeksi bahan kimia ke dalam air ketel ataupun dilakukannya *blowdown*. Hal ini membuat spesifikasi air ketel yang buruk karena sebelumnya *blowdown* dan injeksi dilakukan setidaknya 3-4 hari sekali.

Pada tanggal 23, 26, dan 29 Oktober 2024, penulis melakukan *blowdown* untuk menurunkan kadar silika. Penulis juga melakukan analisa kimia air ketel sehari setelah melakukan *blowdown* untuk melihat hasil penurunan kadar silika tersebut. Selain itu, penulis juga melakukan injeksi bahan kimia dengan nama D-Clean 801 yaitu senyawa campuran  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan  $\text{NaOH}$  untuk menaikkan pH air ketel. Pada tanggal 24 Oktober 2024, terlihat kadar silika mengalami penurunan dan pH mengalami kenaikan. Untuk data lengkap dapat dilihat pada lampiran VI.

## **B. ANALISIS DATA**

Ketel uap adalah sebuah bejana tertutup yang dapat membentuk uap dengan tekanan lebih dari 1 atmosfer, dengan jalan memanaskan air ketel yang berada didalamnya dengan gas-gas panas dari hasil pembakaran. Uap digunakan sebagai media pemanas karena uap memiliki kadar kalor yang tinggi, sehingga memungkinkan perpindahan jumlah kalor yang tinggi pula pada pipa uap yang ukurannya tidak terlalu besar. Pada berat dan suhu yang

sama uap mengandung 25 kali lebih banyak kadar kalor dibandingkan dengan udara atau gas asap.

Uap digunakan untuk memberikan tenaga dan kalor karena uap memiliki hal-hal sebagai berikut :

1. Uap mudah diatur, terutama dalam pengendalian suhu. Pada saat mengembun uap menyerahkan kalornya pada suhu yang relatif tetap atau konstan.
2. Uap relatif bersih, tanpa rasa dan bau.
3. Uap memiliki kalor yang tinggi. Hal ini memungkinkan pemindahan jumlah kalor yang tinggi dengan pipa uap yang tidak begitu besar. Pada berat dan suhu yang sama uap mengandung 25 kali lebih banyak kadar kalor dibandingkan dengan udara atau gas asap.
4. Kalor dalam uap dapat dimanfaatkan berulang-ulang. Contohnya pada penguapan, kalor yang diserahkan uap ke fluida yang mengandung air, sebagian besar kalor tersebut terkandung di dalam uap air yang keluar dari bejana. Dan uap air ini dapat dipakai sebagai pemanasan lagi.
5. Uap dapat dipergunakan untuk pembangkit tenaga terlebih dahulu kemudian dipakai untuk pemanasan.

Berdasarkan hal tersebut maka sebagai operator yang bertanggung jawab atas kelancaran pengoperasian ketel uap di atas kapal harus merawat dan memelihara ketel uap dengan baik.

Untuk memelihara dan merawat ketel uap agar menghasilkan uap sesuai jumlah yang diharapkan atau dibutuhkan demi kelancaran pengoperasian kapal, ada beberapa hal yang harus kita perhatikan. Pada dasarnya ada dua faktor yang mempengaruhi normal atau tidaknya produksi uap, yang pertama yaitu media pemanas air ketel atau biasa disebut pemanas sebagai alat untuk menyebabkan timbulnya api untuk media pemanas air ketel, dan yang kedua adalah air ketel itu sendiri.

Media pemanas memengaruhi perubahan air menjadi uap di dalam ketel uap. Pemanas mempunyai peran penting, dalam hal ini burner dan penyuplai udara. Saat penulis melakukan praktek laut burner selalu rutin

dibersihkan sehingga pembakaran yang terjadi di dalam ruang pembakaran sempurna. Hal ini juga dibantu karena adanya kipas pendorong (*forced draft fan*) yang menyuplai udara sehingga pembakaran menjadi lebih baik. Hal ini dibuktikan oleh asap sisa pembakaran yang keluar dari cerobong asap cenderung bersih dan tidak kehitaman.

Kandungan kimiawi di dalam air ketel itu sendiri pun merupakan suatu hal yang sangat esensial dalam pengoperasian ketel uap. Ini dikarenakan terjadi kontak langsung antara air ketel dengan pipa-pipa ketel uap yang notabene ketel uap tersebut adalah “jantung” dari permesinan di kapal. Oleh karena itu, perawatan air ketel haruslah dilaksanakan secara tekun dan teliti, baik dari segi pemberian injeksi ke dalam sistem air ketel maupun dari analisa percobaan unsur kimiawi air ketel itu sendiri (*boiler water analysis*). Perhatian khusus pada proses pelaksanaan pemberian injeksi harus dilakukan dan analisa percobaan unsur kimiawi air ketel harus berdasarkan prosedur yang sesuai.

Berdasarkan data yang diperoleh, penulis menjabarkan analisis data dari masalah yang terjadi sebagai berikut:

### **1. Kadar pH yang rendah dalam air ketel**

Kadar pH yang rendah akan menimbulkan beberapa akibat diantaranya:

#### *a. Carryover*

*Carryover* adalah suatu keadaan dimana padatan terlarut dalam air ketel terbawa ke dalam *steam* dan dapat menjadi kerak di sepanjang jalur pipa.

#### *b. Bahan kimia tidak bekerja dengan baik*

Fosfat yang berfungsi sebagai *scale inhibitor* bekerja pada pH di atas 9,5.

Kadar pH yang rendah bisa disebabkan oleh kurangnya pemberian dosis hidrazin ke dalam air ketel. Ini dikarenakan hidrazin sendiri memiliki sifat basa yang akan meningkatkan pH air ketel. Selain itu, kurangnya injeksi bahan kimia juga bisa menjadi penyebab kadar pH

rendah karena hasil reaksi injeksi tersebut juga meningkatkan kadar pH di dalam air ketel. Hal ini juga harus dibarengi dengan *blowdown* secara berkala agar endapan-endapan hasil reaksi injeksi tidak tertinggal di dalam komponen ketel uap.

## 2. Tingginya kandungan kekerasan (*hardness*) pada air ketel

Pembentukan zat mineral yang dapat menyebabkan kerusakan pada komponen ketel uap berasal dari tingginya kadar kandungan kekerasan (*hardness*) pada air ketel.

Kondisi air pengisian ketel yang digunakan haruslah benar benar memenuhi persyaratan, yang artinya sesuai dengan yang diinginkan menurut buku petunjuk ketel uap untuk mencegah terjadinya endapan keras di sisi pipa-pipa air instalasi ketel. Selanjutnya endapan dapat menyumbat pipa air yang nantinya semakin sempit dan menyebabkan sirkulasi air ketel di dalam pipa terhambat. Skala formasi berarti pembentukan kerak atau pengerasan pada bagian pipa dikarenakan timbunan endapan dan kotoran yang mengeras dan sulit untuk dihilangkan dari pipa ketel.

Kandungan kekerasan (*hardness*) yang dapat menyebabkan terjadinya kerak yang ada dalam air pengisian ketel adalah :

- a. Silika ( $\text{SiO}_3$ )
- b. Natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

Endapan-endapan ini akan menimbulkan kerak pada bagian tepi pipa-pipa ketel uap. Jika tidak ditangani, kerak ini akan membuat pipa-pipa ketel menjadi rapuh sehingga dalam jangka panjang dapat akan menimbulkan lubang pada pipa-pipa tersebut.

Di samping itu, tingginya kandungan kekerasan (*hardness*) juga bisa disebabkan oleh kesalahan ketika melakukan analisa kimiawi pada air ketel. Oleh karena itu, analisa kimiawi pada air ketel harus dilaksanakan dengan teliti dan cermat. Jika terjadi kesalahan pembacaan ataupun penaksiran dari hasil yang telah diperoleh ketika melakukan

percobaan kimia dapat berakibat fatal seperti injeksi yang berlebihan atau bahkan tidak melakukan injeksi sama sekali berlebih.

### C. PEMECAHAN MASALAH

Berdasarkan analisis data yang telah penulis kemukakan, maka penulis dapat memberikan alternatif pemecahan masalah yang sesuai yaitu sebagai berikut.

#### 1. Alternatif pemecahan masalah

##### a. Melakukan *blowdown* secara berkala

Ketel uap atau *boiler*, atau biasa disebut juga *steam producer* merupakan suatu alat yang digunakan untuk menghasilkan uap (*steam*) untuk keperluan pembangkitan tenaga (*power*), proses dan juga pemanas dalam industri.

Air yang disuplai ke dalam ketel uap dari *feedwater* (pengisi air ketel) masih mengandung kotoran-kotoran (*impurities*) yang berupa suspensi, garam-garaman, lumpur, maupun padatan-padatan. Kotoran tersebut dapat mengendap dan terakumulasi di dalam ketel apabila ketel uap beroperasi secara terus-menerus. Peningkatan konsentrasi kotoran berupa padatan-padatan yang terlarut dalam air ketel dapat bercampur dengan uap (*steam*) sehingga menyebabkan kerusakan pada pipa, steam traps, maupun operasi alat-alat yang lain, khususnya pada turbin.

Adapun peningkatan konsentrasi berupa suspensi yang berupa lumpur (*sludge*) akan berpengaruh pada efisiensi boiler dan proses *heat transfer*.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, maka air dalam ketel uap perlu dilakukan pembersihan atau “*blowdown*” secara berkala untuk mengontrol tingkat konsentrasi kotoran tersebut di dalam boiler.

*Blowdown* adalah pembuangan air di dalam tangki air ketel uap yang bertujuan untuk mengurangi konsentrasi kotoran di dalam ketel dengan memanfaatkan tekanan dari ketel uap itu sendiri.

*Blowdown* pada permukaan air ketel (*surface water blowdown*) biasanya dilakukan secara berkala untuk mengurangi jumlah padatan terlarut dalam air ketel. Adapun *blowdown* pada bagian dasar ketel (*bottom blowdown*) berfungsi untuk membuang kotoran berupa lumpur (*sludge*) yang mengendap di dasar ketel

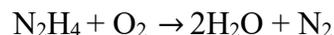
*Boiler blowdown* yang dilakukan secara periodik sangat penting. Namun, *blowdown* yang tidak benar dapat menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar, tambahan perlakuan kimiawi lain (*chemical treatment*) dan heat loss.

Dengan melakukan *blowdown* secara berkala, kualitas air ketel dapat dijaga di samping dengan melaksanakan injeksi bahan kimia yang disertai dengan analisa percobaan kimia yang sesuai dengan prosedur di dalam buku manual.

#### **b. Menambahkan dosis hidrazin ke dalam air ketel**

Hidrazin adalah bahan kimia yang digunakan dalam sistem boiler untuk mengurangi atau menghilangkan oksigen terlarut dalam air. Oksigen dapat merusak sistem boiler karena menyebabkan korosi pada pipa-pipa dan peralatan lainnya. Oksigen juga dapat menurunkan efisiensi sistem boiler karena dapat mengurangi panas yang dapat disimpan oleh air.

Fungsi dari hidrazin adalah menghilangkan oksigen terlarut dalam air dengan cara mengikat oksigen tersebut. Ketika senyawa ini bertemu dengan oksigen, reaksi kimia terjadi dan oksigen terlarut akan terikat. Berikut adalah reaksi hidrazin dengan oksigen terlarut :



Penentuan dosis yang tepat, biasanya dilakukan analisa unsur kimiawi terlebih dahulu untuk mengetahui kadar hidrazin dalam air ketel dan kondisi lainnya. Setelah itu, dapat ditentukan dosis hidrazin yang tepat sesuai dengan hasil uji laboratorium dan jenis chemicals yang akan dipakai.

Sebagai tambahan, penting untuk memantau tingkat oksigen terlarut dalam air secara teratur agar dapat menyesuaikan dosis hidrazin sesuai dengan kebutuhan. Jika tingkat oksigen terlalu tinggi atau terlalu rendah, dapat menyebabkan masalah pada sistem boiler seperti korosi atau efisiensi yang rendah. Oleh karena itu, penting untuk memantau tingkat oksigen secara teratur dan menyesuaikan dosis hidrazin sesuai dengan kebutuhan.

Dosis yang terlalu rendah dari hidrazin dapat menyebabkan oksigen yang tersisa dalam air, yang dapat menyebabkan korosi pada pipa-pipa dan peralatan boiler. Sedangkan dosis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pencemaran dan kerusakan pada sistem boiler.

Oleh karena itu, sangat penting untuk menentukan dosis hidrazin yang tepat agar dapat mencegah masalah pada sistem boiler dan menjaga efisiensi sistem.

### **c. Melakukan analisa kimiawi dan injeksi bahan kimia ke dalam air ketel**

Sosialisasi mengenai injeksi bahan kimia perlu dilakukan. Hal ini berkaitan dengan *safety* dalam menjaga kualitas air ketel. Selain itu, hal ini juga bertujuan untuk menghindari pemakaian bahan kimia yang berlebihan. Penekanan dalam sosialisasi ini adalah tentang pentingnya pengawasan yang terkontrol apabila hendak melakukan injeksi.

Dalam melakukan tindakan pencegahan yang tepat maka perlu diberikan dosis perawatan kimia dalam jumlah yang tepat. Pemeriksaan (analisis) kualitas air pengisian ketel ini sebaiknya dilakukan secara teratur, begitu juga dengan hisapan (permukaan atau dasar) dan selanjutnya dilakukan perawatan kimia sehingga mendapatkan hasil yang lebih baik dengan pengertian pencampuran bahan kimia dan air ketel sudah homogen. Dimana persediaan alat-alat yang dipakai dan tempat penyimpanannya harus diperhatikan. Kemudian hasil analisa dicatat. Dalam melakukan perawatan air

ketel dengan menambahkan bahan kimia harus memperhatikan persediaan yang ada dan peralatan keamanan harus selalu di pakai seperti: sarung tangan, masker, kacamata keamanan dan lain-lain. Hal ini untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan.

Dalam melakukan hisapan permukaan dan dasar harus memperhatikan posisi kapal dan sebaiknya dilakukan siang hari hal ini untuk menghindari kejadian yang tidak diinginkan dan juga supaya mudah dipantau.

Dengan adanya perawatan air ketel yang benar dan rutin, maka dapat mengurangi terjadinya endapan-endapan yang bersifat sementara/permanen di dalam ketel. Secara rutin melakukan hisapan permukaan untuk membuang kotoran yang mengambang dan hisapan dasar untuk membuang endapan endapan. Air ketel tidak boleh bersifat asam pH dibawah 7,5 , mengandung gas O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> karena gas ini menyebabkan korosi dan larutan bereaksi asam mempercepat reaksi korosi. Air ketel tidak boleh terlalu basa pH diatas 14,0, karena akan menyebabkan keretakan basa, oleh karena itu maka pemberian zat kimia harus dilakukan.

Berikut adalah prosedur analisa unsur kimiawi air ketel yang dilaksanakan di atas kapal berdasarkan buku instruksi manual:

- 1) M-Alkalinitas
  - a) Masukkan 50 ml sampel air.
  - b) Tambahkan 4 tetes indikator untuk M-Alkalinitas.
  - c) Tambahkan reagen 1 secara perlahan ke dalam larutan sambil diaduk hingga warna biru kehijauan larutan menjadi tidak berwarna.
  - d) Catat tetesan reagen 1 yang ditambahkan.
- 2) P-Akalinitas
  - a) Masukkan 50 ml sampel air.
  - b) Tambahkan 4 tetes indikator untuk M-Alkalinitas.

- c) Tambahkan reagen 1 secara perlahan ke dalam larutan sambil diaduk hingga warna merah keunguan larutan menjadi tidak berwarna.
  - d) Catat tetesan reagen 1 yang ditambahkan.
- 3) Ion Klorida
- a) Masukkan 50 ml sampel air dari tes P-Alkalinitas.
  - b) Tambahkan 1 ml reagen A.
  - c) Tambahkan reagen B secara perlahan ke dalam larutan sambil diaduk hingga warna kuning larutan berwarna coklat terang.
  - d) Catat volume reagen B yang ditambahkan.
- 4) Hidrazin
- a) Masukkan 25 ml sampel air ketel.
  - b) Tambahkan 25 ml *P-Dimethylamino Benz-aldehyde*
  - c) Tunggu selama 15 menit dan lakukan pengukuran panjang gelombang larutan tersebut dalam *spectrophotometer*.
- 5) Silika
- a) Masukkan 10 ml sampel air ketel.
  - b) Tambahkan 5 ml asam klorida.
  - c) Tambahkan 5 ml larutan *ammonium molybdate*.
  - d) Tunggu selama 5 menit, setelah itu tambahkan 5 ml asam sitrat dan 5 ml larutan sodium sulfat.
  - e) Lakukan pengukuran panjang gelombang larutan tersebut dalam *spectrophotometer* setelah didiamkan 10 menit.
- 6) Fosfat
- a) Masukkan 20 ml sampel air ketel.
  - b) Tambahkan 15 ml *ethyl alcohol* dan 10 ml *vanado molybdate*.
  - c) Tunggu selama 20 menit, setelah itu lakukan pengukuran panjang gelombang larutan tersebut dalam *spectrophotometer*.

Pengaturan yang baik dalam pemberian bahan kimia pada air ketel memang sangat diperlukan guna mencegah timbulnya mineral-mineral yang dapat merusak komponen ketel. Pemeriksaan yang rutin dijalankan setiap hari sangat diperlukan. Pemeriksaan yang rutin dijalankan setiap hari sangat diperlukan karena kondisi air sewaktu-waktu terus berubah. Untuk itu diperlukan pendataan dan catatan dalam pemberian perawatan kimia pada air ketel. Masinis harus membuat grafik atau skala perbandingan antara air dan perawatan yang ditambahkan ke dalam air untuk kadar yang tepat. Dan hal tersebut harus diketahui oleh setiap awak yang menggantikan untuk bertanggung jawab atas ketel uap diatas kapal.

Ada bermacam-macam bahan kimia untuk perawatan air ketel. Di bawah ini ada beberapa metode yang biasa digunakan untuk merawat air ketel di atas kapal :

1) Perawatan dengan menggunakan *calcium hydroxide*  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Metode ini bertujuan untuk menghindari terjadinya endapan yang disebabkan oleh kimia dari kekerasan tetap. Air ketel yang mengandung *magnesium chloride* ( $\text{MgCl}_2$ ) atau *magnesium sulphate* ( $\text{MgSO}_4$ ), maka setelah bereaksi dengan kalsium hidroksida akan menimbulkan bahan lain berupa lumpur .

2) Penambahan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ )

Perawatan dengan menggunakan natrium hidroksida  $\text{NaOH}$  metode ini sangat efektif karena bahan kimia tersebut bereaksi dengan garam-garam kimia yang menyebabkan kekerasan sementara pada ketel, misalnya: *Calcium hydrocarbonate*  $\text{Ca(HCO}_3)_2$  atau *magnesium hydrocarbonate*  $\text{Mg(HCO}_3)_2$  dan juga garam-garam kimia yang *sulphate* ( $\text{MgSO}_4$ ) dan *magnesium chloride* ( $\text{MgCl}_2$ ).

Adapun fungsi utama pemberian bahan kimia di atas adalah:

- a) Komponen yang mengeras menjadi kerak diubah untuk dilenyapkan dan diserap, baik itu endapan atau kerak agar dapat dengan mudah dibuang keluar dari bagian ketel.
- b) pH dari air ketel dijaga *alkalinity*-nya agar tidak terjadi pembentukan kerak silika.
- c) Korosi yang disebabkan oksigen terlarut dicegah dengan memindahkan oksigen dari dalam air.
- d) Memindahkan dan menghilangkan bahan padat dari dalam ketel ke uap dicegah dan dipertahankan nilai standarnya agar kualitas air tetap terjamin baik.

Di samping melakukan perawatan air, perawatan terhadap alat alat untuk melakukan pengetesan juga perlu dirawat dan dijaga.

## 2. Evaluasi terhadap alternatif pemecahan masalah

Berdasarkan masing-masing alternatif pemecahan masalah diatas penulis melakukan evaluasi lebih lanjut untuk menentukan langkah-langkah pemecahan masalah yang paling efektif yang dijabarkan pada tabel berikut:

**Tabel 3.1**

Keuntungan dan Kerugian terhadap Alternatif Pemecahan Masalah

<b>Alternatif Pemecahan Masalah</b>	<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>
<b>Elemen 1a</b>	1) Sangat mudah dilakukan, karena hanya membuka keran air dari ketel menuju ke laut 2) Hasil yang optimal, karena prinsipnya sama dengan menguras bak sehingga air yang	1) Banyak membuang persediaan air yang seharusnya dipakai ketel uap untuk penguapan. 2) Akan menambah lebih banyak lagi mineral karena air untuk

	berada di dalam tangki diperbaharui	menambahkan air pengisian ketel akan diperoleh dari air <i>fresh water tank</i> yang mana air tersebut banyak sekali mengandung mineral.
<b>Elemen 1b</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Praktis dapat mengubah kualitas air ketel</li> <li>2) Mudah untuk dilakukan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Memberikan dampak yang signifikan apabila tidak dilakukan pengawasan pada pelaksanaannya.</li> <li>2) Membahayakan bagi pelaksana karena berkaitan dengan bahan kimia</li> </ol>
<b>Elemen 1c</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Hasil yang diketahui dari pengetesan dan analisa air ketel akurat dan dapat langsung ditanggulangi (injeksi bahan kimia).</li> <li>2) Hasil dari perawatan ini tidak hanya berdampak pada air pengisian ketel, namun juga pada komponen komponen yang ada di</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Dapat menyebabkan iritasi pada kulit masinis apabila kurang berhati hati dalam melakukan analisa air ketel disebabkan zat kimia yang akan digunakan sebagai media pengetesan</li> </ol>

	dalam ketel karena terhindar dari korosi, endapan pada pipa atau keretakan basa.	air ketel mengenai kulit dari masinis. 2) Zat kimia dan peralatan yang diperlukan untuk pengetesan harus dalam keadaan selalu bersih dan tersedia.
--	--	---

### 3. Pemecahan masalah yang dipilih

Dari permasalahan yang penulis angkat mengenai kualitas air yang kurang baik dan terdapat zat mineral yang dapat merusak komponen ketel penulis memilih pemecahan masalah yang dianggap paling baik dari segi proses pengetesan, pencegahan dan perawatannya.

#### a. Melakukan *blowdown* secara berkala

Pelaksanaan *blowdown* adalah cara yang paling efektif untuk mengendalikan kualitas air ketel sehingga tingkat evaporasi ketel uap dapat berjalan dengan stabil. Hal ini berkaitan dengan prinsip dasar yang sama dengan menguras air di dalam bak yang secara otomatis memperbaharui seluruh volume air yang berada di dalam tangki. Jika ini dilakukan secara rutin setidaknya 3-4 hari sekali, maka usia penggunaan ketel uap dapat diperpanjang.

Air ketel sering berisi beberapa kadar dari kotoran, seperti padatan tersuspensi dan terlarut. Kotoran dapat tetap dan menumpuk di dalam kete; sepanjang operasi ketel terus berlanjut. Meningkatnya konsentrasi padatan terlarut dapat menyebabkan *carryover* air ketel menjadi uap, menyebabkan kerusakan pada pipa, steam trap dan bahkan peralatan proses.

Meningkatnya konsentrasi padatan tersuspensi dapat membentuk lumpur, yang merusak efisiensi ketel dan kemampuan transfer panas. Untuk menghindari masalah ini, air harus dibuang secara berkala atau "*blowdown*" dari ketel untuk mengendalikan konsentrasi padatan terlarut dan total padatan tersuspensi dalam ketel uap. *Blowdown* dari permukaan level air sering dilakukan secara terus menerus (*continuous*) untuk mengurangi tingkat padatan terlarut, dan *blowdown* drum bawah adalah dilakukan secara berkala untuk menghilangkan lumpur dari drum bawah ketel.

Pentingnya *boiler blowdown* sering diabaikan. *Blowdown* yang tidak benar dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar yang meningkat, tambahan pemakaian bahan kimia, dan kehilangan panas. Selain itu, air *blowdown* memiliki suhu dan tekanan yang sama seperti air *boiler*. Panas *blowdown* dapat di pulihkan dan di gunakan kembali dalam operasi ketel uap.

**b. Melakukan analisa kimiawi dan injeksi bahan kimia ke dalam air ketel**

Analisa air ketel yang baik memberikan informasi yang tepat untuk pemberian injeksi bahan kimia ke dalam sistem air ketel. Selain itu, injeksi bahan kimia dapat meningkatkan kadar pH dengan cepat dan menstabilkannya.

## **BAB IV**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. KESIMPULAN**

Berdasarkan penjabaran yang telah penulis kemukakan pada bab-bab sebelumnya, penulis dapat menyimpulkan mengapa masalah ini dapat terjadi antara lain sebagai berikut:

1. Kadar pH air ketel rendah disebabkan oleh kurangnya pemberian dosis hidrazin dan kurangnya injeksi bahan kimia, oleh karena itu dibutuhkan pengawasan terhadap pH setiap hari dan diperlukan *blowdown* secara berkala setidaknya 3-4 hari sekali agar endapan-endapan hasil reaksi injeksi tidak tertinggal di dalam ketel uap.
2. Adanya kandungan unsur kekerasan (*hardness*) dalam air ketel disebabkan oleh endapan-endapan yang tertinggal dalam air ketel. Hal ini dikarenakan interval *blowdown* yang terlalu panjang atau *blowdown* tidak dilaksanakan secara berkala. Oleh karena itu, perlu perhatian khusus terhadap hal ini agar kandungan unsur kekerasan (*hardness*) dalam air ketel dapat dikontrol.

Dari dua penyebab masalah tersebut, penulis dapat menyimpulkan letak titik utama permasalahan, yaitu kesalahan dari operator atau *human error*. Semua prosedur yang telah diberikan pembuat mesin (*maker*) dan segala bentuk buku instruksi permesinan yang ada di atas kapal tidak dapat diaplikasikan dengan baik jika terjadi kesalahan dari si pengguna.

Kembali lagi bahwa *safety* adalah kunci penting di dalam setiap pekerjaan khususnya pekerjaan yang memiliki risiko tinggi seperti pekerjaan di atas kapal. Oleh karena itu, sosialisasi rutin sangat diperlukan mengingat adanya hierarki di atas kapal dan juga kepribadian anggota

kamar mesin yang berbeda-beda sehingga kesadaran akan pentingnya keselamatan bekerja dari setiap anggota kamar mesin dapat timbul.

## **B. SARAN**

Mengingat bahwa sangat krusialnya perawatan ketel uap, penulis memberikan solusi yang dapat menjadi bahan pertimbangan pembaca untuk ke depannya, yaitu:

1. Melakukan pengawasan secara rutin terhadap pH dan menyesuaikan dosis hidrazin serta injeksi bahan kimia berdasarkan hasil analisa kimia air ketel.
2. Selalu memperhatikan prosedur analisa kimiawi air ketel yang sesuai dengan buku instruksi manual.
3. Melaksanakan *blowdown* secara rutin untuk menghindari bahaya jangka panjang yang dapat terjadi pada pipa-pipa ketel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Djokosetyardjo, IR.M.J, 2003, *Ketel Uap*, Cetakan kelima, Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Gunarti, Monika Retno, 2021, *Analisis Program Boiler Water Treatment di Kapal*, Vol.6, No.1, Jurnal 7 Samudra Politeknik Pelayaran Surabaya.
- Johan Handoyo, Jusak, 2015, *Manajemen Perawatan dan Perbaikan Kapal*. Jakarta.
- Nanda, Riski, 2017, *Pengaruh Variasi Temperatur Feedwater Boiler Terhadap Performance Boiler Type N-600 SA Dengan Kapasitas 20 Ton Uap/Jam Di PT Perkebunan Nusantara V Sei Pagai*, Universitas Islam Riau.
- Riyanto, Jonnet, 2018, *Meningkatkan Kualitas Air Ketel Uap Guna Menstabilkan Kandungan Oksigen Berlebih di atas Kapal SS Ekaputra I*, STIP, Jakarta.
- Rusnoto, 2013, *Pencegahan Kerak dan Korosi pada Air Isian Ketel Uap*.
- Sulaiman, 2007, *Pencegahan Korosi dengan Boiler Water Treatment (BWT) pada Ketel Uap Kapal*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Veen, T Van Der, 1977, *Teknik Ketel Uap*, Terjemahan Prof. Dr. Mr. Sutan Takdir. Penerbit PT. Triasko Madra, Jakarta.
- 1989, *Boiler Water Treatment*, Cetakan pertama, Penerbit ENERCON, Islamabad.

<http://artikel-teknologi.com/korosi-pada-boiler/>

# LAMPIRAN I

## TABEL SPESIFIKASI AIR KETEL

**Comparative Table of Water Control Limits for 6MPa class Main Boiler**

Control Item	unit	Shipping Company or Manager				Manufacturers of Boiler Compound				Manufacturer of Boiler		JIS(Japanese Industrial Standard) 5.0~7.0 Mpa
		MOL	MOLING	NYK	K-Line	Kurita Water Industries	UNITOR	Ashland (Drew Ameroid)	Mitsubishi Heavy Industries	Mitsui Engineering & Shipbuilding	Kawasaki Heavy Industries	
Kind of Boiler		Main Boiler	Main Boiler	Main Boiler	Main Boiler	Water Tube Boiler	Water Tube Boiler	Water Tube Boiler	Main Boiler	Water Tube Boiler	Water Tube Boiler	Water Tube Boiler
Kind of Water		Distilled Water	Distilled Water	Distilled Water	Distilled Water	Distilled Water	Distilled Water	Distilled Water	Distilled Water	Ion Exchanged Water	Ion Exchanged Water	Ion Exchanged Water
Treatment Method (*1)		Low-pH	Low-pH	Caustic	Low-pH	Caustic	Caustic	Caustic	Low-pH	Caustic	Caustic	Low-pH
pH at 25°C		9.7 ~ 10.2	9.7 ~ 10.2	10.3 ~ 10.6	9.5 ~ 10.2	9.8 ~ 10.5	9.5 ~ 10.2	9.8 ~ 10.2	9.6 ~ 10.3	9.2 ~ 10.2	10.5 ~ 10.8	9.6 ~ 10.3
P-Alkalinity	ppm as CaCO <sub>3</sub>	40 or less	40 or less	15 ~ 30	2 ~ 10	—	—	—	—	—	20 ~ 40	—
M-Alkalinity	ppm as CaCO <sub>3</sub>	50 or less	50 or less	25 ~ 45	5 ~ 15	—	—	—	—	—	30 ~ 50	—
Electrical Conductivity at 25°C	μs/cm	200 or less	150 or less	150 or less	150 or less	200 or less	150 or less	120 or less	400 or less	40 mS/m or less	250 or less	150 or less
Total Solid	ppm	300 or less	300 or less	75 or less	75 or less	—	—	—	200 or less	300 or less	300 or less	—
Chloride Ion Cl <sup>-</sup>	ppm	20 or less	10 or less	10 or less	10 or less	10 or less	10 or less	16 or less	20 or less	50 mg/ltr or less	10 or less	10 or less
Phosphate Ion PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ppm	5 ~ 15	5 ~ 15	5 ~ 15	10 ~ 20	3 ~ 10	3 ~ 10	15 ~ 25	10 ~ 20	3 ~ 10 mg/ltr	5 ~ 15	3 ~ 10
Silica SiO <sub>2</sub>	ppm	5 or less	5 or less	3 or less	3 or less	2 or less	2 or less	3 or less	3 or less	5 mg/ltr or less	5 or less	5 or less
Residual Hydrazine N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	ppm	—	—	—	—	—	—	0.05 ~ 0.10	0.03 ~ 0.10	—	—	—
pH at 25°C		8.5 ~ 9.0	8.5 ~ 9.0	8.0 ~ 9.0	8.5 ~ 9.0	8.0 ~ 9.2	8.0 ~ 9.0	—	8.0 ~ 9.0	8.5 ~ 9.5	8.0 ~ 9.0	8.0 ~ 9.0
Hardness	ppm as CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	Not Detected	0	Not Detected
Oils and Fats	ppm	Close to 0	Close to 0	Close to 0	Close to 0	Close to 0	Close to 0	—	—	Keep Low	Close to 0	Close to 0
Total Iron Fe	ppm	0.05 or less	0.05 or less	0.05 or less	0.05 or less	0.03 or less	0.03 or less	—	—	50 μg/ltr or less	0.03 or less	0.03 or less
Total Copper Cu	ppm	0.03 or less	0.03 or less	0.02 or less	0.03 or less	0.02 or less	0.02 or less	—	—	30 μg/ltr or less	0.02 or less	0.02 or less
Residual Hydrazine N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (x2)	ppm	0.01 ~ 0.03	0.01 ~ 0.03	0.01 ~ 0.04	0.01 ~ 0.03	0.01 or over	0.01 or over	—	—	0.01 mg/ltr or over	0.01 ~ 0.03	0.01 or over
Dissolved Oxygen O <sub>2</sub>	ppm	0.01 or less	0.01 or less	0.01 or less	0.01 or less	0.007 or less	0.01 or less	—	—	7 μl/ltr or less	0.007 or less	0.007 or less
Chloride Ion Cl <sup>-</sup>	ppm	—	—	—	—	—	—	5 or less	—	—	—	—
Electrical Conductivity at 25°C	μs/cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Silica SiO <sub>2</sub>	ppm	—	—	0.04 or less	—	—	—	—	—	—	—	—
pH at 25°C		—	—	—	—	—	—	8.3 ~ 9.0	—	—	—	—
Chloride Ion Cl <sup>-</sup>	ppm	—	—	—	—	—	—	5 or less	—	—	—	—
Ammonia NH <sub>3</sub> at 25°C	ppm	—	—	—	—	—	—	0.3 or less	—	—	—	—
Total Iron Fe	ppm	—	—	—	—	—	—	0.05 or less	—	—	—	—
Total Copper Cu	ppm	—	—	—	—	—	—	0.02 or less	—	—	—	—
Remarks								Limits for 60~84 kg/cm <sup>2</sup> class boiler.	Limits for 60~84 kg/cm <sup>2</sup> class boiler.	Followed limits of JIS B 8223.		
Investigated or enacted Date		1984	Mar 2007	Dec 2001	Mar 2007	Oct 2002	Oct 2002	Oct 2002	Oct 2002	Oct 2002	Oct 2002	Nov 2002
												Oct 2006
												JIS B 8223 Latest Version (Revised on 20th Oct 2006)

## LAMPIRAN II

### *SPECTROPHOTOMETER*



### LAMPIRAN III

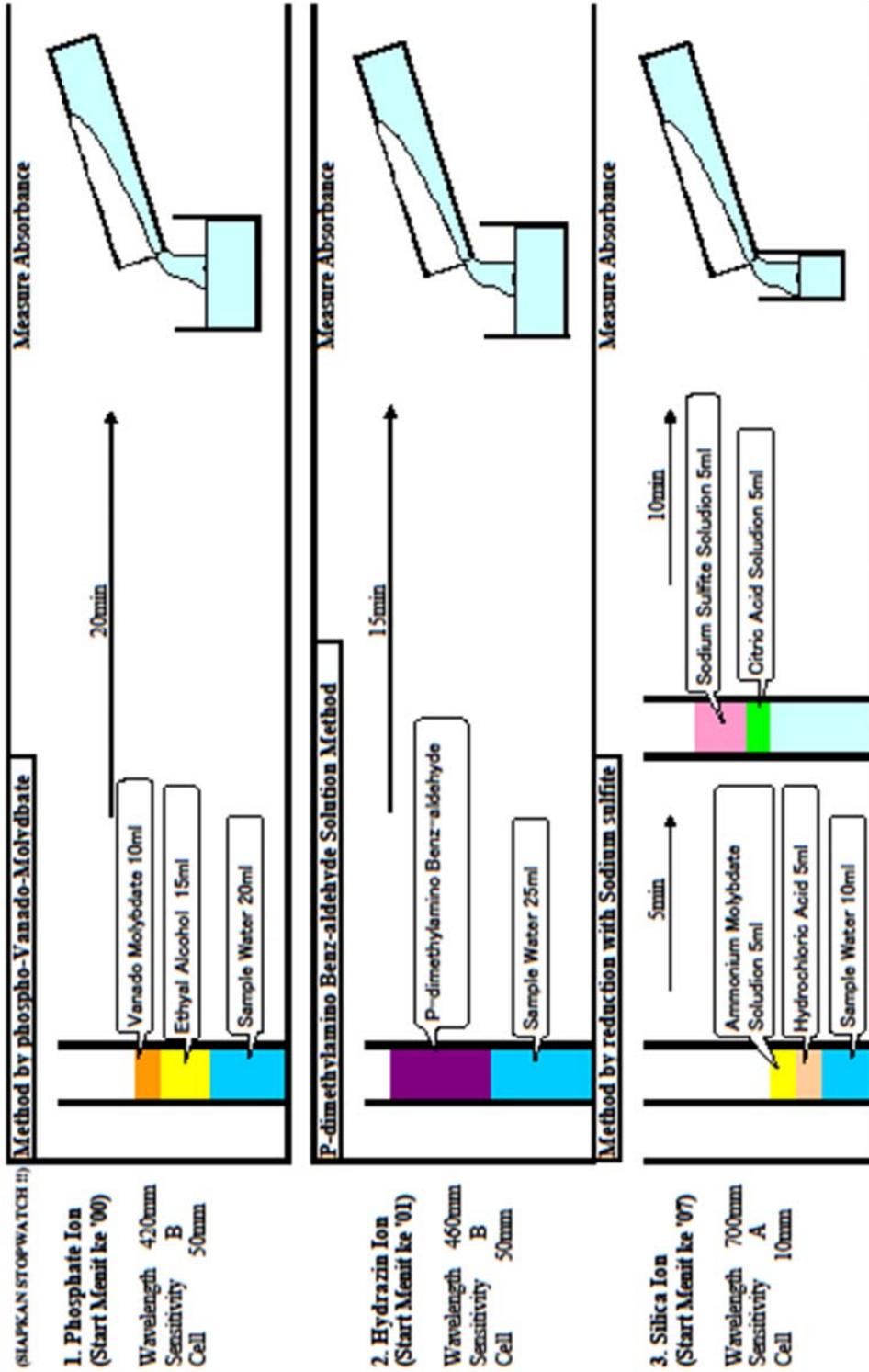
### PERALATAN *BOILER WATER ANALYSIS*



# LAMPIRAN IV

## PROSEDUR *BOILER WATER ANALYSIS*

### Procedure of Boiler Water Analysis by Photometer Type ANA72



# LAMPIRAN V

## TABEL KADAR UNSUR *HARDNESS*

Silica Ion		Phosphate Ion		Hydrazin Ion	
ppm	Absorbance Read	Absorbance Read	Absorbance Read	ppm	ppm
0	0	0.15	6.25	0	0
0.005	0.255	0.155	6.4583	0.005	0.001
0.01	0.50999	0.16	6.6667	0.01	0.002
0.015	0.76499	0.165	6.875	0.015	0.003
0.02	1.01998	0.17	7.0833	0.02	0.004
0.025	1.27498	0.175	7.2917	0.025	0.005
0.03	1.52997	0.18	7.5	0.03	0.006
0.035	1.78497	0.185	7.7083	0.035	0.007
0.04	2.03996	0.19	7.9167	0.04	0.008
0.045	2.29496	0.195	8.125	0.045	0.009
0.05	2.54995	0.2	8.3333	0.05	0.01
0.055	2.80495	0.205	8.5417	0.055	0.011
0.06	3.05994	0.21	8.75	0.06	0.012
0.065	3.31494	0.215	8.9583	0.065	0.013
0.07	3.56993	0.22	9.1667	0.07	0.014
0.075	3.82493	0.225	9.375	0.075	0.015
0.08	4.07992	0.23	9.5833	0.08	0.016
0.085	4.33492	0.235	9.7917	0.085	0.017
0.09	4.58991	0.24	10	0.09	0.018
0.095	4.84491	0.245	10.2083	0.095	0.019
0.1	5.0999	0.25	10.4167	0.1	0.02
0.105	5.3549	0.255	10.625	0.105	0.021
0.11	5.60989	0.26	10.8333	0.11	0.022
0.115	5.86489	0.265	11.0416	0.115	0.023
0.12	6.11988	0.27	11.25	0.12	0.024
0.125	6.37488	0.275	11.4583	0.125	0.025
0.13	6.62987	0.28	11.6666	0.13	0.026
0.135	6.88487	0.285	11.875	0.135	0.027
0.14	7.13986	0.29	12.0833	0.14	0.028
0.145	7.39486	0.295	12.2916	0.145	0.029
0.15	7.64985	0.3	12.5	0.15	0.03
0.155	7.90485	0.305	12.7083	0.155	0.031
0.16	8.15984	0.31	12.9166	0.16	0.032
0.165	8.41484	0.315	13.125	0.165	0.033
0.17	8.66983	0.32	13.3333	0.17	0.034
0.175	8.92483	0.325	13.5416	0.175	0.035
0.18	9.17982	0.33	13.75	0.18	0.036
0.185	9.43482	0.335	13.9583	0.185	0.037
0.19	9.68981	0.34	14.1666	0.19	0.038
0.195	9.94481	0.345	14.375	0.195	0.039
0.2	10.1998	0.35	14.5833	0.2	0.04
0.205	10.4548	0.355	14.7916	0.205	0.041
0.21	10.70979	0.36	15	0.21	0.042
0.215	10.96479	0.365	15.2083	0.215	0.043
0.22	11.21978	0.37	15.4166	0.22	0.044
0.225	11.47478	0.375	15.625	0.225	0.045
0.23	11.72977	0.38	15.8333	0.23	0.046
0.235	11.98477	0.385	16.0416	0.235	0.047
0.24	12.23976	0.39	16.25	0.24	0.048
0.245	12.49476	0.395	16.4583	0.245	0.049
0.25	12.74975	0.4	16.6666	0.25	0.05
0.255	13.00475	0.405	16.875	0.255	0.051
0.26	13.25974	0.41	17.0833	0.26	0.052
0.265	13.51474	0.415	17.2916	0.265	0.053
0.27	13.76973	0.42	17.5	0.27	0.054
0.275	14.02473	0.425	17.7083	0.275	0.055
0.28	14.27972	0.43	17.9166	0.28	0.056
0.285	14.53472	0.435	18.125	0.285	0.057
0.29	14.78971	0.44	18.3333	0.29	0.058
0.295	15.04471	0.445	18.5416	0.295	0.059
0.3	15.2997	0.45	18.75	0.3	0.06
Approximation		Approximation		Approximation	
Absorbance (-Log T) X	50.999	Absorbance (-Log T) X	41.6666	Absorbance (-Log T) X	0.2

# LAMPIRAN VI

## HASIL ANALISA AIR KETEL

SS. EKAPUTRA 1  
**RECORD OF BOILER WATER ANALYSIS**

Month : **OCTOBER**  
 Year : **2023**

DATE	No.1 BOILER										No.2 BOILER										COND. WATER				FEED WATER				REMARK	
	ANALYZER		TEMP	P	M	CI	PO4	SiO2	ANALYZER		TEMP	P	M	CI	PO4	SiO2	ANALYZER		TEMP	P	M	CI	ANALYZER		TEMP	P	M	CI		N2H4
	PH	COND	<200	<40	<50	<10	5~15	<2	PH	COND	<200	<40	<50	<10	5~15	<2	PH	COND	<200	<40	<50	<10	5~15	<2	PH	COND	<200	<20		
1	1014	114	24	2.0	6.0	8.0	7.0	0.3	9.86	67	23	3.0	7.0	8.0	10.0	0.3	8.58	0.34	23	1	8.80	0.26	22	1	8.80	0.26	22	1	0.020	Blowdown both boiler
2	1013	98	24						9.95	73	24						8.62	0.26	24		8.83	0.23	24		8.83	0.23	24			
3	1012	97	22						9.85	75	22						8.65	0.21	22		8.81	0.21	23		8.81	0.21	23			
4	1010	80	25	3.0	6.0	10.0	8.0	0.3	9.97	76	25	4.0	7.0	9.0	8.0	0.3	8.59	0.28	25	1	8.82	0.23	24	1	8.82	0.23	24	1	0.030	
5	1014	71	24						9.88	79	23						8.59	0.25	24		8.80	0.25	23		8.80	0.25	23			Blowdown both boiler
6	1012	64	24						9.88	70	24						8.58	0.24	24		8.82	0.25	25		8.82	0.25	25			
7	1012	71	24						9.89	70	25						8.61	0.27	24		8.85	0.22	24		8.85	0.22	24			
8	1012	73	25	3.0	8.0	8.0	8.0	0.5	9.94	74	25	3.0	8.0	10.0	12.0	0.5	8.58	0.26	25	1	8.88	0.22	25	1	8.88	0.22	25	1	0.030	
9	1015	68	24						9.96	74	24						8.60	0.24	24		8.89	0.21	24		8.89	0.21	24			Blowdown both boiler
10	1012	64	24						9.85	75	22						8.59	0.28	25		8.80	0.25	23		8.80	0.25	23			
11	1012	71	24						9.97	76	25						8.59	0.25	24		8.82	0.25	25		8.82	0.25	25			Blowdown both boiler
12	1016	84	24						9.88	71	24						8.66	0.21	24		8.56	0.22	24		8.56	0.22	24			Blowdown both boiler
13	1015	81	24	4.0	10.0	9.0	8.0	0.5	9.83	69	24	4.0	10.0	9.0	10.0	0.5	8.55	0.26	24	1	8.51	0.24	24	1	8.51	0.24	24	1	0.020	
14	1018	71	24						9.81	74	24						8.56	0.24	24		8.54	0.21	24		8.54	0.21	24			
15	1014	74	24						9.86	73	24						8.66	0.28	23		8.53	0.27	24		8.53	0.27	24			
16	1016	72	25	2.0	5.0	8.0	7.0	0.3	9.86	70	25	3.0	7.0	8.0	10.0	0.3	8.62	0.24	24	1	8.52	0.25	25	1	8.52	0.25	25	1	0.020	Blowdown both boiler
17	1019	69	24						9.96	72	24						8.77	0.28	24		8.59	0.27	24		8.59	0.27	24			
18	1014	63	25						9.93	64	25						8.77	0.28	25		8.58	0.27	25		8.58	0.27	25			
19	1014	63	24						9.93	69	24						8.72	0.29	25		8.53	0.29	25		8.53	0.29	25			
20	1010	80	25						9.81	74	24						8.62	0.24	24		8.52	0.25	25		8.52	0.25	25			
21	9.65	71	24	4.0	12.0	9.0	8.0	0.5	9.68	73	24	4.0	12.0	9.0	8.0	0.5	8.77	0.28	24	1	8.59	0.27	24	1	8.59	0.27	24	1	0.010	
22	9.77	73	25						9.72	72	25						8.66	0.20	25		8.69	0.26	25		8.69	0.26	25			
23	10.02	58	24						10.02	71	24						8.69	0.20	24		8.74	0.26	24		8.74	0.26	24			Blowdown both boiler, injection D-Clean
24	9.98	50	25	4.0	10.0	9.0	8.0	0.5	10.01	70	25	4.0	11.0	9.0	13.0	0.5	8.63	0.20	25	1	8.72	0.26	25	1	8.72	0.26	25	1	0.010	
25	9.85	55	25						10.02	71	25						8.66	0.24	25		8.56	0.26	25		8.56	0.26	25			
26	9.99	54	31						10.05	71	30						8.76	0.27	28		8.78	0.28	30		8.78	0.28	30			Blowdown both boiler
27	10.14	65	23	3.0	9.0	10.0	8.0	1.3	9.96	58	23	4.0	10.0	9.0	10.0	1.3	8.67	0.39	24	1	8.78	0.26	24	1	8.78	0.26	24	1	0.030	
28	10.15	80	25						9.85	59	25						8.69	0.25	25		8.78	0.26	25		8.78	0.26	25			
29	10.00	71	24						9.80	56	24						8.74	0.20	24		8.76	0.25	24		8.76	0.25	24			Blowdown both boiler
30	9.98	54	27	3.0	10.0	9.0	11.0	0.3	9.81	49	26	3.0	10.0	9.0	13.0	0.3	8.69	0.20	26	1	8.68	0.28	26	1	8.68	0.28	26	1	0.020	
31	9.97	46	25						9.73	49	25						8.74	0.20	23		8.80	0.27	25		8.80	0.27	25			

# LAMPIRAN VII

## SHIP'S PARTICULARS

NAME OF VESSEL : EKAPUTRA 1  
KIND OF VESSEL : LNG CARRIER  
NATIONALITY : INDONESIA  
PORT OF REGISTRY : JAKARTA  
OFFICIAL NUMBER : **8560**  
CALL SIGN : YBBQ2

BUILDER : MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD. NAGASAKI - JAPAN  
DATE OF KEEL LAID : AUGUST 2, 1988  
DATE OF LAUNCHED : APRIL 1, 1989  
DATE OF DELIVERED : JANUARY 10, 1990  
CLASSIFICATION : LLOYD REGISTER, LR NO.8706155, GAS CARRIER  
I.M.O NUMBER : **8706155**  
I.M.D.G Code NO : 1972 (Methane)

CHARTERER : PLN  
OPERATOR : HUMOLCO LNG INDONESIA., JAKARTA

NUMBER OF CREW : **40** Persons (Including MASTER)

PRINCIPLE DIMENSIONS : Length Overall ..... 290.00 M  
Length Between Perpendiculars .... 276.00 M  
Breadth moulded ..... 46.00 M  
Depth moulded ..... 25.50 M  
Draught Moulded ..... 11.80 M  
Max. height above sea level ..... 59.00 M

TONNAGE : **GROSS 109,281**  
**NETT 32,777**

FREEBOARD & DEADWEIGHT : 

	<u>DRAFT (EXT)</u>	<u>DISPLACEMENT</u>	<u>DEADWEIGHT</u>
TROPICAL	12.071 M	112.260	81,687
SUMMER	11.825 M	109.558	78,988
LIGHTSHIP	3.97 M	30.570	0.00

CARGO TANK (5 TANKS)  
CAPACITY @ -163°C EXCLUDING DOME: NO.1 TANK = 23,682.570 M3  
NO.2 TANK = 29,880.456 M3  
NO.3 TANK = 29,879.196 M3  
NO.4 TANK = 29,884.038 M3  
NO.5 TANK = 23,686.176 M3  
TOTAL = 137,012.426 M3

CRYOGENIC & GAS HANDLING MACHINERIES  
CARGO PUMP : 1,300 M3/HOUR x 135 MTH x 10 SETS  
SPRAY PUMP : 50 M3/HOUR x 135 MTH x 3 SETS

BOW THRUSTER : 24 TONS, 2,240 HP (1,650 KW)  
WINDLASS : 54.5 TONS x 9 M/MIN.

PROJECT AREA : 

	<u>FULL LOAD (DRAFT 11.00M)</u>	<u>BALLAST (DRAFT 9.50M)</u>
SIDE	7.900 M2	8.400 M2
FRONT	1.600 M2	1.700 M2

MAIN ENGINE : MITSUBISHI MARINE TURBINE ONE  
26,700 HP (19,640 KW) X ONE  
MAIN BOILER : MITSUBISHI MARINE BOILER  
MAX. EVAPORATION: 50 TONS/HOUR x 2 SETS  
CRUISING SPEED : 16.75 KNOTS  
CONSUMPTION OF FUEL OIL : 133 MT/DAY  
BOIL OF RATE : 0.1% PER DAY

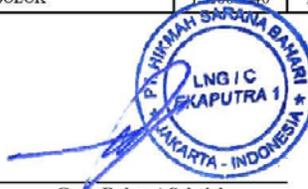
SATCOM V-SAT : +65-3159-1486  
GMDSS MMSI/DSC : 525 022 371  
E-Mail : [ekaputra1@humolco.net](mailto:ekaputra1@humolco.net)  
Mobile phone (Indonesia) : +(62)816-960-955  
Iridium Motorola : +881-651-447-850  
Iridium Pilot Captain : +881-677-707-650  
Phone Inmarsat FB500 : (870) 773 991 038



**Capit. Dwi Rat Sahrial**  
Master Of Ekaputra 1

# LAMPIRAN VIII

## IMO CREW LIST (IMO FAL Form 5)

		Arrival	Departure	Page Number		
1.1 Name of Ship <b>EKAPUTRA 1</b>		1.2 IMO number <b>8706155</b>		1 of 1		
1.3 Call Sign <b>YBBQ2</b>		1.4 Voyage number <b>736 L</b>				
2. Port of arrival/departure <b>BONTANG</b>		3. Date of arrival/departure <b>TBN</b>				
4. Flag State of Ship <b>INDONESIA</b>		5. Next port of call <b>TBN</b>				
6. No.	7. Family name, given names	8. Rank or rating	9. Nationality	10. Date and place of birth	11. Nature and number of identity document	
					Passport No.	Expiry Date
1	RAHMAT SAHRIAL	MASTER	INDONESIAN	1-Jun-1983 / PADANG SIDEMPUAN	X 1231745	7-Jan-2027
2	KUBAISY RACHMADANI	CHIEF MATE	INDONESIAN	30-Jun-1983 / JAKARTA	C 8381309	8-Mar-2027
3	YEPI RIDWAN	1st MATE	INDONESIAN	9-Jun-1989 / CIANJUR	C 419854	3-Jul-2024
4	BELTSAZAR CARTER TARIALLO	2nd MATE	INDONESIAN	14-Mar-1995 / MAKALE	C 5794536	10-Dec-2024
5	ANDIKA PRAWIRA KURNIAWAN	3rd MATE	INDONESIAN	20-Aug-1998 / MAGELANG	C 8506596	25-Feb-2027
6	GALANG AFRINDO LESANDA	4th MATE	INDONESIAN	28-Apr-1999 / TANJUNG PINANG	E 2028740	14-Feb-2033
7	DODY FERISNO	CHIEF ENGINEER	INDONESIAN	15-Feb-1971 / BUKIT TINGGI	C 8426517	11-Jun-2026
8	TESSAR MARSYELDI	Sr.1st ENGINEER	INDONESIAN	28-Mar-1987 / JAKARTA	C 8425878	23-Dec-2026
9	TIO DWIYOGA WIN	Jr. 1st ENGINEER	INDONESIAN	7-Jun-1994 / JAKARTA	C 8427680	28-Jan-2027
10	IMAN CHAERY	2nd ENGINEER	INDONESIAN	6-Oct-1970 / BOGOR	C 3901414	11-Jun-2024
11	MOHAMMED IRVAN	3rd ENGINEER	INDONESIAN	17-Dec-1997 / TANJUNG PINANG	C 2878074	23-Jan-2024
12	ILHAM ACHMAD SYAFII	4th ENGINEER	INDONESIAN	2-Aug-1996 / LAMPUNG TENGAH	C 8102592	9-Nov-2026
13	ACHMAD BUCHORI	BOATSWAIN	INDONESIAN	12-May-1976 / SURABAYA	C 7063762	20-Oct-2025
14	MUJI SUKUR	AB SEAMAN	INDONESIAN	9-Sep-1975 / MAGETAN	C 3076219	9-Apr-2024
15	MARDANI PUTRA	AB SEAMAN	INDONESIAN	29-May-1978 / KP. PANSUR	E 0049960	22-Sep-2027
16	BAHRULUJAJ	AB SEAMAN	INDONESIAN	31-Jul-1996 / CILEGON	E2977954	16-Mar-2033
17	SYAFEI IBNU KOSIM	AB SEAMAN	INDONESIAN	2-May-1989 / KARAWANG	C 6847922	1-Jul-2025
18	ABDUL MUIS	AB SEAMAN	INDONESIAN	7-Feb-1978 / BANGKALAN	E 3996250	13-Jul-2033
19	ULUL AZMI	AB SEAMAN (MC)	INDONESIAN	5-May-1984 / BANGKALAN	C 8426475	18-Jan-2027
20	RISKI EKA NURDYA ANGGARA	ORDINARY SEAMAN	INDONESIAN	3-Jan-1998 / MADIUN	C 3075480	19-Mar-2024
21	JAMISTAR ELIDON LUMBAN SIANTAR	ORDINARY SEAMAN (MC)	INDONESIAN	17-Apr-1998 / SUORING	C 4484000	8-Aug-2024
22	FADHLAN IBNU FASYA	ORDINARY SEAMAN (MC)	INDONESIAN	24-Jan-2002 / JAKARTA	E 4249765	23-Aug-2033
23	ISDARYONO	NO. 1 OILER	INDONESIAN	23-Apr-1976 / CILACAP	C 4806856	17-Nov-2024
24	AGUS PRIYANTO	OILER	INDONESIAN	15-Aug-1967 / TANJUNG PINANG	E2435578	24-Feb-2026
25	JAMIL	OILER	INDONESIAN	15-Dec-1974 / PALOPO	C 6580990	6-Nov-2025
26	SAMSUL BACHSOAN	OILER	INDONESIAN	26-Oct-1970 / MANADO	C 4491610	25-Jul-2024
27	EDWAR	OILER	INDONESIAN	12-Jun-1982 / DUMAI	C8676261	22-Mar-2027
28	BRIAN OKTORA	OILER	INDONESIAN	1-Oct-1975 / JAKARTA	X 1025597	19-Feb-2026
29	ALQODRI	OILER (MC)	INDONESIAN	12-Feb-1963 / LAMPUNG	C 7574799	5-Jan-2026
30	ADAM ADNAN	WIPER	INDONESIAN	29-Jan-1993 / JAKARTA	C 4973387	11-Oct-2024
31	SATRIO AGUNG LAKSONO	WIPER (MC)	INDONESIAN	21-Feb-2001 / JAKARTA	C7805465	15-Apr-2026
32	SUPRIYADI	CHIEF COOK	INDONESIAN	1-Jan-1964 / KEBUMEN	C 7790923	1-Feb-2026
33	ACHMAD BASYAHIR	COOK	INDONESIAN	20-May-1973 / JAKARTA	C8103139	18-Nov-2026
34	MUHAMMAD IMRAN	COOK	INDONESIAN	7-Apr-1971 / JAKARTA	C 5350903	1-Nov-2024
35	RIZAL UMAR	MESSMAN	INDONESIAN	13-Jan-1987 / JAKARTA	X 2189988	8-May-2033
36	HADI MULYADI	MESSMAN	INDONESIAN	25-Sep-1984 / JAKARTA	C 5351381	6-Nov-2024
37	RAHMAT HASBI	DECK CADET	INDONESIAN	24-Sep-2002 / SUKABUMI	E 2601842	16-Mar-2033
38	HARDY ANSYAH OSCARDI	ENGINE CADET	INDONESIAN	18-Apr-2003 / SOLOK	E 2601640	15-Mar-2033
12. Date and signature by master, authorized agent or officer						
Date: TBN					Signature:  Capt. Rahmat Sahrial	