

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS PENGGUNAAN *SAFETY DEVICE***  
**DALAM PENGOPERASIAN BOILER**  
**PADA KAPAL TANKER**

*Diselesaikan Untuk Melengkapi Tugas-tugas dan  
Memenuhi Syarat-syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh :**

**AGIL FITRIANSYAH**  
**2107220039**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**2025**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Agil Fitriansyah

NPM : 2107220039

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Penggunaan *Safety Device* Dalam Pengoperasian  
Boiler Pada Kapal Tanker

Bidang Ilmu : Sistem Kendali

Telah Berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 16 September 2025

Mengetahui dan menyetujui

Dosen Pembimbing

Dr. Elvy Sahnur Nasution S.T., M.Pd

Dosen Pembanding I

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T

Dosen Pembanding II

Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua

Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Surat yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Agil Fitriansyah

Tempat / Tanggal Lahir : Medan / 15 Desember 2001

NPM : 2107220039

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan Sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

**“Analisis Penggunaan *Safety Device* Dalam Pengoperasian Boiler Pada Kapal Tanker”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian kerja hasil milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / keserjanaan saya

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 16 September 2025

Saya yang menyatakan,

  
Agil Fitriansyah

## ABSTRAK

Boiler pada kapal tanker merupakan peralatan vital yang menghasilkan uap untuk pemanas bahan bakar, pelumas, dan kebutuhan akomodasi. Namun, karena bekerja pada tekanan dan suhu tinggi, boiler memiliki potensi risiko besar yang dapat mengganggu keselamatan kerja. Latar belakang penelitian ini berfokus pada pentingnya penggunaan safety device, seperti safety valve, water level sensor, dan flame failure detector, guna meminimalkan potensi kecelakaan dalam pengoperasian boiler. Tujuan penelitian adalah menganalisis kinerja teknis dan kelistrikan dari ketiga perangkat keselamatan tersebut untuk memastikan keandalan operasional serta perlindungan awak kapal. Metode penelitian dilakukan melalui praktik kerja lapangan di PT. Waruna Shipyards Indonesia dengan pendekatan observasi langsung, pengukuran parameter teknis, serta analisis kelistrikan yang meliputi set pressure, kapasitas pelepasan uap, akurasi transmitter, tegangan, resistansi, arus sensor, serta faktor daya motor pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan safety valve berfungsi efektif dalam melepaskan tekanan berlebih, water level sensor mampu memantau ketinggian air dengan akurasi tinggi, dan flame failure detector responsif dalam mendeteksi padamnya api sehingga dapat mencegah potensi ledakan. Kesimpulannya, keberhasilan operasi boiler sangat dipengaruhi oleh efektivitas safety device, yang tidak hanya bergantung pada desain dan fungsi, tetapi juga pada perawatan berkala serta pengawasan berkelanjutan, sehingga keselamatan kapal dan kelancaran pelayaran dapat terjamin..

**Kata Kunci :** *Boiler, Safety Device, Safety Valve, Water Level, Flame Failure.*

## **ABSTRACT**

*Boilers on tankers are vital equipment that produce steam for heating fuel, lubricants, and accommodation needs. However, because they operate at high pressures and temperatures, boilers have significant potential risks that can compromise work safety. The background of this research focuses on the importance of using safety devices, such as safety valves, water level sensors, and flame failure detectors, to minimize the potential for accidents in boiler operation. The objective of this research is to analyze the technical and electrical performance of these three safety devices to ensure operational reliability and crew protection. The research method was carried out through fieldwork practices at PT. Waruna Shipyard Indonesia with a direct observation approach, technical parameter measurements, and electrical analysis covering set pressure, steam release capacity, transmitter accuracy, voltage, resistance, sensor current, and combustion engine power factor. The results showed that the safety valve functions effectively in releasing excess pressure, the water level sensor is able to monitor water levels with high accuracy, and the flame failure detector is responsive in detecting fire extinguishment, thus preventing potential explosions. In conclusion, the success of boiler operations is greatly influenced by the effectiveness of safety devices, which depend not only on design and function, but also on regular maintenance and continuous monitoring, so that ship safety and smooth sailing can be guaranteed.*

**Keywords : Boiler, Safety Device, Safety Valve, Water Level, Flame Failure.**

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, yang telah menetapkan segala sesuatu dengan sempurna, sehingga tiada sehelai daun pun yang jatuh tanpa izin-Nya. Alhamdulillah, atas rahmat dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “ANALISIS PENGGUNAAN *SAFETY DEVICE* DALAM PENGOPERASIAN BOILER PADA KAPAL TANKER” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Dengan penuh rasa syukur, penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada Ayahanda Sukirman, Ibunda Yanti, serta Kakak Maryanti Anggrayni, S.Pd , dan adik Arya Firmansyah, yang senantiasa memberikan cinta, dukungan moral, dan materi tanpa henti. Terima kasih atas doa, nasihat, dan kasih sayang yang tiada habisnya. Keluarga adalah anugerah terindah yang Allah titipkan, dan penulis hanya mampu berdoa semoga setiap cinta, doa, dan pengorbanan Ayah, Ibu, Kakak, dan Adik dibalas Allah SWT dengan limpahan kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan yang abadi.
2. Bapak Prof. Dr .H.Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T. M.Sc., Ph.D, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Bapak Affandi, S.T., M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Dr. Elvy Sahnur, S.T., M.Pd, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Benny Oktorialdy, S.T.,M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd, yang dengan sabar telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan berharga selama proses penyusunan tugas akhir ini.
9. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas ilmu yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas dukungan administratif yang diberikan.
11. Dengan penuh rasa syukur, penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada Nenek Ngapinah, Paman Pristiwanto, dan Bibi Yanti, yang selama masa perkuliahan telah menjadi tempat pulang, penguat semangat, serta anugerah yang tak ternilai. Setiap perhatian, kasih sayang, dan kebaikan yang diberikan, mulai dari menyiapkan makanan, sarapan, hingga bekal untuk menemani hari-hari penulis menimba ilmu, adalah wujud cinta yang akan selalu penulis kenang sepanjang hayat. Doa, pengorbanan, dan ketulusan hati Nenek, Paman, dan Bibi adalah bagian tak terpisahkan dari perjalanan ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dengan limpahan rahmat, kesehatan, dan kebahagiaan yang berlipat ganda.
12. Sahabat penulis Muhammad Imam Al Hafiz , Fajar Fatham Mubina, Surya Dharma, dan seluruh teman kelas B1 teknik elektro stambuk 2021 yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Harapan penulis, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang teknik elektro, dan menjadi kontribusi kecil bagi perkembangan dunia teknik.

Medan, 24 September 2025

Agil Fitriansyah

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	ii
ABSTRAK .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Ruang Lingkup .....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
1.6 Pengertian Boiler .....	7
1.6.1 Sejarah Boiler .....	7
1.6.2 Definisi dan Fungsi Boiler.....	8
1.6.3 Jenis-jenis Boiler.....	9
1.6.4 Komponen Utama Boiler .....	14
1.7 Prinsip dan Langkah Kerja Boiler .....	27
1.7.1 Prinsip Kerja Boiler .....	27
1.7.2 Langkah Kerja Boiler.....	31
1.8 <i>Safety Device</i> pada Boiler.....	36

1.8.1 Pengertian <i>Safety Device</i> .....	36
1.8.2 Jenis-jenis <i>Safety Device</i> .....	37
1.8.3 Fungsi dan Pentingnya <i>Safety Device</i> .....	46
1.9 Regulasi dan Standar Keselamatan .....	47
1.9.1 Peraturan Keselamatan di Kapal Tanker .....	47
1.9.2 Standar Internasional untuk Boiler .....	49
1.9.3 Tanggung Jawab Operator .....	51
METODOLOGI PENELITIAN.....	54
1.10 Waktu dan Tempat .....	54
1.10.1 Waktu.....	54
1.10.2 Tempat .....	54
1.11 Alat dan Bahan .....	55
1.11.1 Alat Penelitian.....	55
1.11.2 Bahan Penelitian .....	55
1.12 Prosedur Kerja Alat .....	56
1.13 Tahapan Penelitian .....	57
1.14 Analisis Data .....	58
1.15 Parameter Penelitian.....	58
1.16 <i>Flowchart</i> .....	61
BAB IV .....	64
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	64
4.1 Analisis <i>Safety Valve</i> .....	64
4.1.1 Nilai <i>Fspring</i> .....	65
4.1.2 <i>Set Pressure Safety Valve</i> .....	65
4.1.3 Nilai A.....	66
4.1.4 <i>Blowdown (Pressure Differential)</i> .....	67

4.2	Analisis Parameter <i>Water Level</i> .....	68
4.2.1	Tegangan Kerja Sensor .....	68
4.2.2	Resistansi Sesor .....	68
4.2.3	Arus Sensor .....	68
4.2.4	Akurasi DP <i>Transmitter</i> .....	68
4.2.5	Sensitivitas DP <i>Transmitter</i> .....	70
4.3	Analisis Parameter Flame Failure .....	70
4.3.1	Tegangan Kerja Sensor .....	70
4.3.2	Resistansi Sensor .....	71
4.3.3	Arus Sensor .....	71
4.3.4	Impedansi Motor .....	72
4.3.5	Rumus dan Perhitungan Faktor Daya ( $\cos \phi$ ) untuk Sistem 3 Fasa .....	74
BAB V	.....	77
PENUTUP	.....	77
5.1	Kesimpulan .....	77
5.2	Saran .....	77
DAFTAR PUSTAKA	.....	79
LAMPIRAN	.....	81
DATA RIWAYAT HIDUP	.....	95

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Boiler Pipa Api.....	9
Gambar 2. 2 Bagian-bagian Boiler Pipa Api .....	10
Gambar 2. 3 Boiler Pipa Air ( <i>Water Tube Boiler</i> ).....	11
Gambar 2. 4 Bagian Utama Boiler Pipa Air .....	12
Gambar 2. 5 Boiler Scotch Marine .....	13
Gambar 2. 6 Struktur <i>Boiler Scotch Marine</i> .....	14
Gambar 2. 7 Bagian-bagian Steam Drum .....	15
Gambar 2. 8 <i>Furnace</i> (Ruang Bakar).....	17
Gambar 2. 9 Bagian-bagian <i>Heat Exchanger</i> .....	18
Gambar 2. 10 Burner.....	20
Gambar 2. 11 Segitiga Api.....	21
Gambar 2. 12 <i>Feed Water Tank</i> .....	23
Gambar 2. 13 <i>Combution Air</i> .....	25
Gambar 2. 14 <i>Panel Control Boiler</i> .....	26

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter <i>Safety Valve</i> .....	37
Tabel 2.2 Parameter <i>Water Level</i> .....	41
Tabel 2.3 Parameter <i>Flame Failure</i> .....	44
Tabel 3.1 Waktu Penelitian.....	54
Tabel 3.2 Parameter <i>Safety Valve</i> .....	58
Tabel 3.3 Parameter <i>Water Level</i> .....	59
Tabel 3.4 Parameter <i>Flame Failure</i> .....	59
Tabel 4.1 Tabel Simulasi.....	67
Tabel 4.2 Perbandingan Pembacaan Level Air.....	69
Tabel 4.3 Rangkuman Kegiatan Motor.....	70
Tabel 4.4 Tabel Impedansi.....	72
Tabel 4.5 Tabel Hasil.....	73

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Transportasi laut menjadi salah satu metode transportasi yang sangat efektif untuk mobilisasi antar pulau dan negara yang sekaligus dapat mendorong pertumbuhan ekonomi suatu negara. Salah satunya adalah kapal tanker, kapal yang didesain untuk membawa kargo cair dalam jumlah yang besar, seperti minyak mentah, produk olahan dari minyak, bahan kimia cair, gas cair, sulfur cair, bahkan dimungkinkan hasil olahan cair dari perkebunan. Sifat kargo tersebut memerlukan konstruksi dan outfit khusus dari kapal tanker. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan serta tuntutan zaman yang semakin maju perlu adanya peningkatan inovasi khususnya pada bidang pelayaran (Robbi et al. 2024).

Untuk memenuhi permintaan layanan dan kebutuhan transportasi laut yang semakin meningkat, suatu perusahaan pasti akan selalu berupaya menjaga kapal dalam kondisi baik dan siap sehingga dapat dioperasikan kapan pun saat dibutuhkan. Untuk menjamin kelancaran pelayaran, diperlukan pesawat – pesawat bantu yang mendukung kinerja mesin induk. Salah satu pesawat bantu yang sangat penting adalah boiler. Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Proses produksi pada boiler memiliki potensi bahaya atau risiko yang sangat besar maka sangatlah penting meningkatkan pembinaan dan pengawasan di bidang keselamatan kerja (Idrus et al. 2022).

Untuk mengurangi risiko tersebut, penggunaan *safety device* pada boiler sangat penting. *Safety device* yaitu alat pengontrol yang berguna untuk memberikan alarm atau men-shut down kan alat jika terjadi mal function atau tidak kesesuaian pada alat tersebut. *Safety device* dirancang untuk menjaga agar

boiler beroperasi dalam batas aman dengan meminimalkan potensi kegagalan sistem yang dapat berujung pada kecelakaan. Meskipun demikian, efektivitas dan dampak penggunaan *safety device* terhadap kinerja dan keamanan pengoperasian boiler pada kapal tanker belum sepenuhnya teruji dalam konteks spesifik (Prameswari 2023).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *safety device*, seperti *pressure relief valves*, *water level sensors*, dan *flame arrestors*, dapat meningkatkan keselamatan dalam pengoperasian boiler. Namun dalam kegiatan operasional pada umumnya di atas kapal secara rutinitas pengawasan dan pemeliharaan terhadap boiler tersebut kurang maksimal dilakukan, sehingga peneliti merasa perlu melakukan suatu analisa resiko yang akan dihadapi oleh para operator boiler kapal sebagai salah satu metode dalam pemeliharaan dan bagaimana cara mengurangi risiko atau menghindari risiko bahayanya ketika terjadi kendala dalam operasional boiler.

Menurut pengalaman penulis saat menjalani praktek kerja di PT. Waruna Shipyard Indonesia, yang di mana perusahaan ini bergerak dalam bidang industri maritim khususnya dalam layanan transportasi kapal tanker dan galangan kapal tanker. Pada saat melakukan praktek kerja, penulis ditempatkan pada bagian galangan kapal khususnya bagian electrical yang bertugas apabila ada laporan kerja dari pihak kapal untuk melakukan perbaikan sistem electrical kapal maka penulis dan teknisi akan berangkat ke kapal untuk melakukan pekerjaan tersebut. Namun untuk permasalahan kali ini adalah membahas tentang pengaruh penggunaan *safety device* boiler yang dimana alat ini sangatlah penting dalam operasional boiler. Ketika penulis bersama teknisi kapal mendapatkan laporan untuk perbaikan *safety device* boiler pada sensor *flame eye* atau sensor pendeteksi api, sensor ini berfungsi untuk memonitor pembakaran pada boiler ketika boiler sedang *running*, namun untuk permasalahan kali ini adalah ketika boiler sudah *running* namun *flame eye* sensor tidak mendeteksi adanya api dalam furnace atau ruang bakar, yang seharusnya ketika boiler *running flame eye* akan memberi sinyal bahwasannya boiler dalam keadaan *running*. Pertama-tama penulis dan teknisi menganalisa dan mengecek secara visual pada bagian sensor *flame eye* untuk memastikan

bahwasannya sensor dalam kondisi bagus, kemudian penulis dan teknisi melihat wiring Listrik dari *flame eye* tersebut kemudian penulis dan teknisi melakukan continuity kabel menggunakan multimeter dan ditemukan kabel yang putus pada pada terminal output dari sensor *flame eye*.

Kemudian setelah ditemukan permasalahan tersebut penulis dan teknisi melakukan perbaikan dan melakukan test running boiler untuk memastikan bahwasannya sensor *flame eye* sudah berfungsi dengan baik. Setelah melakukan pekerjaan tersebut pihak kapal meminta untuk mengecek Kembali *safety device* boiler yang lain yaitu pada sensor *water level* dan *safety valve* yang dimana kedua sensor ini memiliki peran penting dalam keamanan operasional boiler. Sensor *water level* berfungsi untuk memonitor level air pada boiler dan *safety valve* berfungsi untuk menjaga tekanan atau pressure steam pada pipa steam agar tidak melebihi pressure yang ditentukan. Disini bisa disimpulkan bahwasannya peranan *safety device* sangatlah penting dalam keamanan operasional boiler, apabila perangkat keselamatan ini tidak bisa berfungsi atau bisa berfungsi namun tidak sesuai dengan prosedur yang ditentukan dalam manual book, maka kapal tidak akan dapat izin berlayar.

Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mengangkat judul ini sebagai tugas akhir penulis dengan judul “ **ANALISIS PENGGUNAAN SAFETY DEVICE DALAM PENGOPERASIAN BOILER PADA KAPAL TANKER**”. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai efektivitas safety device dan memberikan rekomendasi bagi pihak terkait, terutama operator kapal dan perusahaan pelayaran, untuk meningkatkan pengelolaan keselamatan serta efisiensi operasional boiler pada kapal tanker. Dengan demikian, keselamatan dan kinerja pengoperasian kapal tanker dapat terjamin, serta risiko yang dapat terjadi dapat diminimalisir.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja *safety valve* ?
2. Bagaimana kinerja kelistrikan pada *water level* ?

### 3. Menghitung kinerja kelistrikan pada *flame failure* ?

#### 1.3 Ruang Lingkup

Agar penelitian tugas akhir ini lebih terarah dan tanpa mengurangi maksud juga tujuannya, maka ditetapkan ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

1. Penelitian pada *safety valve* difokuskan pada analisis parameter kinerja yang meliputi tekanan kerja (*set pressure*), kapasitas pelepasan uap, blowdown (*pressure differential*), gaya pegas (*Fspring*), dan luas penampang (A). Pengujian dilakukan untuk memastikan fungsi *safety valve* sesuai dengan standar keselamatan serta dapat mencegah terjadinya overpressure pada sistem boiler kapal tanker. Penelitian ini tidak membahas aspek material dan desain fisik dari *safety valve*, melainkan hanya menitikberatkan pada kinerja operasionalnya dalam menjaga tekanan uap tetap berada pada batas aman.
2. Penelitian pada *water level* membahas parameter kelistrikan dan kinerja sensor dalam memantau ketinggian air pada boiler, yang meliputi pengukuran tegangan kerja sensor, arus sensor, resistansi sensor, akurasi, dan sensitivitas DP transmitter. Penelitian ini bertujuan untuk menilai keandalan sensor *water level* dalam mencegah gangguan operasional, namun tidak mencakup faktor eksternal seperti kualitas air atau korosi, yang dapat mempengaruhi kinerja sensor.
3. Penelitian pada *flame failure* memfokuskan pada parameter kelistrikan dan respon sensor dalam mendeteksi nyala api di ruang bakar boiler, yang meliputi tegangan kerja sensor, arus sensor, resistansi sensor, impedansi, serta faktor daya pada motor-motor pendukung pembakaran. Evaluasi dilakukan untuk memahami tingkat keandalan sistem deteksi api dalam mencegah kegagalan pembakaran yang dapat berisiko terhadap keselamatan operasional. Penelitian ini tidak membahas desain burner ataupun jenis bahan bakar yang digunakan, karena fokusnya adalah pada kinerja sistem deteksi dan proteksi nyala api.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis kinerja *safety valve* pada sistem boiler kapal tanker berdasarkan parameter teknis yang meliputi gaya pegas ( $F_{spring}$ ), tekanan kerja (*set pressure*), luas penampang ( $A$ ), dan blowdown (*pressure differential*), untuk memastikan kemampuannya mencegah overpressure sesuai standar keselamatan.
2. Menganalisis parameter kelistrikan dan kinerja *water level* sensor pada sistem boiler kapal tanker, mencakup pengukuran tegangan kerja, arus, resistansi sensor, akurasi, dan sensitivitas *Differential Pressure* (DP) transmitter, guna menilai keandalan pemantauan level air dalam mencegah gangguan operasional.
3. Menganalisis parameter kelistrikan dan kinerja *flame failure detector* pada sistem boiler kapal tanker, meliputi tegangan kerja sensor, arus, resistansi, impedansi, dan faktor daya pada motor pembakaran, untuk mengevaluasi tingkat respons dan keandalan sistem deteksi nyala api dalam mencegah kegagalan pembakaran.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang ingin di capai penulis dalam pembuatan skripsi/tugas akhir ini adalah :

- a. Bagi pembaca  
Agar skripsi ini dapat membantu bagi yang membaca ataupun *crew* kapal sebagai tambahan informasi, wawasan bertambahnya pengetahuan dalam pengembangan studi akan cara bagaimana *safety device* itu sangat berpengaruh pada kinerja dan keamanan boiler dalam pengoperasiannya.
- b. Bagi institusi  
Manfaat yang ingin di capai oleh penulis dalam pembuatan skripsi ini adalah menambahnya pengetahuan dasar dari jurusan kuliah umum, sehingga bukan hanya jurusan kuliah perkapalan saja yang tahu, melainkan jurusan kuliah umum juga tahu gambaran dari kegiatan yang

di lakukan di kamar mesin kapal sehingga menambah wawasan baru yang dimiliki.

c. Bagi perusahaan

Manfaat yang ingin di capai adalah menjalin hubungan baik dengan lembaga pendidikan khususnya Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan perusahaan pelayaran, sehingga menerapkan sistem yang sama dalam mengatasi permasalahan di atas kapal yang tentunya dengan masalah yang sama.

d. Bagi peneliti

Manfaat yang ingin di capai adalah untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

## TINJAUAN PUSTAKA

### 1.6 Pengertian Boiler

#### 1.6.1 Sejarah Boiler

Membahas sejarah ketel uap (boiler) dimulai seiring dengan perkembangan mesin uap yang menjadi salah satu penemuan paling penting dalam revolusi industri. Terutama pada sejarah boiler kapal merupakan perjalanan panjang inovasi dan perkembangan teknologi yang dimulai dari penemuan mesin uap oleh *James Watt* di Inggris pada abad ke-18. Penemuan ini memicu revolusi industri dan menjadi cikal bakal kapal uap. John Fitch kemudian menciptakan kapal uap pertama di Amerika Serikat pada tahun 1787, yang kemudian dikembangkan oleh *Robert Fulton* menjadi lebih efisien pada tahun 1802. Pada awalnya, kapal uap masih menggunakan tiang-tiang tinggi dan dilengkapi dengan layar cadangan untuk mengantisipasi kekurangan bahan bakar. Namun, seiring perkembangan teknologi, kapal uap menjadi lebih efisien dan aman. Pada abad ke-19, Richard Trevithick dan Matthew Murray mengembangkan boiler tabung api dan udara yang lebih efisien dan aman. Perusahaan *Babcock & Wilcox* juga memproduksi boiler tabung udara yang lebih efisien dan aman. Teknologi boiler terus berkembang dengan penggunaan bahan bakar minyak dan gas. Perusahaan *Foster Wheeler* memperkenalkan boiler pipa udara yang lebih efisien pada tahun 1906. Teknologi boiler nuklir juga dikembangkan pada tahun 1950-an untuk pembangkit listrik. Sistem pengendalian otomatis mulai digunakan pada tahun 1960-an. Saat ini, teknologi boiler menggunakan IoT, AI, dan material canggih untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan ramah lingkungan. Penemuan turbin uap oleh Gustav de Laval dan Charles Parson juga mempengaruhi perkembangan boiler kapal. Turbin uap tersebut kemudian digunakan pada kapal laut dan menjadi lebih efisien dan aman. Dengan demikian, sejarah boiler kapal merupakan bukti nyata perkembangan teknologi yang terus berlanjut hingga saat ini.

### 1.6.2 Definisi dan Fungsi Boiler

Boiler secara umum adalah setiap wadah yang tertutup yang mengandung cairan yang dipanaskan, disebut juga generator uap karena mengubah air menjadi uap. Boiler umumnya terdiri dari metal shell (badan boiler), kepala dan tabung yang membentuk wadah uap dan air di bawah tekanan, dalam jenis tertentu boiler terdiri dari tungku pemanas dan jalur pipa untuk uap panas. Ketel uap di kapal merupakan salah satu permesinan bantu yang mempunyai peran penting dalam menghasilkan uap panas yang berkualitas. Uap tersebut digunakan untuk memanaskan bahan bakar, minyak lumas, ruangan, air pada akomodasi dan kebutuhan lainnya. Untuk menghasilkan uap yang berkualitas dalam jumlah banyak, diperlukan pembakaran yang sempurna pada ketel uap bantu. (Robbi et al. 2024)

Pesawat uap, yang juga dikenal sebagai ketel uap adalah sebuah pesawat bantu yang dirancang untuk mengubah air di dalam ketel menjadi uap melalui pemanasan menggunakan pembakaran bahan bakar. Ketel uap sendiri adalah sebuah berjana tertutup dan tidak memiliki saluran udara dari luar karena selama proses pemanasan sehingga air yang berada di dalamnya akan mendidih, kemudian air akan berubah menjadi uap panas dan bertekanan. (Studi, Diploma, and Pelayaran 2024)

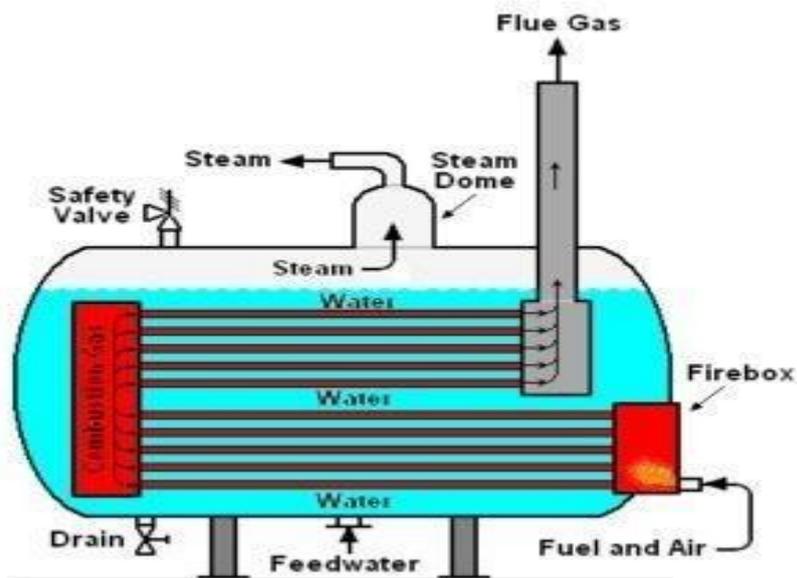
Boiler pada dasarnya merupakan sebuah kontainer yang berperan sebagai alat pemanas air. Panas yang dihasilkan Dalam proses pembakaran, hasilnya dialirkan ke dalam air untuk menghasilkan air panas atau uap (*steam*). Steam dengan tekanan yang telah ditentukan digunakan untuk mentransfer panas ke suatu proses. Air adalah medium yang efisien dan ekonomis untuk mentransfer panas ke dalam suatu proses. Ketika air dipanaskan dan berubah menjadi *steam*, volume nya akan meningkat sekitar 1600 kali lipat. Boiler adalah perangkat yang menghasilkan energi dengan karakteristik yang mirip dengan bahan peledak, sehingga pengelolaannya harus dilakukan dengan hati-hati. Bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan boiler dapat berupa gas, minyak, dan batu bara. Di Indonesia, salah satu bahan bakar yang umum digunakan adalah solar. (Vina 2023)

### 1.6.3 Jenis-jenis Boiler

Pada kapal tanker, boiler berperan krusial dalam menyediakan uap untuk berbagai keperluan, seperti penggerak utama, pemanas bahan bakar, dan sistem pemanas kargo. Terdapat beberapa jenis boiler yang umum digunakan, masing-masing dengan karakteristik dan aplikasi spesifik.

#### A. Boiler Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

Boiler pipa api (*fire tube boiler*) adalah jenis boiler di mana gas panas hasil pembakaran mengalir melalui pipa-pipa yang dikelilingi oleh air dalam sebuah bejana tertutup. Desain ini memungkinkan transfer panas dari gas ke air, sehingga menghasilkan uap yang digunakan untuk berbagai keperluan industri. Boiler pipa api umumnya digunakan untuk menghasilkan uap dengan kapasitas kecil hingga sedang, sekitar 12 ton/jam, dan tekanan uap rendah hingga sedang, hingga 18 kg/cm<sup>2</sup>. (Sugiharto 2016)

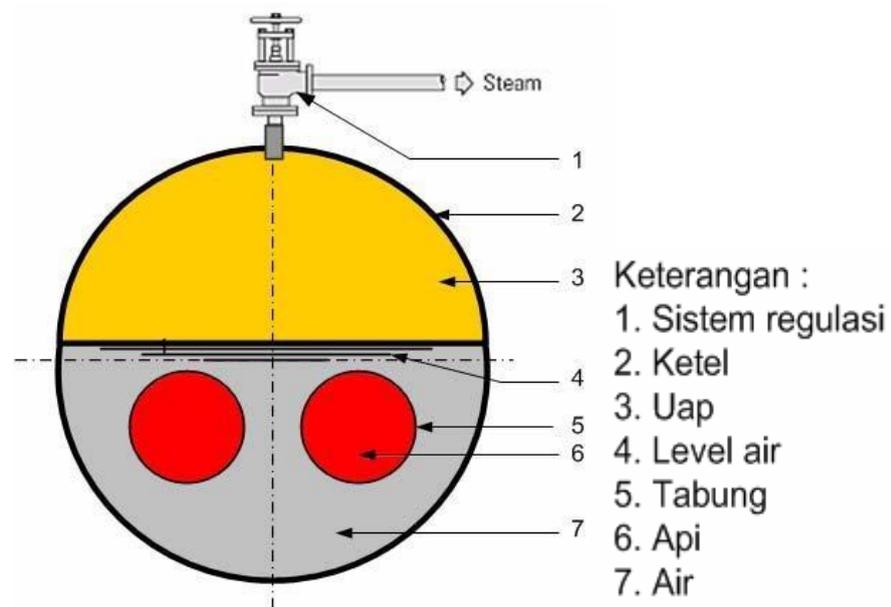


Gambar 2. 1 Boiler Pipa Api

Fungsi utama dari boiler pipa api adalah mengubah air menjadi uap melalui proses pemanasan. Uap yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti penggerak turbin, pemanas, dan proses industri lainnya. Keunggulan dari boiler ini meliputi desain yang sederhana, biaya instalasi yang lebih rendah, dan kemudahan dalam operasi serta perawatan.

Namun, mereka memiliki keterbatasan dalam hal kapasitas dan tekanan uap yang dapat dihasilkan dibandingkan dengan jenis boiler lainnya.

Sistem kerja boiler pipa api dimulai dengan pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar (*furnace*). Gas panas yang dihasilkan dari pembakaran ini dialirkan melalui pipa-pipa yang terendam dalam air. Panas dari gas tersebut ditransfer melalui dinding pipa ke air, menyebabkan air mendidih dan menghasilkan uap. Uap yang terbentuk kemudian dikumpulkan di bagian atas bejana dan dialirkan ke sistem pengguna. Proses perpindahan panas dalam boiler ini melibatkan tiga mekanisme utama: radiasi, konduksi, dan konveksi.

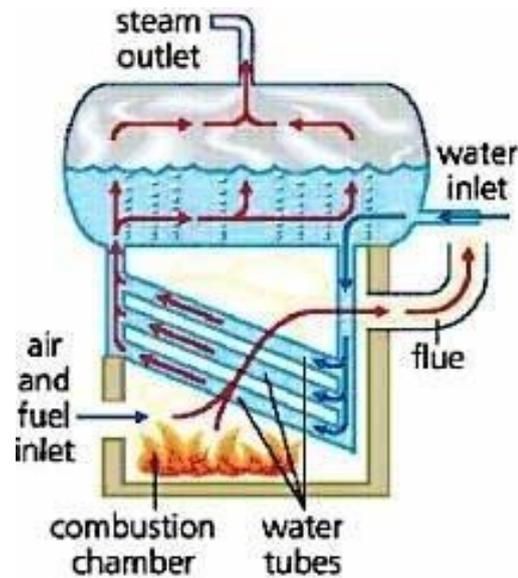


Gambar 2. 2 Bagian-bagian Boiler Pipa Api

Meskipun boiler pipa api memiliki desain yang sederhana dan biaya operasi yang lebih rendah, mereka memiliki keterbatasan dalam hal kapasitas dan tekanan uap yang dapat dihasilkan. Untuk aplikasi yang memerlukan uap dengan tekanan dan kapasitas lebih tinggi, boiler pipa air (*water tube boiler*) lebih sesuai. Namun, untuk kebutuhan industri kecil hingga menengah dengan kebutuhan uap yang tidak terlalu besar, boiler pipa api tetap menjadi pilihan yang efisien dan ekonomis.

## B. Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Boiler pipa air (*water tube boiler*) adalah jenis boiler di mana air mengalir melalui pipa-pipa yang dipanaskan oleh gas panas dari pembakaran di sekitarnya. Desain ini memungkinkan produksi uap dengan kapasitas dan tekanan tinggi, menjadikannya ideal untuk aplikasi industri besar seperti pembangkit listrik dan proses manufaktur yang memerlukan uap berkualitas tinggi. (Sugiharto 2016)

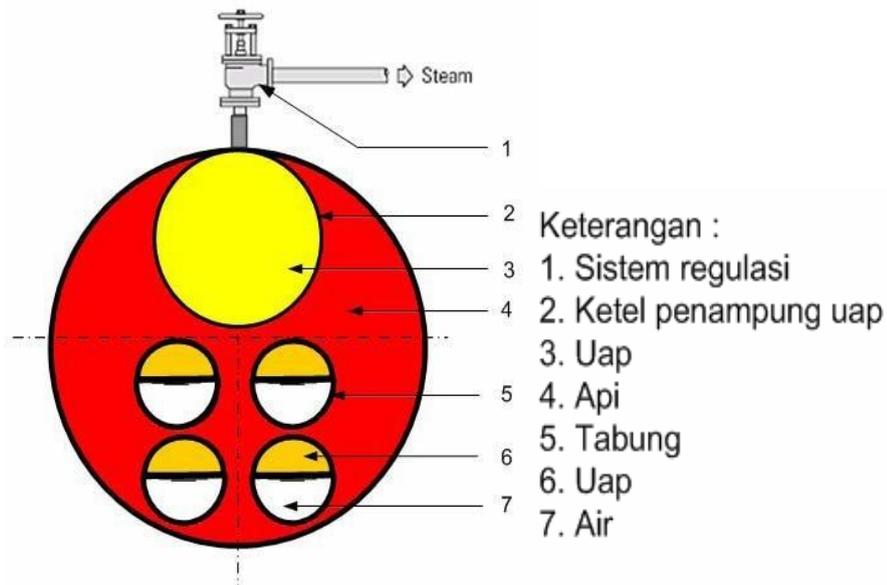


Gambar 2. 3 Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Fungsi utama boiler pipa air adalah mengubah air menjadi uap melalui proses pemanasan. Uap yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan, seperti penggerak turbin, pemanas, dan proses industri lainnya. Keunggulan dari boiler ini meliputi kemampuan menghasilkan uap dengan kapasitas dan tekanan tinggi, efisiensi termal yang lebih baik, serta desain yang lebih kompak dan fleksibel dibandingkan dengan boiler pipa api.

Sistem kerja boiler pipa air dimulai dengan air yang dipompa ke dalam pipa-pipa pemanas yang terletak di dalam ruang pembakaran. Gas panas dari pembakaran mengalir di sekitar pipa-pipa tersebut, mentransfer panas melalui dinding pipa ke air di dalamnya. Proses perpindahan panas ini terjadi melalui konduksi, konveksi, dan radiasi. Air yang dipanaskan

kemudian mengalir ke drum uap, di mana uap dipisahkan dari air dan dialirkan ke sistem pengguna.



Gambar 2. 4 Bagian Utama Boiler Pipa Air

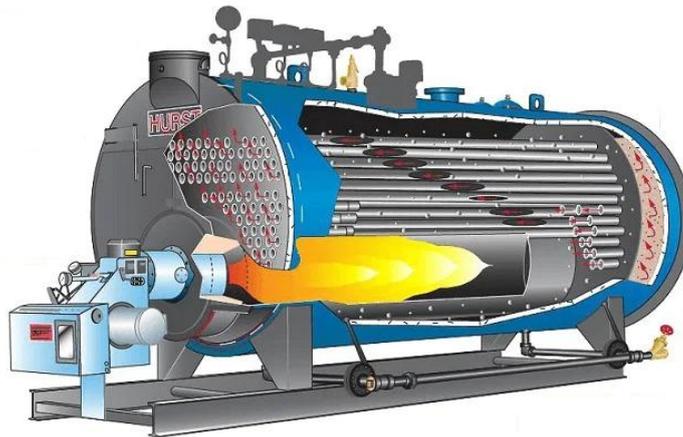
Sistem sirkulasi air dalam boiler pipa air dapat bersifat alami atau paksa. Dalam sirkulasi alami, perbedaan densitas antara air panas dan dingin menyebabkan aliran air secara alami melalui pipa-pipa pemanas. Sedangkan dalam sirkulasi paksa, pompa sirkulasi digunakan untuk memaksa aliran air melalui pipa-pipa pemanas, memungkinkan desain boiler yang lebih kompak dan responsif terhadap perubahan beban.

Meskipun boiler pipa air menawarkan banyak keunggulan, seperti efisiensi tinggi dan kemampuan menghasilkan uap dengan kapasitas dan tekanan tinggi, mereka juga memiliki tantangan dalam hal desain dan perawatan. Desain yang lebih kompleks dan kebutuhan akan pemeliharaan yang lebih intensif dibandingkan dengan boiler pipa api menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan jenis boiler yang sesuai dengan kebutuhan industri

### C. Boiler Scotch Marine

*Boiler Scotch Marine* adalah jenis boiler pipa api yang dirancang khusus untuk digunakan pada kapal laut. Desainnya berbentuk silinder horizontal dengan satu atau lebih tungku berbentuk silinder besar di bagian

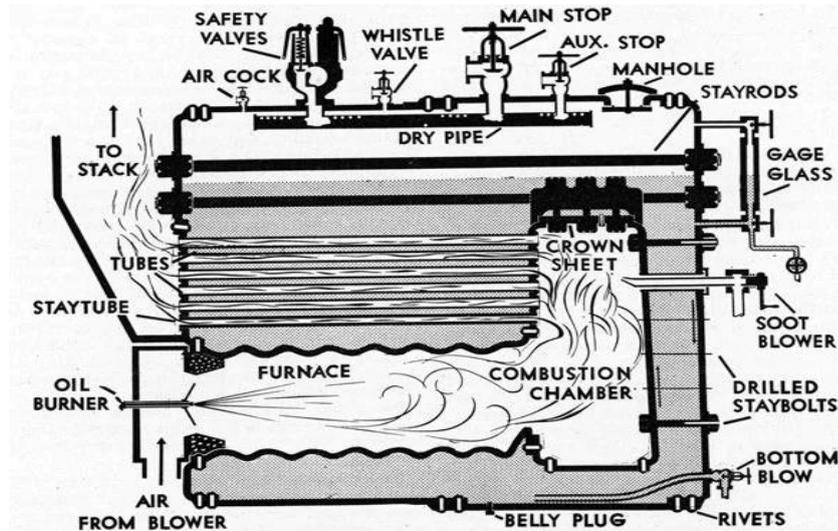
bawah shell boiler. Di atas tungku ini terdapat banyak pipa api berdiameter kecil. Gas dan asap hasil pembakaran dari tungku mengalir ke bagian belakang boiler, kemudian kembali melalui pipa-pipa kecil tersebut dan keluar melalui cerobong. Ujung-ujung pipa ini ditutup oleh kotak asap yang berada di luar shell boiler.(Farooqi 2022)



Gambar 2. 5 Boiler Scotch Marine

Fungsi utama dari *Boiler Scotch Marine* adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk berbagai keperluan di kapal, seperti penggerak turbin, pemanas, dan proses lainnya yang memerlukan uap. Keunggulan dari desain ini meliputi efisiensi operasional yang tinggi, kemampuan untuk menggunakan berbagai jenis bahan bakar, dan kekompakan yang memudahkan pemasangan di ruang mesin kapal yang terbatas.

Mekanisme kerja melibatkan konsumsi bahan bakar, pembakaran di ruang pembakaran, dan pemanasan air. Air yang dipanaskan kemudian berubah menjadi uap. Hasilnya, bahan bakar awalnya ditempatkan di tungku. Bahan bakar memasuki tungku melalui lubang api. Bila bahan bakar ada di tungku, bahan bakar akan menyala melalui lubang api. Setelah itu, bahan bakar yang terbakar masuk ke ruang pembakaran, tempat bahan bakar dibakar. Sekarang kita akan melihat teknik transmisi panas. Bila panas dihasilkan di ruang pembakaran, panas tersebut digunakan untuk memanaskan air di sekitarnya.



Gambar 2. 6 Struktur Boiler Scotch Marine

*Boiler Scotch Marine* memiliki beberapa varian, termasuk desain "*wet back*" dan "*dry back*". Pada desain "*wet back*", bagian belakang ruang bakar dikelilingi oleh air, yang meningkatkan efisiensi transfer panas. Sedangkan pada desain "*dry back*", bagian belakang ruang bakar tidak dikelilingi oleh air, yang menyederhanakan konstruksi namun mengurangi efisiensi. Selain itu, terdapat juga varian "*double-ended*" yang memiliki dua set tungku dan pipa api, memungkinkan kapasitas produksi uap yang lebih besar dalam satu unit boiler.

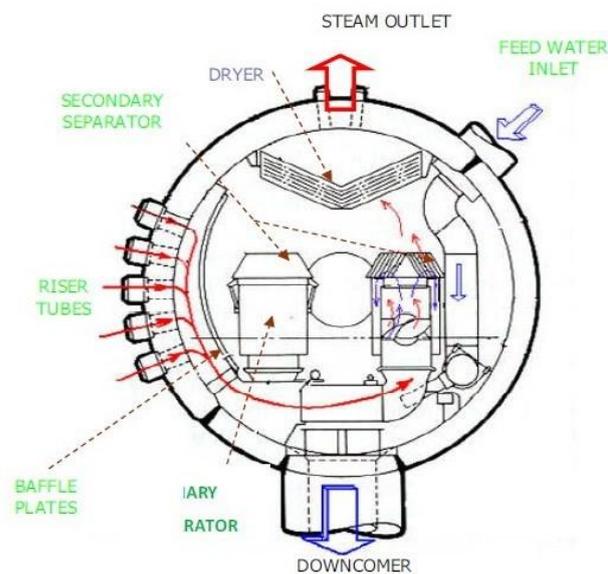
Meskipun awalnya dirancang untuk penggunaan di kapal, *Boiler Scotch Marine* juga digunakan di aplikasi darat yang memerlukan produksi uap dengan efisiensi tinggi dan desain yang kompak. Namun, dengan perkembangan teknologi dan munculnya desain boiler yang lebih modern, penggunaan *Boiler Scotch Marine* telah berkurang, meskipun masih ditemukan pada beberapa kapal dan instalasi industri tertentu.

#### 1.6.4 Komponen Utama Boiler

Boiler merupakan salah satu komponen penting dalam sistem propulsi dan operasi kapal tanker. Berikut adalah penjelasan rinci mengenai komponen utama pada boiler yang digunakan di kapal tanker :

### 1. *Steam Drum*

*Steam drum* adalah suatu alat yang digunakan untuk menampung air yang berasal dari *economizer* untuk dipanaskan dengan metode siklus air natural yakni air akan bersirkulasi akibat adanya perbedaan berat jenis (sirkulasi alamiah) dimana air yang temperaturnya leebih rendah akan turun dan air yang temperaturnya tinggi akan naik ke drum sambil melepaskan uapnya untuk dipisahkan antara uap dan airnya pada peralatan separator dan dryer.



Gambar 2. 7 Bagian-bagian *Steam Drum*

Bagian-bagian dari steam drum adalah sebagai berikut :

#### A. *Feed Inlet Water*

*Feed inlet water* berfungsi sebagai saluran untuk memasukkan air dari *economizer*. Setiap saluran air pengisi dihubungkan ke suatu pipa pembagi dibagian dalam drum yang mempunyai sederetan lubang-lubang kecil sepanjang drum, sehingga dapat mendistribusikan air pengisi merata sepanjang drum.

### B. *Riser Tubes*

*Riser tubes* merupakan saluran untuk memasukkan *water* dan *steam* yang berasal dari *wall tube*. Terdapat banyak saluran masuk merata sepanjang drum.

### C. *Baffle Plates*

*Baffle plates* berfungsi untuk memadu campuran air dan uap dari pipa-pipa riser ke separator. Pada saat yang sama, ia menahan air dalam drum agar bebas dari gangguan yang disebabkan oleh gelembung - gelembung uap.

### D. *Primary and Secondary Separator*

Laju penguapan persatuan luas permukaan air dalam drum saat ini terlalu berat kalau hanya dilakukan dengan pemisahan secara gravitasi. Oleh karena itu, digunakan separator jenis *cyclone* untuk memenuhi 2 tujuan, yaitu :

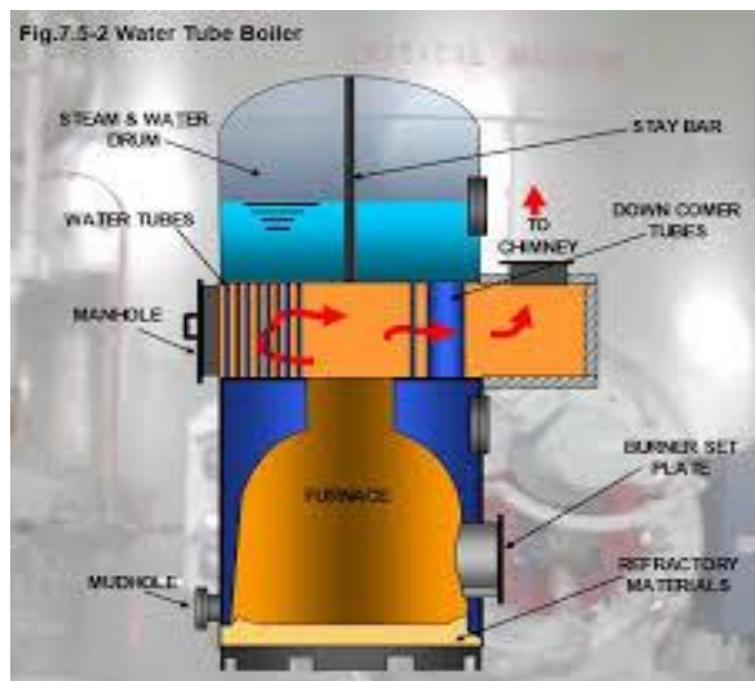
- Memasok uap yang bebas air untuk *superheater*.
- Memasok air bebas uap ke pipa *downcomer*.

Separator jenis *cyclone* mungkin mempunyai sumbu horizontal atau vertical. Vertical separator Air dilempar keluar dan dikembalikan ke dalam genangan air dalam drum, sedang uap air diambil dari ujung separator dan dibebaskan ke bagian atas drum di atas permukaan air. Keefektifan dari separator tergantung pada kerapatan relatif dari uap dan air, penurunan tekanan yang tersedia untuk mendorong campuran melalui separator, jumlah relatif air dalam campuran dan jumlah total campuran. Pada tekanan yang lebih rendah, pemisahan air dari uap relatif lebih sederhana karena perbedaan kerapatan yang besar. Gaya yang diperlukan untuk melepaskan ikatan vertikal air dari uap perlu dihubungkan dengan tinggi sirkulasi (*Circulating head*) yang tersedia. Pada ketel uap sirkulasi alamiah, perbedaan tekanan (*head*) yang tersedia diciptakan oleh perbedaan kerapatan dari fluida yang disirkulasikan dalam sirkuit pipa

downcomer dan pipa riser. Dengan ketel uap sir kulasi bantu, perbedaan tekanan (*head*) yang tersedia ditentukan oleh pompa sirkulasi.

## 2. Tungku Pengapian (*Furnace*)

Tungku pengapian (*furnace*) adalah komponen utama di mana bahan bakar dibakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam proses pemanasan air di dalam boiler. Desain *furnace* dapat bervariasi tergantung pada jenis boiler yang digunakan, apakah itu boiler *fire-tube* atau *water-tube*. Di dalam *furnace*, udara untuk pembakaran disuplai melalui saluran udara yang biasanya dilengkapi kipas untuk meningkatkan aliran udara. Bahan bakar yang digunakan bisa berupa minyak berat, minyak diesel, atau gas alam. Pembakaran yang efisien sangat penting untuk meminimalkan emisi sekaligus meningkatkan efisiensi termal. Sebagai langkah pengamanan, furnace dilengkapi dengan sistem detektor api untuk memastikan operasi berjalan aman. (Latif 2023)

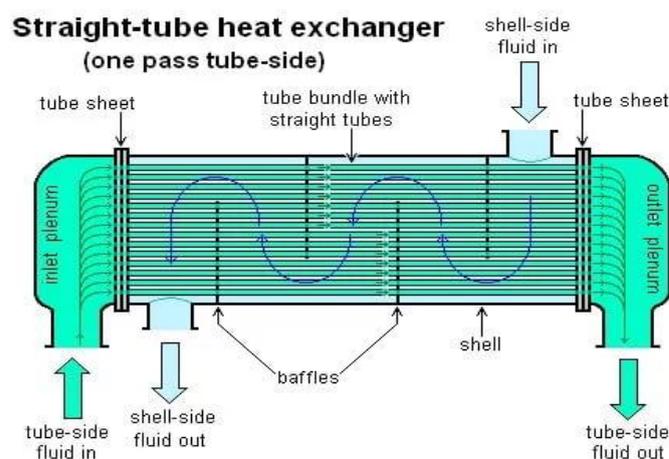


Gambar 2. 8 Furnace (Ruang Bakar)

Pada *furnace*, bahan bakar dibakar untuk menghasilkan sumber panas yang kemudian diserap oleh tabung berisi air. Tabung-tabung ini menempel pada dinding tungku untuk memaksimalkan transfer panas. Ruang bakar di dalam tungku biasanya dibagi menjadi dua bagian, yaitu ruang pembakaran pertama dan kedua. Di ruang pertama, sumber panas langsung dipindahkan ke tabung yang menyerap energi panas. Sedangkan di ruang kedua, panas yang diserap berasal dari udara panas hasil pembakaran di ruang pertama. Fungsi ruang kedua adalah memanfaatkan panas sisa dari ruang pertama agar energi tidak terbuang sia-sia, sekaligus membantu menjaga suhu cairan yang dipanaskan tetap stabil sehingga kehilangan panas dapat diminimalkan.

### 3. Heat exchanger

*Heat Exchanger* pada boiler kapal adalah perangkat yang dirancang untuk mentransfer energi panas antara dua fluida yang berbeda tanpa mencampurkan keduanya. Fluida panas, seperti gas buang dari mesin atau boiler, digunakan untuk memanaskan fluida lain, seperti air atau minyak. Dalam konteks kapal, khususnya kapal tanker, *Heat Exchanger* memainkan peran penting dalam mengoptimalkan energi yang dihasilkan oleh boiler, sehingga meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi pemborosan energi. Perangkat ini dapat berbentuk *shell-and-tube*, *plate*, atau spiral tergantung pada kebutuhan operasional kapal. (Sitepu et al. 2024)



Gambar 2. 9 Bagian-bagian *Heat Exchanger*

Fungsi utama *Heat Exchanger* pada boiler kapal adalah mengubah energi panas dari sumber seperti gas buang menjadi energi termal yang bermanfaat untuk menghasilkan uap. Uap ini kemudian digunakan untuk berbagai keperluan, seperti penggerak turbin, pemanas kargo, atau untuk kebutuhan domestik di kapal. Selain itu, *Heat Exchanger* juga berfungsi untuk meningkatkan efisiensi sistem energi kapal dengan memanfaatkan panas buang yang seharusnya terbuang percuma. Di kapal tanker, sistem ini juga digunakan untuk menjaga kargo seperti minyak mentah tetap cair dengan memanaskan fluida yang mengelilingi tangki kargo.

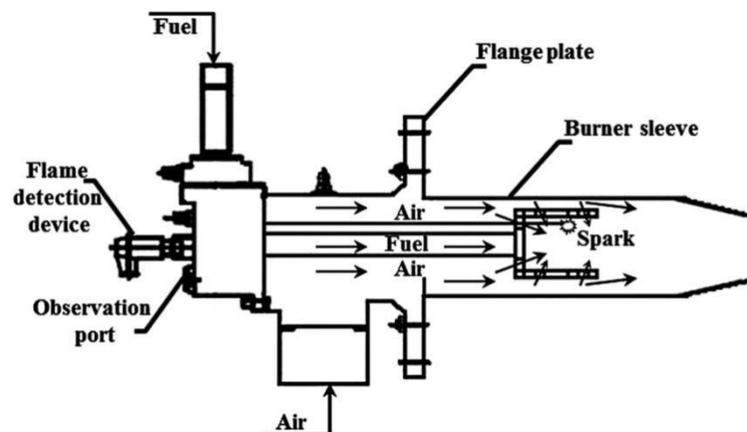
Sistem kerja *Heat Exchanger* dimulai dari fluida panas yang mengalir melalui satu sisi unit, sementara fluida dingin mengalir di sisi lain. Misalnya, pada *Heat Exchanger* tipe *shell-and-tube*, fluida panas mengalir melalui tabung, sedangkan fluida dingin mengalir di sekitar tabung dalam shell. Dinding tabung bertindak sebagai penghalang yang memungkinkan transfer panas tanpa mencampurkan kedua fluida. Pada sistem boiler kapal, air yang dipanaskan dalam *Heat Exchanger* berubah menjadi uap yang digunakan untuk berbagai fungsi operasional. Untuk efisiensi tambahan, beberapa kapal dilengkapi dengan sistem *waste heat recovery*, yang memanfaatkan panas dari gas buang mesin untuk mendukung proses pemanasan.

#### 4. *Burner*

*Burner* pada boiler kapal adalah perangkat yang dirancang untuk mencampur bahan bakar dengan udara dan membakar campuran tersebut untuk menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan oleh burner digunakan untuk memanaskan air dalam boiler sehingga berubah menjadi uap. *Burner* pada kapal biasanya menggunakan bahan bakar seperti minyak bakar berat (*Heavy Fuel Oil*), minyak diesel laut (*Marine Diesel Oil*), atau gas alam tergantung pada jenis kapal dan sistem bahan bakar yang digunakan. Burner pada boiler memiliki peran penting karena menjadi sumber utama energi panas untuk mendukung berbagai operasi di kapal, seperti penggerak turbin uap, pemanas kargo, dan sistem pemanas lainnya. (Sitepu et al. 2024)

*Burner* merupakan komponen pada boiler yang bekerja dengan cara membakar campuran antara bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar boiler untuk menghasilkan sumber api. Di dalam ruang bakar tersebut terjadi proses pembakaran pada boiler. Bahan Bakar *Burner* Berikut adalah jenis bahan bakar yang digunakan untuk *burner* :

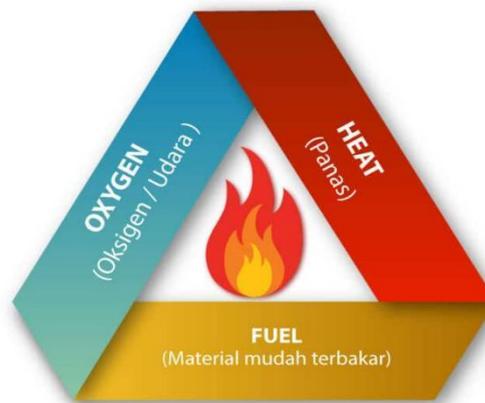
- A. *Marine Fuel Oil (M.F.O)* *Marine Fuel Oil (MFO)* merupakan bahan bakar minyak berat hasil dari penyulingan minyak mentah. Bahan bakar MFO mempunyai tingkat kekentalan (*viscosity*) yang tinggi dan masih mengandung banyak kotoran, maka dari itu bahan bakar ini tidak dapat diaplikasikan secara langsung melainkan harus melalui proses treatment guna menurunkan tingkat kekentalannya dan memisahkannya dari lumpur/kotoran dan air. Dari segi ekonomi bahan bakar MFO lebih murah daripada bahan bakar MDO.
- B. *Marine Diesel Oil (M.D.O)* Bahan bakar MDO merupakan bahan bakar distilasi yang mengandung fraksi berat atau campuran bahan bakar fraksi berat dan fraksi ringan yang berwarna hitam. Bahan bakar ini mempunyai tingkat viskositas yang rendah sehingga tidak perlu dipanaskan untuk digunakan.



Gambar 2. 10 Burner

Fungsi utama *burner* adalah untuk memastikan pembakaran bahan bakar yang efisien dan aman di dalam boiler. *Burner* harus mampu menghasilkan panas dengan tingkat efisiensi tinggi untuk mengurangi

konsumsi bahan bakar sekaligus meminimalkan emisi gas buang yang dihasilkan. Selain itu, burner dirancang untuk memberikan kontrol yang akurat terhadap proses pembakaran, sehingga suhu dan tekanan uap yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan operasional kapal. Pada kapal tanker, *burner* sering digunakan untuk menjaga suhu kargo seperti minyak mentah agar tetap cair selama transportasi, atau untuk menyediakan tenaga bagi sistem pemanas domestik.

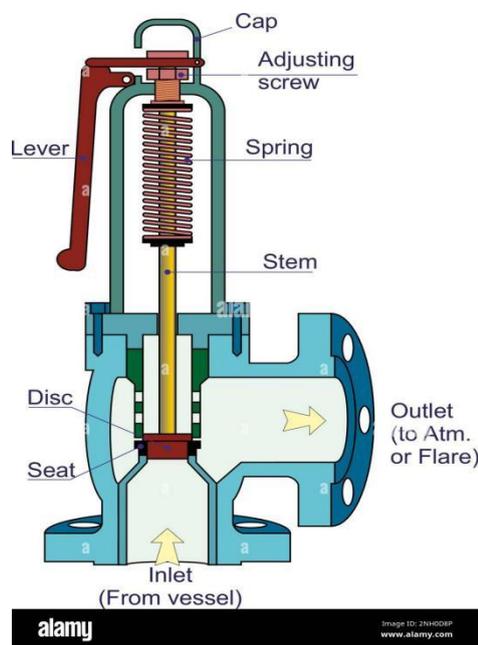


Gambar 2. 11 Segitiga Api

Gambar diatas adalah teori segitiga api, pada teori segitiga api ini sangat persis dengan cara sistem kerja pada *burner*. Yang dimana *Fuel* adalah bahan bakar boiler, Oksigen adalah udara dari *combution air*, dan panas adalah *igniter* pada *burner*. Apabila salah satu dari tiga elemen ini tidak terpenuhi maka pembakaran tidak akan terjadi. Sistem kerja *burner* dimulai dengan pasokan bahan bakar dari tangki penyimpanan kapal ke *burner* melalui pompa bahan bakar. Bahan bakar kemudian disemprotkan ke dalam ruang pembakaran dengan bantuan *nozzle* yang dirancang untuk menghasilkan atomisasi bahan bakar, sehingga bahan bakar tercampur dengan udara secara optimal. Udara untuk pembakaran disuplai oleh *blower* atau kipas yang mengatur aliran udara dengan tekanan yang sesuai. Setelah bahan bakar dan udara bercampur, percikan api dari *igniter* atau elektroda pemantik digunakan untuk memulai proses pembakaran. Panas yang dihasilkan oleh pembakaran ini digunakan untuk memanaskan air dalam boiler, yang pada akhirnya menghasilkan uap.

### e. Safety Valves

*Safety valve* pada boiler kapal adalah komponen krusial yang berfungsi sebagai perangkat pengaman untuk mencegah terjadinya *overpressure* atau tekanan berlebih dalam sistem. Tekanan berlebih ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada peralatan dan membahayakan keselamatan awak kapal. *Safety valve* bekerja dengan cara melepaskan tekanan uap yang melebihi batas yang telah ditetapkan, sehingga menjaga tekanan tetap dalam batas aman dan memastikan operasi boiler berjalan dengan efisien dan aman. (Adolph 2016)



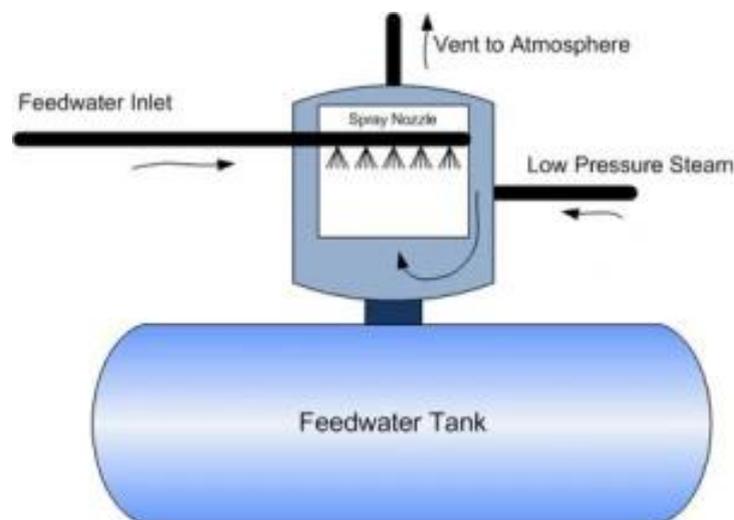
Gambar 2. 12 Bagian-bagian *Safety Valve*

Secara umum, *safety valve* terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu pegas, cakram, dan *nozzle*. Pegas memberikan gaya ke bawah pada cakram untuk menutup *nozzle*. Ketika tekanan uap dalam boiler meningkat dan melebihi batas yang ditetapkan, gaya yang dihasilkan oleh tekanan uap akan melebihi gaya pegas, menyebabkan cakram terangkat dan membuka *nozzle*. Hal ini memungkinkan uap bertekanan tinggi keluar, sehingga tekanan dalam boiler menurun kembali ke level yang aman. Setelah tekanan turun di bawah batas yang ditetapkan, pegas akan mengembalikan cakram ke posisi semula, menutup *nozzle*, dan menghentikan aliran uap keluar.

Pada sistem boiler kapal, biasanya dipasang lebih dari satu *safety valve* untuk memastikan redundansi dan keamanan. Umumnya, dua *safety valve* dipasang pada drum boiler dan satu pada header superheater. Setiap valve disetel pada tekanan tertentu sesuai dengan spesifikasi desain boiler. Penentuan ukuran dan jumlah *safety valve* harus mempertimbangkan kapasitas maksimum boiler dan tekanan operasi yang diinginkan, sehingga dapat memberikan perlindungan optimal terhadap potensi *overpressure*.

#### 5. Sistem *feed water*

Sistem *feed water* pada boiler kapal adalah komponen vital yang memastikan pasokan air ke dalam boiler untuk menghasilkan uap yang diperlukan dalam berbagai operasi kapal. Air umpan ini harus memenuhi standar kualitas tertentu untuk mencegah masalah seperti korosi dan pembentukan kerak yang dapat mengganggu efisiensi dan keamanan boiler. Sumber air umpan dapat berasal dari air laut yang telah melalui proses desalinasi atau dari sumber air tawar yang tersedia di kapal. Sebelum digunakan, air ini harus diolah untuk memenuhi persyaratan kualitas yang ditetapkan. (Retno Gunarti et al. 2022)



Gambar 2. 13 Feed Water Tank

Fungsi utama dari sistem *feed water* adalah menyediakan air dengan tekanan dan suhu yang sesuai ke dalam boiler. Hal ini penting untuk

memastikan proses pembentukan uap berjalan efisien dan mencegah kerusakan pada komponen internal boiler akibat perubahan suhu yang drastis. Selain itu, sistem ini juga berperan dalam mengatur jumlah air yang masuk ke boiler, menjaga keseimbangan antara produksi uap dan kebutuhan operasional kapal.

Sistem kerja *feed water* dimulai dengan pengambilan air dari tangki penyimpanan atau langsung dari proses desalinasi. Air ini kemudian dipompa menggunakan *boiler feed water pump*, yang dirancang untuk menghasilkan tekanan tinggi agar air dapat masuk ke dalam boiler yang bertekanan tinggi. Sebelum memasuki boiler, air umpan biasanya melewati pemanas awal untuk meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi konsumsi bahan bakar. Pengaturan aliran air umpan dilakukan melalui katup kontrol yang dioperasikan secara otomatis atau manual, memastikan level air dalam boiler tetap stabil sesuai dengan kebutuhan produksi uap.

#### 6. *Combusion Air*

*Combusion Air* adalah *Combustion air* boiler pada kapal adalah sistem yang dirancang untuk menyediakan udara yang diperlukan dalam proses pembakaran di dalam ketel uap (boiler). Udara ini berfungsi sebagai oksidator yang memungkinkan bahan bakar terbakar dengan efisien, menghasilkan panas yang kemudian digunakan untuk memproduksi uap. Uap ini memiliki berbagai fungsi vital di kapal, seperti memanaskan bahan bakar, minyak lumas, air untuk akomodasi, serta mendukung operasi permesinan lainnya. (Melldyto et al. 2024)



*Gambar 2. 14 Combution Air*

Fungsi utama dari *combustion* air boiler adalah memastikan suplai udara yang cukup dan sesuai dengan kebutuhan pembakaran. Udara yang disuplai harus memiliki tekanan dan volume yang tepat agar proses pembakaran berlangsung secara optimal. Pembakaran yang efisien akan menghasilkan panas maksimal dan meminimalkan emisi gas buang yang berbahaya, sesuai dengan regulasi lingkungan yang berlaku.

Sistem kerja *combustion* air boiler dimulai dengan pengambilan udara dari lingkungan sekitar kapal melalui blower atau kipas. Udara ini kemudian dialirkan melalui saluran khusus menuju *burner*, di mana udara dicampur dengan bahan bakar dalam proporsi yang tepat untuk memastikan pembakaran yang sempurna. Pengaturan aliran udara ini sangat penting; aliran yang terlalu sedikit dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, menghasilkan asap hitam dan residu karbon, sementara aliran yang terlalu banyak dapat menurunkan efisiensi pembakaran karena panas terbuang bersama udara berlebih.

## 7. Sistem kontrol

Sistem kontrol boiler pada kapal adalah mekanisme yang dirancang untuk mengatur dan memantau operasi boiler secara otomatis, memastikan efisiensi dan keamanan dalam produksi uap yang digunakan untuk berbagai keperluan di atas kapal. Sistem ini mengendalikan parameter penting seperti tekanan, suhu, dan level air dalam boiler, serta mengatur suplai bahan bakar dan udara untuk proses pembakaran. Dengan adanya sistem kontrol yang efektif, operasi boiler dapat berjalan optimal, mengurangi risiko kegagalan, dan memastikan ketersediaan uap sesuai kebutuhan operasional kapal.



Gambar 2. 15 Panel *Control* Boiler

Berdasarkan fungsi dari boiler di atas, salah satu variabel penting yang diatur pada boiler adalah temperatur. Temperatur pada uap boiler sangat vital karena pemanfaatan uap dari boiler memiliki spesifikasi nilai

temperatur tertentu untuk dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan kilang. Hal ini akan sangat berkaitan dengan proses dan keamanan jika temperatur yang dihasilkan lebih kecil atau lebih besar dari kebutuhan. Salah satu sistem kendali yang dapat digunakan adalah PLC (*Programmable Logic Controller*) dengan bahasa pemrograman berupa diagram ladder dalam bentuk grafis. Diagram ini menggunakan simbol yang secara umum mirip dengan rangkaian kendali pada relay. (Widodo and Leestiana 2022)

Fungsi utama dari sistem kontrol boiler meliputi pengaturan suhu dan tekanan uap, pengendalian level air dalam drum boiler, serta pengaturan rasio bahan bakar dan udara untuk pembakaran yang efisien. Pengendalian suhu dan tekanan uap penting untuk memastikan bahwa uap yang dihasilkan memiliki kualitas dan energi yang sesuai untuk mendukung sistem propulsi dan kebutuhan lainnya di kapal. Sementara itu, pengendalian level air dalam drum boiler mencegah terjadinya kondisi kekurangan atau kelebihan air yang dapat menyebabkan kerusakan pada boiler atau menurunkan efisiensi operasional.

Sistem kerja kontrol boiler biasanya melibatkan penggunaan sensor untuk memantau parameter operasional seperti suhu, tekanan, dan level air. Data dari sensor ini kemudian diproses oleh pengendali (*controller*) yang menggunakan algoritma tertentu, seperti *Proportional-Integral-Derivative* (PID) atau logika *fuzzy*, untuk menentukan tindakan korektif yang diperlukan. Misalnya, jika suhu uap melebihi batas yang ditetapkan, pengendali dapat mengurangi suplai bahan bakar atau meningkatkan aliran udara untuk menurunkan suhu. Aktuator kemudian melaksanakan perintah dari pengendali, seperti mengatur katup bahan bakar atau kipas udara, untuk mencapai kondisi operasi yang diinginkan.

## **1.7 Prinsip dan Langkah Kerja Boiler**

### **1.7.1 Prinsip Kerja Boiler**

Prinsip kerja boiler kapal merupakan rangkaian proses yang sangat kompleks dan melibatkan berbagai komponen yang saling terkait untuk

menghasilkan uap yang digunakan untuk berbagai keperluan operasional kapal, seperti propulsi, pemanasan, atau sistem lainnya. Proses ini berfokus pada konversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi termal yang digunakan untuk memanaskan air menjadi uap. Berikut adalah penjelasan yang lebih detail mengenai prinsip kerja boiler kapal:

### 1. Pembakaran Bahan Bakar (*Combustion Process*)

Proses pertama dalam kerja boiler kapal adalah pembakaran bahan bakar yang berlangsung di dalam ruang pembakaran boiler. Bahan bakar, seperti minyak, batu bara, atau gas, disuplai ke dalam burner yang terhubung dengan *fuel supply system*. Di dalam burner, bahan bakar dicampur dengan udara yang disuplai oleh *combustion air fan*. Campuran bahan bakar dan udara ini kemudian dinyalakan untuk memulai proses pembakaran. Proses pembakaran menghasilkan gas panas dengan suhu yang sangat tinggi, yang akan digunakan untuk memanaskan air dalam boiler.

Penting untuk menjaga keseimbangan antara bahan bakar dan udara, karena jika pembakaran tidak optimal, dapat menyebabkan efisiensi pembakaran yang rendah, emisi berbahaya, atau bahkan kerusakan pada komponen boiler. Udara yang cukup diperlukan untuk proses pembakaran agar oksigen dapat bereaksi dengan bahan bakar, menghasilkan energi dalam bentuk panas.

### 2. Pemanasan Air dalam Drum Boiler

Setelah pembakaran terjadi, gas panas yang dihasilkan diarahkan melalui serangkaian pipa yang disebut *gas path* atau *flue gas path*. Di sepanjang jalur ini, gas panas bersentuhan dengan pipa-pipa yang terisi dengan air dalam sistem *water tube* boiler atau sebaliknya, dalam *fire tube* boiler, gas panas mengalir melalui pipa yang dikelilingi oleh air.

Panas dari gas pembakaran tersebut dipindahkan ke air dalam pipa melalui konduksi. Air dalam pipa ini kemudian memanaskan dan menguap secara perlahan hingga mencapai titik didih. Pada titik ini, sebagian air di dalam boiler akan berubah menjadi uap. Uap yang terbentuk ini kemudian akan naik ke bagian atas drum boiler, sementara air yang belum teruapkan

tetap berada di bagian bawah. Dalam proses ini, tekanan dan suhu air dalam boiler sangat diperhatikan untuk memastikan keberhasilan proses pemanasan yang aman dan efisien.

### 3. Pengaturan Tekanan dan Pengendalian Level Air

Di dalam boiler kapal, penting untuk mempertahankan level air dan tekanan yang sesuai untuk memastikan proses penguapan berjalan dengan baik. Level air yang terlalu rendah dapat menyebabkan pembakaran yang tidak efisien dan kerusakan pada permukaan pemanas (*tubes*), sedangkan level air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pemanas dan pengurangan efisiensi karena uap yang kurang berkualitas.

Pengontrol level air bekerja dengan memantau ketinggian air di dalam drum boiler dan menyesuaikan aliran air masuk untuk menjaga level yang optimal. Sementara itu, tekanan yang dihasilkan dari uap harus tetap berada dalam rentang yang aman untuk mencegah kerusakan pada komponen boiler dan untuk memastikan bahwa uap yang dihasilkan memiliki energi yang cukup untuk digunakan dalam aplikasi kapal. Sistem kontrol otomatis, baik itu berbasis PID (*Proportional-Integral-Derivative*) atau PLC (*Programmable Logic Controller*), digunakan untuk memantau dan mengatur suhu, tekanan, dan level air dengan presisi tinggi.

### 4. Proses *Superheating*

Setelah uap terbentuk, ia diarahkan ke bagian *superheater*, di mana suhu uap ditingkatkan lebih lanjut. *Superheating* dilakukan untuk meningkatkan kualitas uap, sehingga uap yang keluar dari boiler memiliki suhu yang lebih tinggi dan lebih efisien dalam melakukan pekerjaan mekanik, seperti menggerakkan turbin atau mesin kapal. *Superheater* ini berfungsi dengan mengambil gas panas sisa dari pembakaran dan mengalirkannya melalui pipa yang terhubung dengan uap di boiler.

Proses *superheating* ini penting karena uap yang lebih panas dapat lebih efisien dalam menggerakkan mesin kapal atau menghasilkan daya. Uap yang sudah dipanaskan ini biasanya memiliki suhu yang jauh lebih

tinggi daripada titik didihnya (di atas 400°C) dan digunakan untuk keperluan yang membutuhkan energi uap dalam jumlah besar.

#### 5. Sistem Pembuangan Gas Buang dan *Ekonomizer*

Setelah uap terbentuk dan *disuperheat*, gas buang yang tersisa dari pembakaran harus dikeluarkan dari boiler melalui *chimney* atau cerobong. Gas buang ini masih memiliki suhu yang cukup tinggi, yang dapat dimanfaatkan kembali untuk meningkatkan efisiensi boiler. Sebelum dibuang, gas buang terlebih dahulu melewati *economizer*, sebuah sistem yang digunakan untuk memanaskan air yang baru masuk ke dalam boiler menggunakan panas sisa dari gas buang tersebut.

Proses ini meningkatkan efisiensi boiler dengan memanfaatkan energi panas yang sebelumnya akan hilang. Air yang dipanaskan di *economizer* ini akan masuk ke dalam sistem boiler dan mempersingkat waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap, sekaligus mengurangi konsumsi bahan bakar.

#### 6. Pengendalian dan Keamanan Sistem

Boiler kapal juga dilengkapi dengan berbagai sistem pengendalian otomatis yang memastikan bahwa boiler beroperasi dalam kondisi yang aman dan efisien. Sistem kontrol ini memonitor parameter seperti suhu, tekanan, dan level air untuk menjaga kondisi operasional yang stabil. Jika parameter-parameter ini melebihi batas yang telah ditentukan, sistem kontrol akan mengambil langkah-langkah korektif secara otomatis, seperti mengurangi aliran bahan bakar atau meningkatkan suplai air.

Selain itu, sistem keselamatan seperti *valve* pengaman, pemutus tekanan, dan alarm suhu tinggi sangat penting untuk mencegah kecelakaan akibat tekanan berlebih atau suhu yang sangat tinggi. Dengan adanya sistem pengaman ini, potensi risiko yang berhubungan dengan boiler dapat dikendalikan dan dihindari.

Secara keseluruhan, prinsip kerja boiler kapal mengandalkan proses pembakaran bahan bakar yang efisien untuk menghasilkan panas, yang

kemudian digunakan untuk mengubah air menjadi uap. Pengendalian suhu, tekanan, dan level air yang tepat sangat penting untuk menjaga efisiensi dan keselamatan sistem boiler. Proses ini melibatkan penggunaan berbagai komponen seperti *burner*, *drum boiler*, *superheater*, *economizer*, serta sistem kontrol otomatis yang semuanya bekerja secara sinergis untuk menghasilkan uap dengan efisien dan aman.

### 1.7.2 Langkah Kerja Boiler

Proses menghidupkan dan mematikan boiler kapal tanker secara manual memerlukan perhatian yang sangat rinci untuk memastikan bahwa semua sistem berfungsi dengan aman dan efisien. Berikut adalah langkah-langkah dari proses tersebut:

#### 1. Persiapan Sebelum Menyalakan Boiler (*Pre-Start Checks*)

##### A. Pemeriksaan Level Air

Sebelum menyalakan boiler, sangat penting untuk memeriksa level air dalam drum boiler. Level air yang terlalu rendah dapat menyebabkan kerusakan pada elemen pemanas, sementara level yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pembentukan skala atau endapan. Pastikan level air berada dalam posisi normal, di atas garis minimum, tetapi tidak melebihi level maksimum.

##### B. Pemeriksaan Sistem Bahan Bakar

Periksa sistem bahan bakar untuk memastikan pasokan bahan bakar yang cukup dan tidak ada kebocoran pada pipa atau sistem distribusi bahan bakar. Jika menggunakan bahan bakar minyak, pastikan *fuel oil pump* berfungsi dengan baik dan bahan bakar telah tersedia di *fuel oil tank*. Jika menggunakan gas atau batu bara, pastikan sistem distribusinya siap.

##### C. Pemeriksaan Sistem Pembakaran

Pastikan *combustion air fan* dalam kondisi baik dan dapat menyediakan pasokan udara yang cukup untuk mendukung pembakaran bahan bakar. Periksa saluran udara untuk memastikan tidak ada penyumbatan yang dapat mengurangi aliran udara.

#### D. Pemeriksaan *Valve* dan Komponen Boiler

- *Feedwater valve*: Pastikan *valve* ini dalam posisi terbuka untuk memungkinkan aliran air masuk ke dalam boiler.
- *Blowdown valve*: Periksa bahwa *blowdown valve* dalam posisi tertutup saat boiler dalam keadaan hidup. *Valve* ini hanya dibuka untuk pembersihan setelah boiler dimatikan.
- *Pressure relief valve*: Pastikan *valve* ini berfungsi dengan baik untuk menghindari terjadinya tekanan berlebih dalam boiler.

#### E. Pemeriksaan Sistem Kontrol dan Alarm

Periksa sistem kontrol otomatis dan instrumen pengukur tekanan, suhu, dan level air. Pastikan bahwa alarm yang ada berfungsi dengan baik. Setiap indikator atau sistem yang menunjukkan kondisi abnormal harus segera diperbaiki sebelum melanjutkan ke langkah berikutnya.

### 2. Proses Menyalakan Boiler Secara Manual

#### A. Menghidupkan Sistem Pembakaran

Setelah pemeriksaan selesai, proses untuk menghidupkan boiler dimulai:

- Menyalakan air fan (*combustion air fan*): Nyalakan *fan* untuk memasok udara pembakaran. Pastikan bahwa aliran udara cukup untuk mendukung pembakaran yang efisien dan mencegah pembakaran yang tidak sempurna.
- Menyuplai bahan bakar: Secara manual, buka *valve* bahan bakar untuk menyalurkan bahan bakar ke *burner*. Jika boiler menggunakan bahan bakar minyak, pastikan aliran bahan bakar berjalan lancar dari tangki ke *burner*.
- Menyalakan sistem penyalan (*ignition system*): Nyalakan sistem penyalan, seperti *spark igniter* (untuk boiler minyak) atau *pilot flame*. Sistem penyalan ini bertugas untuk menyalakan bahan bakar yang masuk ke *burner* dan memulai pembakaran.

## B. Memulai Pembakaran dan Pemanasan

Setelah bahan bakar menyala, pembakaran dimulai di dalam *burner*. Proses ini menghasilkan gas panas yang akan mengalir melalui pipa pemanas boiler, memanaskan air dalam boiler dan mengubahnya menjadi uap.

- Memanaskan air: Gas panas yang dihasilkan dari pembakaran akan mengalir melalui pipa dalam boiler, memanaskan air yang ada di dalamnya. Pada saat uap mulai terbentuk, gas panas akan terus mengalir ke *superheater* (jika ada) untuk meningkatkan suhu uap.
- Pengaturan aliran udara dan bahan bakar: Secara manual, atur aliran udara dan bahan bakar untuk memastikan pembakaran tetap efisien. Kombinasi yang tepat antara udara dan bahan bakar sangat penting untuk menjaga agar pembakaran tetap stabil dan menghasilkan uap sesuai kebutuhan.

## C. Memantau Tekanan dan Suhu

Saat uap terbentuk, sistem akan memonitor tekanan dan suhu di dalam boiler:

- Menjaga tekanan: Pada tahap ini, pastikan bahwa *pressure gauge* menunjukkan nilai tekanan yang sesuai dan aman untuk boiler. Jika tekanan terlalu rendah, aliran bahan bakar dan udara dapat ditingkatkan sedikit. Namun, jika tekanan terlalu tinggi, perlu mengurangi aliran bahan bakar atau udara pembakaran.
- Menjaga suhu uap: *Thermometer* atau pengukur suhu akan menunjukkan suhu uap yang dihasilkan. Pada tahap ini, boiler harus mencapai suhu yang cukup tinggi agar uap dapat digunakan untuk tujuan yang diinginkan, seperti pemanas atau propulsi kapal.

#### D. Memastikan Keamanan dan Monitoring

Selama proses pembakaran dan pemanasan, pastikan bahwa *safety valve* dan *pressure relief valve* berfungsi dengan baik. Ini penting untuk mencegah terjadinya tekanan yang berlebih yang dapat membahayakan sistem.

### 3. Operasi Normal Boiler

#### A. Menjaga Pembakaran yang Stabil

Setelah boiler mencapai suhu dan tekanan yang stabil, pembakaran berlanjut secara terus-menerus untuk memenuhi kebutuhan uap kapal. Proses ini akan berlangsung dengan burner yang terus menyuplai bahan bakar dan *combustion air fan* yang terus memastikan pasokan udara pembakaran yang cukup. Anda harus terus memonitor suhu, tekanan, dan level air secara manual, menyesuaikan aliran bahan bakar dan udara pembakaran jika diperlukan untuk menjaga efisiensi.

#### B. Pengelolaan Level Air dalam Boiler

- *Feedwater supply*: Pastikan bahwa *feedwater pump* terus menyuplai air ke dalam boiler sesuai kebutuhan. Cek level air secara manual dengan menggunakan indikator level yang ada.
- Menjaga *blowdown*: Sesekali lakukan pembuangan air (*blowdown*) untuk menghindari penumpukan endapan dan menjaga kualitas air dalam boiler.

#### C. Memantau dan Menyesuaikan Beban Uap

Beberapa alat dan sistem di kapal mungkin membutuhkan lebih banyak uap pada waktu-waktu tertentu, seperti turbin atau pompa yang memanfaatkan uap untuk tenaga. Oleh karena itu, Anda harus memantau penggunaan uap dan menyesuaikan aliran bahan bakar serta udara untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

### 4. Proses Mematikan Boiler Secara Manual

#### 1. Mengurangi Beban Uap

Sebelum mematikan boiler, aliran uap ke sistem kapal perlu dikurangi secara bertahap:

- Mengurangi kebutuhan uap: Secara manual, atur agar kapal menggunakan lebih sedikit uap, atau secara bertahap hentikan sistem yang membutuhkan uap.

## 2. Menghentikan Pembakaran

Setelah beban uap berkurang, mulai matikan pembakaran:

- Matikan bahan bakar: Secara manual, tutup *fuel valve* untuk menghentikan aliran bahan bakar ke *burner*. Setelah bahan bakar berhenti, pembakaran akan berhenti dengan sendirinya.
- Matikan *air fan*: Setelah bahan bakar dihentikan, matikan *combustion air fan* untuk menghentikan aliran udara pembakaran.

## 3. Membuang Sisa Uap

Setelah pembakaran dihentikan, uap yang ada dalam sistem harus dibuang secara hati-hati. Gunakan *blow-off valve* untuk melepaskan sisa uap dari drum boiler. Pembuangan uap ini harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari tekanan berlebih.

## 4. Pendinginan dan Pembersihan

Setelah uap habis, biarkan boiler mendingin dengan mengalirkan air dingin ke dalam boiler secara perlahan. Setelah itu, lakukan pembersihan untuk menghilangkan endapan atau kerak yang mungkin terbentuk selama operasi. *Blowdown* juga dilakukan untuk membersihkan air dalam boiler dan mencegah penumpukan mineral di dalam pipa.

## 5. Penutupan Semua *Valve* dan Sistem

Setelah pembersihan selesai, tutup semua *valve* dan matikan semua peralatan yang terkait dengan operasi boiler. Pastikan boiler berada dalam kondisi yang aman dan siap untuk dihidupkan lagi jika diperlukan.

#### f. Keamanan dan Pengawasan

Selama seluruh proses pengoperasian dan pemadaman boiler secara manual, selalu perhatikan keselamatan. Pastikan bahwa semua langkah dilakukan secara sistematis dan hati-hati, serta ikuti prosedur keselamatan untuk menghindari potensi kecelakaan atau kerusakan pada sistem. Gunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, dan pastikan bahwa sistem alarm serta valve pengaman berfungsi dengan baik.

### **1.8 Safety Device pada Boiler**

#### **1.8.1 Pengertian Safety Device**

*Safety device* pada boiler di kapal tanker adalah komponen yang sangat penting untuk menjaga keamanan operasi kapal. Boiler sendiri adalah salah satu komponen utama pada kapal tanker, yang berfungsi untuk menghasilkan uap yang digunakan untuk berbagai keperluan. Namun, karena boiler bekerja pada tekanan dan suhu yang tinggi, potensi risiko terhadap keselamatan kapal, kru, dan lingkungan sangat besar jika terjadi kegagalan dalam sistem. Oleh karena itu, *safety device* menjadi komponen esensial untuk menjaga keamanan operasi boiler di kapal tanker. Adanya bahaya dan risiko yang sulit diprediksi kapan akan terjadi pada sistem tersebut dan bagaimana konsekuensinya, menjadikan salah satu faktor yang akan menyebabkan proses produksi akan terganggu atau berhenti. Dalam hal mengidentifikasi bahaya bisa dinilai dari proses desain maupun dalam operasional suatu sistem yang kemungkinan dapat menimbulkan berbagai konsekuensi yang tidak diinginkan. (Saputra, Supriyadi, and Dwiputra 2016)

Dalam operasinya, *safety device* bekerja secara otomatis maupun manual, tergantung pada desain dan teknologi yang digunakan pada kapal. Sistem otomatis memberikan kemampuan untuk merespons kondisi abnormal dengan cepat tanpa memerlukan intervensi manusia. Namun, sistem manual masih digunakan sebagai cadangan untuk memastikan bahwa kru dapat mengambil alih kontrol jika terjadi kegagalan pada sistem otomatis. Selain itu, *safety device* juga berfungsi untuk mencegah risiko yang lebih luas, seperti kebakaran atau ledakan yang dapat membahayakan kapal secara keseluruhan.

Pentingnya *safety device* boiler tidak hanya terbatas pada aspek teknis, tetapi juga memengaruhi efisiensi operasional kapal. Dengan menjaga boiler tetap dalam kondisi yang optimal, perangkat ini dapat membantu mengurangi konsumsi bahan bakar dan meminimalkan gangguan operasional. Oleh karena itu, perawatan dan pemeliharaan *safety device* menjadi aspek yang sangat penting untuk memastikan bahwa perangkat tersebut berfungsi dengan baik sepanjang waktu. Dengan demikian, *safety device* tidak hanya berfungsi sebagai pengaman, tetapi juga sebagai elemen yang mendukung keberlanjutan dan efisiensi operasional kapal tanker secara keseluruhan.

### 1.8.2 Jenis-jenis *Safety Device*

#### 1. *Pressure Relief Valve*

*Pressure Relief Valve* (PRV) adalah komponen krusial dalam sistem boiler kapal yang berfungsi sebagai pengaman untuk mencegah terjadinya *over pressure* atau tekanan berlebih. *Over pressure* dapat menyebabkan kerusakan serius pada peralatan dan menimbulkan risiko keselamatan bagi awak kapal. PRV dirancang untuk membuka secara otomatis ketika tekanan dalam boiler melebihi batas yang telah ditetapkan, sehingga melepaskan sebagian fluida untuk menurunkan tekanan ke tingkat yang aman. Setelah tekanan kembali normal, *valve* ini akan menutup kembali untuk menjaga integritas sistem.

Tabel 2.1 *Parameter Safety Valve*

No	Parameter	Satuan	Fungsi dalam Boiler
1	Nilai $F_{spring}$	F	Untuk mengetahui besarnya gaya yang harus ditahan atau diberikan oleh suatu pegas.
2	<i>Set Pressure Safety Valve</i>	bar	Tekanan yang ditetapkan untuk memicu <i>safety valve</i> terbuka.
3	Nilai A	A	Perhitungan nilai A bertujuan untuk mengetahui luas penampang yang dipengaruhi oleh gaya pegas dan tekanan fluida dalam sistem.

4	<i>Blowdown (Pressure Differential)</i>	bar	Perbedaan tekanan antara <i>set pressure</i> dan kapan <i>safety valve</i> menutup kembali.
---	---	-----	---

Rumus ini menggambarkan penurunan tekanan yang terjadi akibat pelepasan uap oleh *safety valve* dan kondisi penutupan *valve*.

a. Nilai  $F_{spring}$  :

$$F_{spring} = (P_{set} - P_{back}) \times A \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan rumus 1 :

Fungsi: Menentukan gaya pegas yang dibutuhkan agar katup tetap tertutup sampai tekanan sistem mencapai  $P_{set}$ . Gaya ini harus menahan dorongan fluida terhadap luas penampang  $A$  sampai titik buka.

b. *Set Pressure Safety Valve*

Rumus ( $P_{set}$ ) :

$$P_{set} = \frac{F_{spring}}{A} + P_{back} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan rumus 2 :

Fungsi: Menghitung tekanan awal (Set Pressure) pada saat katup safety valve mulai terbuka. Tekanan ini dipengaruhi oleh gaya pegas ( $F_{spring}$ ) dan tekanan balik ( $P_{back}$ ).

c. Nilai  $A$  :

$$A = \frac{F_{spring}}{P_{set} - P_{back}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan rumus 3 :

Fungsi: Menghitung luas penampang pendorong dari fluida (biasanya permukaan cakram katup) yang terkena tekanan. Ini penting untuk mendesain bagian mekanik dari katup agar mampu menahan tekanan tersebut.

Keterangan :

- $P_{set}$  = *Set Pressure*, tekanan di mana *safety valve* mulai terbuka (bar)
- $F_{spring}$  = Gaya pegas yang menekan katup (N)

- $A$  = Luas permukaan pendorong (disk area) yang terkena tekanan fluida ( $m^2$ )
- $P_{back}$  = *Back Pressure*, tekanan balik di sisi outlet yang dapat mempengaruhi pembukaan valve (bar).

d. *Blowdown (Pressure Differential)*

Rumus :

$$P_{Blowdown} = P_{set} - P_{reseat} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan rumus 4 :

Fungsi: Menentukan selisih tekanan antara saat katup mulai terbuka dan saat menutup kembali. Nilai ini disebut Blowdown Pressure dan digunakan untuk menghindari osilasi katup (*chattering*) serta memastikan pelepasan tekanan berlangsung stabil.

Keterangan :

- $P_{blowdown}$  = *Blowdown Pressure*, perbedaan tekanan antara *set pressure* dan tekanan penutupan kembali (bar).
- $P_{set}$  = *Set Pressure*, tekanan saat *safety valve* mulai terbuka (bar).
- $P_{reseat}$  = *Reseat Pressure*, tekanan saat *safety valve* menutup kembali setelah pelepasan tekanan (bar).

Secara umum, PRV terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu *body, bonnet, disk, seat, pegas, dan inlet*. Dalam kondisi operasi normal, disk akan menekan *seat* pada *nozzle*, mencegah aliran fluida keluar. Pegas berfungsi menjaga disk tetap pada posisinya hingga tekanan mencapai nilai yang telah diatur, yang disebut *set pressure*. Ketika tekanan melebihi *set pressure*, gaya dari fluida akan mengalahkan gaya pegas, menyebabkan disk terangkat dan membuka jalur aliran untuk melepaskan tekanan berlebih. Setelah tekanan turun di bawah *set pressure*, pegas akan mengembalikan disk ke posisi semula, menutup aliran dan mengembalikan sistem ke kondisi normal. Fungsi utama PRV pada boiler kapal adalah untuk melindungi sistem dari potensi kerusakan akibat tekanan berlebih. engan melepaskan fluida saat

tekanan melebihi batas aman, PRV mencegah terjadinya ledakan atau kerusakan pada komponen boiler yang dapat membahayakan keselamatan kapal dan awaknya. Selain itu, PRV juga membantu menjaga efisiensi operasi dengan memastikan tekanan dalam sistem tetap berada pada tingkat yang optimal.

Dalam aplikasi pada kapal, PRV harus dirancang dan dipilih dengan mempertimbangkan karakteristik fluida yang digunakan, seperti suhu, tekanan kerja, dan sifat korosif. Material yang digunakan untuk komponen PRV harus kompatibel dengan fluida untuk mencegah korosi dan memastikan umur pakai yang panjang. Selain itu, PRV harus dipasang pada posisi yang strategis dan mudah diakses untuk memudahkan inspeksi dan perawatan rutin. Perawatan dan pengujian berkala terhadap PRV sangat penting untuk memastikan kinerjanya tetap optimal. Pengujian dapat dilakukan dengan mensimulasikan kondisi *overpressure* dan memeriksa apakah PRV berfungsi dengan baik dalam melepaskan tekanan berlebih.

## 2. *Water Level Control*

*Water Level Control (WLC)* pada boiler kapal adalah sistem otomatis yang dirancang untuk mengatur dan mempertahankan ketinggian air dalam drum uap pada tingkat yang aman dan optimal. Pengendalian ini sangat penting karena level air yang terlalu rendah dapat menyebabkan *overheating* pada pipa boiler, berpotensi merusak struktur boiler dan meningkatkan risiko kebakaran. Sebaliknya, level air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *carryover*, yaitu terbawanya air bersama uap ke dalam sistem, yang dapat merusak peralatan lain yang terhubung. Oleh karena itu, WLC memastikan operasi boiler yang efisien dan aman dengan menjaga keseimbangan antara produksi uap dan suplai air umpan. (Ardi Isnanto 2023)

*Differential Pressure (DP) Transmitter* adalah sensor yang digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan antara dua titik dalam sistem boiler kapal tanker. Sensor ini berfungsi untuk memantau level air dalam steam drum, mengukur aliran bahan bakar, serta mendeteksi tekanan diferensial pada *economizer* dan *filter*.

DP *transmitter* bekerja dengan mendeteksi perbedaan tekanan antara sisi *high-pressure* (HP) dan *low-pressure* (LP), kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik melalui sensor *piezoelektrik* atau kapasitif. Sinyal ini kemudian dikirim ke sistem kontrol untuk diproses dan ditampilkan sebagai data operasional. Dengan menggunakan DP *transmitter*, sistem boiler dapat bekerja lebih efisien dan aman, karena alat ini membantu menjaga kestabilan level air serta mencegah kegagalan operasi akibat tekanan yang tidak sesuai.

Tabel 2.2 *Parameter Water Level*

No	Parameter	Satuan	Keterangan
1.	Tegangan Operasional	V	DP <i>Transmitter</i> bekerja dengan tegangan tertentu, biasanya 24V DC dalam sistem industri. Stabilitas tegangan sangat penting untuk akurasi pengukuran.
2.	Arus Listrik	I	Berguna untuk menentukan apakah perangkat bekerja dalam batas spesifikasinya
3.	Resistansi Sensor	R	Untuk mengetahui apakah sensor mengalami penurunan kinerja atau mengalami kegagalan.
4.	Akurasi DP <i>Transmitter</i>	Error %	Akurasi digunakan untuk menentukan tingkat kesalahan dalam pengukuran DP <i>Transmitter</i> dibandingkan dengan nilai sebenarnya.
5.	Sensitivitas DP <i>Transmitter</i>	V	Sensitivitas menunjukkan seberapa besar perubahan <i>output</i> (tegangan) akibat perubahan tekanan yang terdeteksi.

Adapun rumus-rumus yang digunakan pada parameter di atas adalah sebagai berikut :

a. Tegangan Operasional

Rumus :

$$V = I \times R \dots\dots\dots (4)$$

- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus listrik (Ampere)

- R = Resistansi (Ohm)

b. Arus Listrik

Rumus:

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (5)$$

- I = Arus (Ampere)
- V = Tegangan (Volt)
- R = Hambatan (Ohm)

c. Resistansi Sensor

Rumus:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (6)$$

- R = Resistansi (Ohm)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

d. Akurasi DP Transmitter

Rumus :

$$\text{Error (\%)} = \frac{|V_m - V_t|}{V_t} \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

- $V_m$  = nilai yang diukur oleh DP Transmitter (Pa)
- $V_t$  = nilai tekanan sebenarnya (Pa)
- Error (%) = tingkat kesalahan dalam pengukuran

e. Sensitivitas DP Transmitter

Rumus :

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta P} \dots\dots\dots (10)$$

**Keterangan:**

- $S$  = sensitivitas (V/Pa)
- $\Delta V$  = perubahan tegangan keluaran (V)
- $\Delta P$  = perubahan tekanan diferensial (Pa)

Ada beberapa metode yang digunakan dalam sistem WLC, antara lain sistem pelampung dan koil (*Float and Coil System*), sistem elektroda terendam (*Submerged Electrode System*), dan sistem deteksi perbedaan tekanan (*Pressure Differentials Detection System*). Pada sistem pelampung dan koil, pelampung bergerak naik turun sesuai dengan perubahan level air, menggerakkan aktuator magnetik yang mempengaruhi koil modulasi untuk menghasilkan sinyal output yang mengendalikan katup pengisian air. Sistem elektroda terendam menggunakan elektroda yang ditempatkan pada level tertentu untuk mendeteksi keberadaan air dan mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air umpan. Sementara itu, sistem deteksi perbedaan tekanan mengukur perbedaan tekanan antara dua titik dalam boiler untuk menentukan level air dan mengontrol aliran air umpan.

## 2. *Flame Failure System*

*Flame Failure System* pada boiler kapal adalah sistem keselamatan yang dirancang untuk mendeteksi dan merespons kegagalan nyala api dalam ruang bakar boiler. Sistem ini berfungsi untuk memastikan bahwa proses pembakaran berlangsung dengan aman dan efisien, serta mencegah terjadinya akumulasi bahan bakar yang tidak terbakar yang dapat menyebabkan ledakan atau kerusakan serius pada peralatan. (Purnama et al. 2024)

Fungsi utama dari *Flame Failure System* adalah memantau keberadaan nyala api selama operasi boiler. Jika sistem mendeteksi bahwa nyala api telah padam atau tidak stabil, maka secara otomatis akan menghentikan pasokan bahan bakar ke *burner* untuk mencegah penumpukan bahan bakar yang berpotensi berbahaya. Hal ini sangat penting untuk menjaga keselamatan operasional di atas kapal, mengingat boiler sering digunakan untuk berbagai keperluan seperti pemanas bahan bakar,

minyak lumas, dan penyediaan uap untuk kebutuhan akomodasi maupun permesinan.

Tabel 2.3 *Parameter Flame Failure*

No	Parameter	Satuan	Keterangan
1.	Tegangan Operasional	V	Tegangan yang digunakan untuk sensor <i>flame detector</i> dan <i>relay</i> .
2.	Arus Listrik	I	Bisa digunakan untuk mengevaluasi apakah sensor bekerja dalam batas aman.
3.	Resistansi Sensor	R	Resistansi dalam <i>flame sensor</i> , terutama untuk sensor berbasis <i>photoelectric</i> atau <i>infrared (IR)</i> .
4.	Impedansi	Z	Menghitung hambatan total dalam rangkaian motor listrik.
5.	Faktor Daya	$\cos \varphi$	Untuk mengetahui efisiensi konversi daya listrik menjadi daya mekanik pada motor.

Adapun rumus-rumus yang digunakan pada parameter di atas adalah sebagai berikut :

a. Tegangan Operasional

Rumus :

$$V = I \times R \dots\dots\dots (11)$$

- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus listrik (Ampere)

- R = Resistansi (Ohm)

b. Arus Listrik

Rumus:

$$I = \frac{P}{V} \dots \dots \dots (12)$$

- I = Arus (Ampere)
- P = Daya listrik (Watt)
- V = Tegangan (Volt)

c. Resistansi Sensor

Rumus:

$$R = \frac{V}{I} \dots \dots \dots (13)$$

- R = Resistansi (Ohm)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

d. Impedansi

Rumus:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots \dots \dots (14)$$

- Z = Impedansi (Ohm)
- R = Resistansi (Ohm)
- X = Reaktansi (Ohm)

e. Faktor Daya

Rumus :

$$\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times I}$$

Keterangan:

- P = Daya aktif (dalam watt)
- V = Tegangan antar garis (line-to-line), dalam volt
- I = Arus beban, dalam ampere
- $\sqrt{3}$  = Konstanta sistem 3 fasa ( $\approx 1.732$ )

Cara kerja *Flame Failure System* melibatkan beberapa komponen kunci, termasuk sensor nyala api (*flame sensor*), kontroler, dan mekanisme penutupan pasokan bahan bakar. Sensor nyala api, seperti *flame eye* atau fotodetektor, berfungsi mendeteksi radiasi yang dihasilkan oleh nyala api. Informasi dari sensor ini kemudian dikirim ke kontroler yang akan menilai apakah nyala api berada dalam kondisi normal atau terjadi kegagalan. Jika terdeteksi kegagalan, kontroler akan mengirim sinyal untuk menutup katup pasokan bahan bakar, menghentikan aliran bahan bakar ke burner, dan mengaktifkan alarm untuk memberitahu operator tentang masalah yang terjadi.

### 1.8.3 Fungsi dan Pentingnya *Safety Device*

Perangkat keselamatan pada boiler kapal memiliki peran yang sangat penting dalam memastikan operasi yang aman dan efisien. Tiga komponen utama yang krusial dalam sistem ini adalah *safety valve*, sistem kontrol level air, dan *flame failure system*. Masing-masing perangkat ini dirancang untuk mencegah kondisi berbahaya yang dapat mengakibatkan kerusakan peralatan atau bahkan kecelakaan serius di atas kapal.

*Safety valve* adalah katup pengaman yang berfungsi untuk mencegah tekanan berlebih dalam boiler. Ketika tekanan uap melebihi batas yang ditetapkan, *safety valve* akan secara otomatis membuka untuk melepaskan tekanan tersebut, sehingga mencegah potensi ledakan atau kerusakan pada sistem. Setelah tekanan kembali ke tingkat aman, katup ini akan menutup kembali. Fungsi ini sangat penting untuk menjaga integritas struktural boiler dan keselamatan awak kapal.

Sistem kontrol level air sistem ini memastikan bahwa level air dalam boiler tetap berada dalam batas aman. Jika level air terlalu rendah, elemen pemanas dapat mengalami *overheating*, yang berpotensi merusak komponen

internal boiler. Sebaliknya, level air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pembentukan uap berlebih dan gangguan operasi. Sistem kontrol level air bekerja dengan mendeteksi perubahan level air dan mengatur aliran air umpan (*feed water*) ke dalam boiler untuk menjaga level yang optimal.

*Flame failure system* adalah mekanisme yang mendeteksi keberadaan nyala api dalam ruang bakar boiler. Jika nyala api padam secara tidak terduga, sistem ini akan secara otomatis menghentikan pasokan bahan bakar untuk mencegah akumulasi bahan bakar yang tidak terbakar, yang dapat menyebabkan ledakan saat dinyalakan kembali. Sistem ini biasanya dilengkapi dengan sensor yang mendeteksi radiasi atau cahaya dari nyala api, dan akan mengaktifkan alarm serta mematikan burner jika terjadi kegagalan nyala.

Pentingnya perangkat keselamatan ini tidak dapat diabaikan, mengingat risiko yang terkait dengan operasi boiler di atas kapal. Perawatan dan pengujian rutin terhadap *safety valve*, sistem kontrol level air, dan *flame failure system* harus dilakukan untuk memastikan fungsionalitasnya. Kegagalan dalam salah satu sistem ini dapat mengakibatkan konsekuensi serius, termasuk kerusakan peralatan, gangguan operasional, dan ancaman terhadap keselamatan awak kapal.

Dengan demikian, pemahaman mendalam tentang fungsi dan pentingnya perangkat keselamatan pada boiler kapal, serta komitmen terhadap perawatan dan inspeksi rutin, adalah kunci untuk memastikan operasi yang aman dan efisien di atas kapal.

## **1.9 Regulasi dan Standar Keselamatan**

### **1.9.1 Peraturan Keselamatan di Kapal Tanker**

Keselamatan Kapal tanker merupakan aspek fundamental yang harus dijaga dengan ketat melalui berbagai regulasi nasional maupun internasional. Tujuan utama dari regulasi ini adalah memastikan operasi kapal berlangsung dengan aman serta mencegah terjadinya insiden yang berpotensi membahayakan awak kapal, lingkungan, maupun muatan berbahaya yang dibawa. Salah satu regulasi internasional yang paling berpengaruh dalam hal ini adalah Konvensi Internasional untuk Keselamatan Kehidupan di Laut (SOLAS) yang dikeluarkan oleh Organisasi Maritim Internasional (IMO). SOLAS

menetapkan standar minimum terkait konstruksi kapal, kelengkapan peralatan, serta prosedur operasional guna memastikan keamanan kapal, termasuk kapal tanker. Ruang lingkup SOLAS meliputi berbagai aspek penting, seperti stabilitas kapal, kekuatan struktur, sistem pemadam kebakaran, serta navigasi. Selain itu, regulasi ini juga mengamanatkan penerapan *International Safety Management (ISM) Code*, yang mengharuskan operator kapal memiliki sistem manajemen keselamatan yang terstruktur dan mencakup prosedur tanggap darurat yang terencana dengan baik.(Firdaus et al. 2016)

Di samping SOLAS, Konvensi Internasional untuk Pencegahan Pencemaran dari Kapal (MARPOL) juga memiliki peran penting dalam mengatur operasional kapal tanker, terutama dalam hal pencegahan pencemaran laut akibat kargo berbahaya. MARPOL mengatur berbagai aspek pencegahan pencemaran, baik yang disebabkan oleh tumpahan minyak, bahan kimia beracun, maupun zat pencemar lainnya. Annex I dan Annex II MARPOL secara khusus mengatur langkah-langkah pencegahan polusi akibat minyak dan zat kimia, termasuk penerapan desain *double hull* pada kapal tanker guna mengurangi risiko kebocoran kargo dalam kondisi darurat. Dengan adanya desain lambung ganda ini, kemungkinan bocornya muatan berbahaya dapat diminimalkan jika terjadi insiden seperti tabrakan atau kandas.

Di tingkat nasional, Indonesia telah menerapkan berbagai kebijakan untuk memastikan keselamatan kapal tanker yang beroperasi di wilayah perairannya. Salah satu regulasi yang diterapkan adalah Peraturan Menteri Perhubungan Nomor KM 66 Tahun 2005, yang mengatur mengenai pengoperasian kapal tanker minyak dengan lambung tunggal (*single hull*). Regulasi ini menetapkan batasan usia serta persyaratan teknis bagi kapal tanker *single hull* agar dapat mengurangi risiko pencemaran lingkungan akibat tumpahan minyak. Selain itu, pemerintah Indonesia juga mengadopsi ISM Code ke dalam peraturan domestik melalui Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM.45 Tahun 2012 tentang Manajemen Keselamatan Kapal, yang mewajibkan perusahaan pelayaran menerapkan sistem manajemen keselamatan yang sesuai dengan standar internasional guna memastikan operasional kapal yang lebih aman dan terkendali.

Untuk menjamin penerapan regulasi keselamatan ini berjalan dengan optimal, otoritas maritim Indonesia melakukan pengawasan rutin, baik melalui inspeksi berkala, sertifikasi keselamatan, maupun audit terhadap kapal tanker yang beroperasi. Pemeriksaan ini meliputi evaluasi kelengkapan peralatan keselamatan, kepatuhan terhadap prosedur operasional, serta kesiapan awak kapal dalam menghadapi keadaan darurat. Selain itu, perusahaan pelayaran memiliki tanggung jawab untuk memberikan pelatihan keselamatan kepada awak kapal, sehingga mereka dapat memahami dan menerapkan prosedur keselamatan dengan benar. Dengan demikian, tingkat kesiapan dalam menghadapi situasi darurat dapat lebih ditingkatkan.

Meskipun regulasi keselamatan telah ditetapkan dengan ketat, masih terdapat sejumlah tantangan dalam penerapannya. Beberapa kendala yang kerap dihadapi antara lain keterbatasan sumber daya dalam melakukan inspeksi secara menyeluruh, tekanan ekonomi yang terkadang membuat operator kapal mengabaikan aspek keselamatan, serta perbedaan standar keselamatan di berbagai negara yang dapat menyebabkan ketidakpastian bagi perusahaan pelayaran. Oleh karena itu, kolaborasi antara otoritas maritim, perusahaan pelayaran, serta organisasi internasional menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa standar keselamatan yang telah ditetapkan dapat diterapkan secara efektif dan konsisten di seluruh industri pelayaran.

### **1.9.2 Standar Internasional untuk Boiler**

Boiler pada kapal tanker memiliki peran yang sangat penting dalam menghasilkan uap yang digunakan untuk berbagai kebutuhan, seperti menggerakkan mesin utama, memanaskan kargo, serta mendukung sistem lainnya di kapal. Untuk memastikan boiler dapat beroperasi dengan aman dan efisien, diperlukan kepatuhan terhadap standar internasional yang ketat. Salah satu standar yang paling banyak digunakan di seluruh dunia adalah ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC), yang dikeluarkan oleh American Society of Mechanical Engineers (ASME). Standar ini memberikan panduan komprehensif mengenai perancangan, pembuatan, inspeksi, pengujian, serta sertifikasi boiler dan bejana tekan. Karena telah diakui di banyak negara, ASME BPVC sering

dijadikan acuan utama dalam industri maritim untuk memastikan keselamatan serta keandalan sistem boiler.

Dalam menentukan kode atau standar yang harus digunakan pada *pressure vessel* (bejana tekan) di suatu negara, terdapat beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan, seperti regulasi nasional, standar industri yang berlaku, serta praktik terbaik yang telah diterapkan secara global. Sejumlah negara mengadopsi standar internasional, seperti ASME BPVC, yang banyak diterapkan di Amerika Serikat dan negara lainnya. Di sisi lain, Uni Eropa menggunakan *Pressure Equipment Directive* (PED) yang memiliki ketentuan lebih ketat dalam aspek keselamatan dan sertifikasi peralatan bertekanan. Standar tersebut mengatur berbagai aspek, mulai dari perancangan dan proses produksi hingga inspeksi serta prosedur pengujian, sehingga bejana tekan dapat berfungsi dengan aman dan memiliki daya tahan yang optimal.

Selain standar yang berlaku secara internasional, setiap negara juga memiliki regulasi tersendiri yang wajib dipatuhi oleh produsen serta operator bejana tekan. Misalnya, Jepang menerapkan JIS B 8243, India menggunakan IS 2825, sedangkan China memiliki GB 150 sebagai standar nasionalnya. Pemilihan standar yang tepat biasanya dipengaruhi oleh faktor lokasi penggunaan, kebutuhan pelanggan, serta kebijakan pemerintah setempat. Beberapa negara juga memiliki badan inspeksi yang bertanggung jawab untuk memastikan bahwa bejana tekan yang digunakan telah memenuhi persyaratan standar yang berlaku.

Selain mempertimbangkan standar dan regulasi yang berlaku di suatu negara, faktor lingkungan operasional juga menjadi salah satu aspek utama dalam menentukan standar yang sesuai. Bejana tekan yang digunakan di sektor maritim, industri perminyakan, atau industri kimia biasanya memiliki persyaratan khusus yang berkaitan dengan tekanan kerja, suhu operasional, serta jenis fluida yang ditampung atau diproses. Misalnya, kapal tanker yang beroperasi secara internasional harus mematuhi standar ASME BPVC serta mengikuti peraturan yang ditetapkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) agar sistem boiler dapat beroperasi dengan aman dan efisien.

### 1.9.3 Tanggung Jawab Operator

Operator boiler pada kapal tanker memiliki tanggung jawab yang sangat penting dalam memastikan operasi yang aman, efisien, dan berkelanjutan. Tugas utama mereka meliputi pengoperasian dan pemeliharaan boiler, yang mencakup pemahaman mendalam tentang cara kerja boiler, mulai dari proses penyalaan, pengaturan suhu, hingga pengendalian tekanan uap sesuai dengan standar operasional. Memastikan bahwa boiler berfungsi secara optimal adalah prioritas utama untuk mencegah kerusakan dan memastikan keselamatan.

Selain itu, operator bertanggung jawab untuk melakukan inspeksi dan pemeliharaan rutin. Tugas ini mencakup pemeriksaan visual terhadap komponen boiler, seperti pipa, katup, dan tangki penyimpanan, serta pembersihan berkala untuk mencegah penumpukan kerak yang dapat mengurangi efisiensi dan meningkatkan risiko kebakaran. Mereka juga harus memantau sistem secara terus-menerus, mengawasi indikator tekanan, suhu, dan level air, serta melakukan penyesuaian yang diperlukan untuk menjaga parameter operasional dalam batas aman dan efisien.

Dalam situasi darurat, operator harus siap melakukan perbaikan cepat dan efektif. Kemampuan untuk mendiagnosis masalah dengan cepat dan mengambil tindakan perbaikan yang tepat sangat penting untuk menghindari *downtime* yang berkepanjangan dan memastikan kontinuitas operasional kapal. Selain itu, mereka bertanggung jawab untuk menyusun laporan dan dokumentasi yang mencatat semua aktivitas operasional, termasuk inspeksi, pemeliharaan, dan perbaikan. Dokumentasi ini penting untuk keperluan audit, analisis kinerja, dan perencanaan pemeliharaan di masa mendatang.

Untuk menjalankan tugas-tugas tersebut, operator boiler harus memenuhi kualifikasi tertentu. Pendidikan minimal yang biasanya diperlukan adalah lulusan SMA atau setara, dengan latar belakang di bidang teknik seperti Teknik Mesin atau Teknik Kimia. Selain itu, mereka harus memiliki sertifikasi kompetensi sebagai operator boiler yang diberikan oleh lembaga terakreditasi, yang menunjukkan bahwa mereka telah menguasai pengetahuan dan keterampilan dasar dalam pengoperasian boiler.

Keterampilan teknis yang kuat juga diperlukan, termasuk pemahaman tentang prinsip kerja dan komponen-komponen boiler, sistem pengontrolan, serta operasi dan pemeliharaan dasar. Kemampuan analitis dan pemecahan masalah yang baik sangat penting untuk mengidentifikasi dan mengatasi masalah yang timbul selama operasi boiler, serta mengoptimalkan penggunaan energi dengan efisien. Kemampuan komunikasi yang baik juga diperlukan untuk memastikan komunikasi yang efektif dengan tim kerja dan pihak terkait lainnya, serta kemampuan untuk bekerja dalam tim untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

Secara keseluruhan, operator boiler pada kapal tanker memegang peran krusial dalam menjaga keselamatan dan efisiensi operasional. Dengan memenuhi tanggung jawab dan kualifikasi yang ditetapkan, mereka memastikan bahwa sistem boiler beroperasi dengan optimal, mendukung kelancaran operasi kapal, dan meminimalkan risiko yang dapat membahayakan awak kapal, lingkungan, dan muatan yang diangkut.

## METODOLOGI PENELITIAN

### 1.10 Waktu dan Tempat

Adapun waktu dan tempat pada pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### 1.10.1 Waktu

Waktu yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dimulai dari 01 November 2024 sampai 31 Januari 2025.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Keterangan	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kajian Literatur	■							
2	Penyusunan proposal Penelitian		■						
3	Penulisan Bab 1 Sampai Bab 3			■					
4	Analisa Data				■				
5	Seminar Proposal					■			
6	Seminar Hasil						■		
7	Siding Akhir							■	

#### 1.10.2 Tempat

Tempat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini di PT. Multi Jaya Samudera, yang berlokasi di Jln, Bagan Deli Lama, Medan, Belawan I, Medan Kota Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara 20411.

## **1.11 Alat dan Bahan**

Pada saat ingin melakukan penelitian sistem ini, diperlukan alat serta bahan agar mempermudah pekerjaan. Adapapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

### **1.11.1 Alat Penelitian**

Dalam penelitian sistem ini penulis menggunakan beberapa alat yang digunakan untuk memperlancar proses pekerjaan alat pada sistem ini. Adapun alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Obeng positif berfungsi untuk membuka dan menyetatkan baut positif.
2. Obeng negatif berfungsi untuk membuka dan menyetatkan baut minus.
3. Tang potong berfungsi untuk memotong dan mengupas kabel.
4. Multitester berfungsi untuk mengecek tegangan serta kontinuitas kabel pada rangkaian yang sudah selesai dirakit.
5. Kunci pas dan kunci ring berfungsi untuk membuka dan menyetatkan baut.
6. Isolasi berfungsi untuk membungkus kabel yang di kupas atau menyambung kabel.

### **1.11.2 Bahan Penelitian**

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian sistem ini adalah sebagai berikut :

1. Boiler MISSION 16000 : Perangkat utama yang digunakan dalam penelitian ini, yang berfungsi untuk pengukuran atau analisis sesuai dengan kebutuhan penelitian.
2. Dokumentasi Manual: Panduan atau buku manual untuk memastikan penggunaan Boiler MISSION 16000 dengan benar dan sesuai prosedur.
3. Bahan Referensi: Literatur seperti buku atau jurnal yang digunakan untuk mendukung teori dan analisis dalam penelitian yang menggunakan Boiler MISSION 16000.

4. *Pressure gauge* : Untuk mengukur tekanan uap dalam boiler.
5. *Thermocouple/thermometer infrared* : Untuk mengukur suhu air dan uap.
6. *Flow meter* : Untuk mengukur aliran air dan uap dalam sistem.
7. *Multimeter* : Untuk mengukur arus, tegangan, dan resistansi pada sensor atau kontrol elektrik.
8. *Safety valve* : Katup pengaman yang harus diuji dan dikalibrasi.
9. *Water level gauge & sight glass* : Untuk memantau ketinggian air dalam boiler.
10. *Blowdown valve* : Untuk mengeluarkan kotoran dari dalam boiler.
11. *Fuel injector & burner nozzle* : Untuk memastikan pembakaran bahan bakar efisien.
12. *Ignition system (electrode & spark plug)* : Untuk penyalaan bahan bakar pada burner.

### **1.12 Prosedur Kerja Alat**

Adapun prosedur langkah kerja dari rangkaian yang dibuat oleh penulis ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan dan Identifikasi Sistem.
2. Menentukan parameter yang akan diukur, seperti tegangan (V), arus (I), daya listrik (P), resistansi (R), impedansi (Z).
3. Mengidentifikasi perangkat keselamatan pada boiler, seperti water level sensor, flame failure detector, dan pressure switch untuk memastikan titik pengukuran yang tepat.
4. Mempersiapkan alat ukur.
5. Pengambilan data pengukuran.
6. Mengukur tegangan operasional pada sensor water level dengan multimeter untuk memastikan nilai sesuai dengan spesifikasi perangkat.
7. Analisis data dan evaluasi hasil.
8. Membandingkan hasil pengukuran dengan spesifikasi teknis perangkat untuk memastikan apakah sistem bekerja sesuai standar operasional.

9. Menentukan apakah ada gangguan listrik (misalnya fluktuasi tegangan atau gangguan noise) yang dapat mempengaruhi akurasi sensor.
10. Dokumentasi dan pelaporan.
11. Mencatat hasil pengukuran dalam tabel untuk mempermudah analisis dan perbandingan dengan standar operasional.

### **1.13 Tahapan Penelitian**

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian safety device boiler adalah sebagai berikut, yaitu :

#### **1. Studi pendahuluan**

Yang dimaksud dalam studi pendahuluan adalah melakukan bimbingan kepada dosen pembimbing mengenai judul dan topik pembahasan yang diarahkan untuk dapat menganalisa sistem di kapal.

#### **2. Data kepustakaan**

Data kepustakaan merupakan pengumpulan data-data dengan cara membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, maupun tulisan-tulisan, dan bahan-bahan kuliah yang di dapatkan selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penelitian tugas akhir ini.

#### **3. Penelitian lapangan (*field research*)**

Penelitian lapangan adalah penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap objek penelitian yaitu melakukan secara langsung analisa dari *safety device* boiler pada bahan bakar di kapal.

#### **4. Tahapan penelitian**

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah dan studi literatur sebagai dasar teori. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data melalui pengukuran parameter electrical menggunakan alat ukur seperti multimeter. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis dengan metode kuantitatif untuk mengevaluasi performa sistem. Hasil analisis digunakan untuk menyusun

kesimpulan dan rekomendasi, yang kemudian didokumentasikan dalam laporan penelitian.

#### 1.14 Analisis Data

Adapun proses pengolahan data dan informasi yang akan dilakukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan hasilnya, adalah sebagai berikut :

- Menghitung tekanan kerja *safety device* pada *safety valve* ?
- Menghitung tegangan operasional, arus listrik yang mengalir pada rangkaian, resistansi pada rangkaian, impedansi pada rangkaian *safety device* pada *water level* ?
- Menghitung tegangan operasional, arus listrik yang mengalir pada rangkaian, resistansi pada rangkaian, impedansi pada rangkaian *safety device* pada *flame failure*?

#### 1.15 Parameter Penelitian

##### 1. Parameter *Safety Valve*

Tabel 3. 2 Parameter *Safety Valve*

No	Parameter	Satuan	Fungsi dalam Boiler
1	Nilai $F_{spring}$	F	Untuk mengetahui besarnya gaya yang harus ditahan atau diberikan oleh suatu pegas.
2	<i>Set Pressure Safety Valve</i>	bar	Tekanan yang ditetapkan untuk memicu <i>safety valve</i> terbuka.
3	Nilai A	A	Perhitungan nilai A bertujuan untuk mengetahui luas penampang yang dipengaruhi oleh gaya pegas dan tekanan fluida dalam sistem.
4	<i>Blowdown (Pressure Differential)</i>	bar	Perbedaan tekanan antara <i>set pressure</i> dan kapan <i>safety valve</i> menutup kembali.

2. Parameter *Water Level*Tabel 3. 3 Parameter *Water Level*

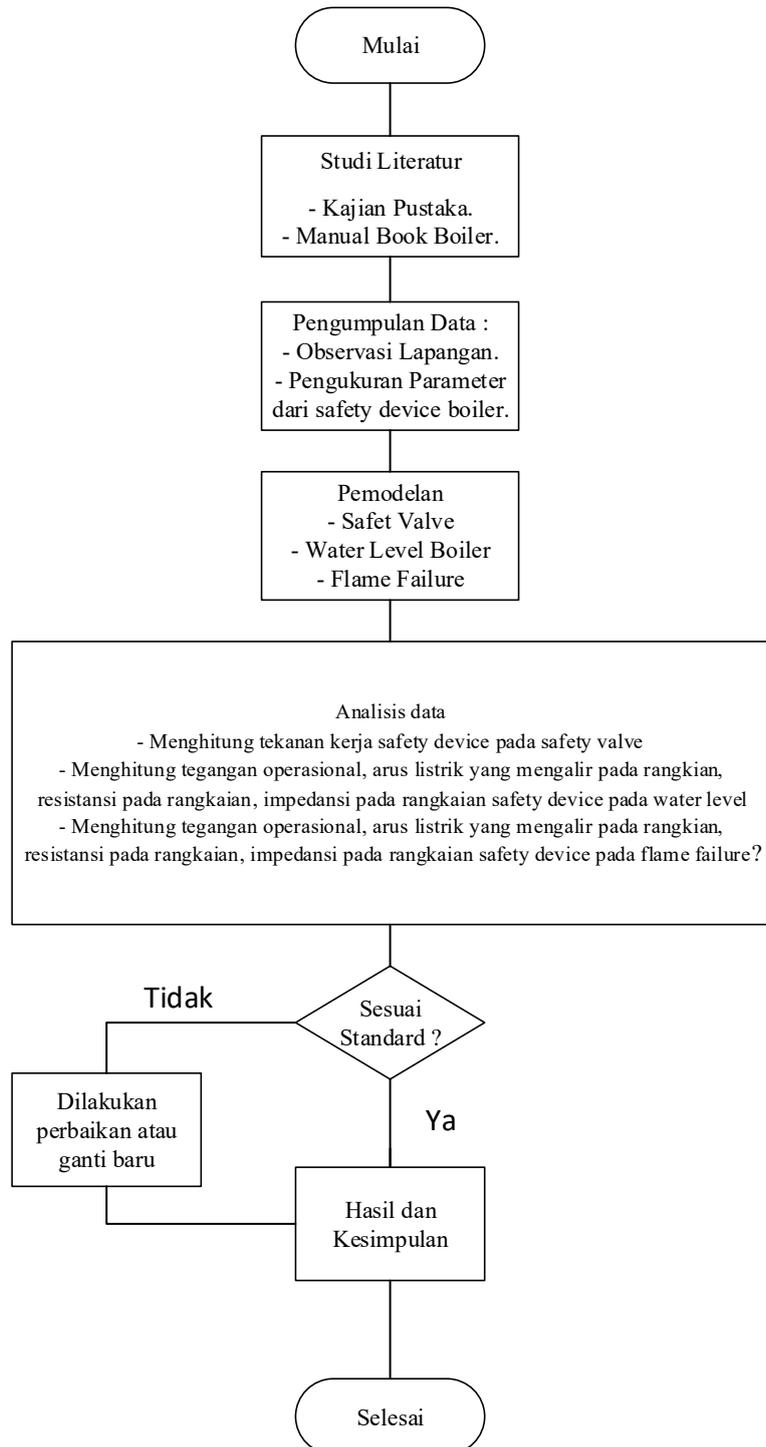
No	Parameter	Satuan	Keterangan
1.	Tegangan Operasional	V	DP <i>Transmitter</i> bekerja dengan tegangan tertentu, biasanya 24V DC dalam sistem industri. Stabilitas tegangan sangat penting untuk akurasi pengukuran.
2.	Arus Listrik	I	Berguna untuk menentukan apakah perangkat bekerja dalam batas spesifikasinya
3.	Resistansi Sensor	R	Untuk mengetahui apakah sensor mengalami penurunan kinerja atau mengalami kegagalan.
4.	Akurasi DP <i>Transmitter</i>	Error %	Akurasi digunakan untuk menentukan tingkat kesalahan dalam pengukuran DP <i>Transmitter</i> dibandingkan dengan nilai sebenarnya.
6.	Sensitivitas DP <i>Transmitter</i>	V	Sensitivitas menunjukkan seberapa besar perubahan <i>output</i> (tegangan) akibat perubahan tekanan yang terdeteksi.

3. Parameter *Flame Failure*Tabel 3. 4 Parameter *Flame Failure*

No	Parameter	Satuan	Keterangan
1.	Tegangan Operasional	V	Tegangan yang digunakan untuk sensor <i>flame detector</i> dan <i>relay</i> .
2.	Arus Listrik	I	Bisa digunakan untuk mengevaluasi apakah sensor bekerja dalam batas aman.
3.	Resistansi Sensor	R	Resistansi dalam <i>flame sensor</i> , terutama untuk sensor berbasis <i>photoelectric</i> atau <i>infrared</i> (IR).

4.	Impedansi	$Z$	Menghitung hambatan total dalam rangkaian motor listrik.
5.	Faktor Daya	$\cos \varphi$	Untuk mengetahui efisiensi konversi daya listrik menjadi daya mekanik pada motor.

### 1.16 Flowchart



*Flowchart* yang ditampilkan menggambarkan proses desain dan pengoperasian boiler terutama pada *safety device*, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mulai
2. Pada kajian pustaka ini berfungsi sebagai landasan teoritis dan referensi ilmiah dalam penelitian yang di lakukan.
  - A. Studi literatur langkah awal adalah melakukan kajian literatur untuk memahami teori dan prinsip kerja boiler dan *safety device*. Tahapan ini mencakup penelitian terhadap metode kontrol, mengevaluasi parameter pada perangkat keselamatan boiler.
  - B. Dengan adanya studi penelitian terdahulu berfungsi sebagai dasar teori, alat analisis, serta acuan untuk menemukan celah penelitian dan memperkuat argumentasi penelitian.
3. Pengumpulan data
  - A. Observasi lapangan dilakukan Dalam penerapan tugas akhir ini dilaksanakan pada PT. Multi Jaya Samudera di Jln, Bagan Deli Lama, Medan, Belawan I, Medan Kota Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara 20411.
  - B. Mengevaluasi parameter pada perangkat keselamatan boiler.
4. Pengolahan Data

Pengolahan data ini bertujuan untuk mengubah data mentah menjadi informasi kuantitatif yang dapat digunakan untuk mengevaluasi performa *safety device water level boiler*. Dengan menghitung parameter electrical secara manual, dapat diketahui apakah sistem bekerja dengan baik atau perlu dilakukan perbaikan guna meningkatkan keselamatan operasional kapal tanker.
5. Analisis
  - A. Menghitung tekanan kerja *safety valve* pada tekanan yang ditetapkan untuk memicu *safety valve* terbuka dan perbedaan tekanan antara *set pressure* dan kapan *safety valve* menutup kembali..
  - B. Menghitung sistem *electrical safety device water level* serta akurasi pembacaan sensor dibandingkan pengukuran manual.

C. Menghitung sistem *electrical safety device flame failure* serta dampak tekanan bahan bakar terhadap kestabilan api.

#### 6. Hasil dan kesimpulan

Berdasarkan analisis data, jika kinerja perangkat keselamatan pada boiler menunjukkan bahwa secara umum performa masih dalam batas yang dapat diterima. Namun, terdapat beberapa area yang memerlukan perbaikan untuk memastikan efisiensi dan keselamatan yang lebih optimal. Inspeksi rutin diperlukan untuk memastikan respons yang cepat dan menghindari potensi kebocoran. Kalibrasi sistem kontrol perlu ditingkatkan agar lebih akurat dalam menjaga keseimbangan air, terutama selama perubahan beban operasi. Responsivitas sensor perlu ditingkatkan untuk mendeteksi kegagalan dengan lebih cepat dan mencegah gangguan pada sistem. Dengan melakukan inspeksi, perawatan, dan kalibrasi secara berkala, operasi boiler dapat berjalan lebih aman dan efisien, serta mengurangi risiko gangguan operasional.

#### 7. Selesai.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil analisis mengenai penggunaan safety device yang meliputi safety valve, water level control, dan flame failure system dalam pengoperasian boiler di kapal tanker. Analisis ini didasarkan pada hasil pengamatan langsung di lapangan, dokumentasi teknis, serta pengalaman pribadi selama menjalani magang. Setiap alat keselamatan tersebut dianalisis berdasarkan fungsinya, cara kerjanya, dan perannya dalam menjaga keselamatan serta kestabilan sistem boiler saat kapal beroperasi.

Ketiga alat pengaman ini memiliki peran penting dalam mencegah terjadinya kecelakaan maupun kerusakan pada sistem boiler. Safety valve berfungsi mencegah tekanan berlebih, water level control berguna untuk menjaga ketinggian air dalam ketel tetap stabil, sedangkan flame failure system berfungsi mendeteksi kegagalan nyala api agar tidak terjadi ledakan akibat akumulasi bahan bakar. Pembahasan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang pentingnya penerapan alat-alat keselamatan dalam pengoperasian boiler, khususnya di kapal tanker yang memiliki risiko tinggi.

#### 4.1 Analisis *Safety Valve*

Analisis terhadap safety valve dilakukan dengan tujuan untuk memahami sejauh mana perangkat ini berperan dalam menjaga keamanan sistem boiler dari risiko tekanan berlebih yang dapat menyebabkan kerusakan atau kecelakaan kerja.

Rumus dasar tekanan :

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

P = Tekanan (Pressure) dalam satuan Pascal (Pa) atau N/m<sup>2</sup>

F = Gaya (Force) dalam satuan Newton (N)

A = Luas permukaan (Area) tempat gaya bekerja, dalam satuan meter persegi (m<sup>2</sup>)

#### 4.1.1 Nilai *Fspring*

Analisis nilai *Fspring* adalah untuk mengetahui besarnya gaya yang harus ditahan atau diberikan oleh suatu pegas agar sistem dapat bekerja dengan stabil dan aman.

Diketahui :

$$P_{set} = 5,8 \text{ bar} = 580.000 \text{ Pa}$$

$$P_{back} = 4,5 \text{ bar} = 450.000 \text{ Pa}$$

$$A = 0,00231 \text{ m}^2$$

Ditanya :

*Fspring* ?

Maka, Nilai *Fspring*,

$$F_{spring} = (P_{set} - P_{back}) \times A$$

$$F_{spring} = (580.000 - 450.000) \times 0,00231$$

$$F_{spring} = 130.000 \times 0,00231 = 300,3 \text{ N}$$

Maka, untuk hasil dari nilai *Fspring* adalah 300,3N.

#### 4.1.2 Set Pressure Safety Valve

Perhitungan Set Pressure Safety Valve bertujuan untuk menentukan tekanan kerja sistem (*Pset*) pada saat katup pengaman (safety valve) mulai membuka kemudian untuk memastikan bahwa katup pengaman akan bekerja tepat pada tekanan yang telah ditentukan, yaitu 5,8 bar.

Diketahui :

$$F_{spring} = 300,3 \text{ N}$$

$$P_{back} = 4,5 \text{ bar} = 450.000 \text{ Pa}$$

$$A = 0,00231 \text{ m}^2$$

Ditanya :

Pset ?

$$P_{set} = \frac{F_{spring}}{A} + P_{back}$$

$$\frac{F_{spring}}{A} = \frac{300,3}{0,00231} = 130.000 \text{ Pa}$$

$$P_{set} = 130.000 + 450.000 = 580.000 \text{ Pa}$$

$$P_{set} = \frac{580.000}{100.000} = 5,8 \text{ bar}$$

Maka, untuk hasil dari nilai *Set Pressure Safety Valve* adalah 5,8 bar dan hasil tersebut sesuai dengan yang ada di manual *book*.

#### 4.1.3 Nilai A

Perhitungan nilai A bertujuan untuk mengetahui luas penampang yang dipengaruhi oleh gaya pegas dan tekanan fluida dalam sistem. Dengan mengetahui luas penampang yang tepat, perancang sistem dapat memastikan bahwa keseimbangan antara gaya mekanis dan tekanan fluida tercapai, sehingga katup atau aktuator dapat bekerja dengan aman dan optimal.

Diketahui :

$$F_{spring} = 300,3 \text{ N}$$

$$P_{set} = 5,8 \text{ bar} = 580.000 \text{ Pa}$$

$$P_{back} = 4,5 \text{ bar} = 450.000 \text{ Pa}$$

Ditanya :

Nilai A?

$$A = \frac{F_{spring}}{P_{set} - P_{back}}$$

$$A = \frac{300,3}{580.000-450.000} = \frac{300,3}{130.000} = 0,00231 \text{ m}^2$$

Maka, untuk hasil dari nilai A adalah  $0,00231 \text{ m}^2$  dan hasil tersebut sesuai dengan tabel 4.1

#### 4.1.4 Blowdown (Pressure Differential)

Perhitungan blowdown atau selisih tekanan dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara tekanan saat katup pengaman mulai membuka ( $P_{set}$ ) dan tekanan saat katup menutup kembali ( $P_{reset}$ ). Dengan mengetahui nilai blowdown, sistem dapat dirancang agar katup hanya menutup setelah tekanan benar-benar turun ke tingkat aman, sehingga melindungi peralatan dan menjaga efisiensi sistem tekanan.

Diketahui :

$$P_{set} = 5,8 \text{ bar}$$

$$P_{reset} = 4,5 \text{ bar}$$

Ditanya :

$P_{blowdown}$  ?

$$P_{blowdown} = P_{set} - P_{reset}$$

$$P_{blowdown} = 5,8 - 4,5 = 1,3 \text{ bar}$$

Maka, untuk hasil nilai dari blowdown nya adalah 1,3bar.

Tabel 4.1 Tabel Simulasi

Diameter Disc (mm)	Luas A (m <sup>2</sup> )	$F_{spring}$ (N)
40	0,00126	163,8
50	0,00196	255,3
60	0,00283	367,9
70	0,00385	500,5

Berdasarkan Tabel 4.1 yang menunjukkan hubungan antara diameter disc, luas penampang (A), dan gaya pegas ( $F_{spring}$ ), dapat disimpulkan bahwa semakin

besar diameter disc yang digunakan, maka luas penampang juga semakin besar, yang secara langsung menyebabkan peningkatan gaya pegas ( $F_{spring}$ ) yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan adanya hubungan linier positif antara diameter disc dan gaya pegas, di mana peningkatan luas penampang memungkinkan gaya yang lebih besar dapat diterapkan atau ditahan oleh sistem. Dengan kata lain, sistem akan memberikan respons gaya pegas yang lebih besar seiring bertambahnya ukuran disc, yang dapat dimanfaatkan untuk perancangan komponen mekanik yang memerlukan kekuatan pegas tinggi berdasarkan luas kontakannya.

## 4.2 Analisis Parameter *Water Level*

### 4.2.1 Tegangan Kerja Sensor

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ &= 3,14 \times 7,6 \\ &= 23,86 \text{ V} \end{aligned}$$

### 4.2.2 Resistansi Sesor

$$\begin{aligned} R &= \frac{V}{I} \\ &= \frac{23,91}{3,14} \\ &= 7,6 \text{ ohm} \end{aligned}$$

### 4.2.3 Arus Sensor

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{23,91}{7,6} \\ &= 3,14 \text{ mA} \end{aligned}$$

### 4.2.4 Akurasi DP *Transmitter*

$$\text{Akurasi (\%)} = \left( \frac{\text{Nilai DP} - \text{Nilai Glass Duga}}{\text{Rentang Penuh}} \right) \times 100 \%$$

Keterangan :

Nilai DP = 89,5 mm  
 Nilai *Glass Duga* = 88 mm

Rentang Penuh = 0 – 250 mm

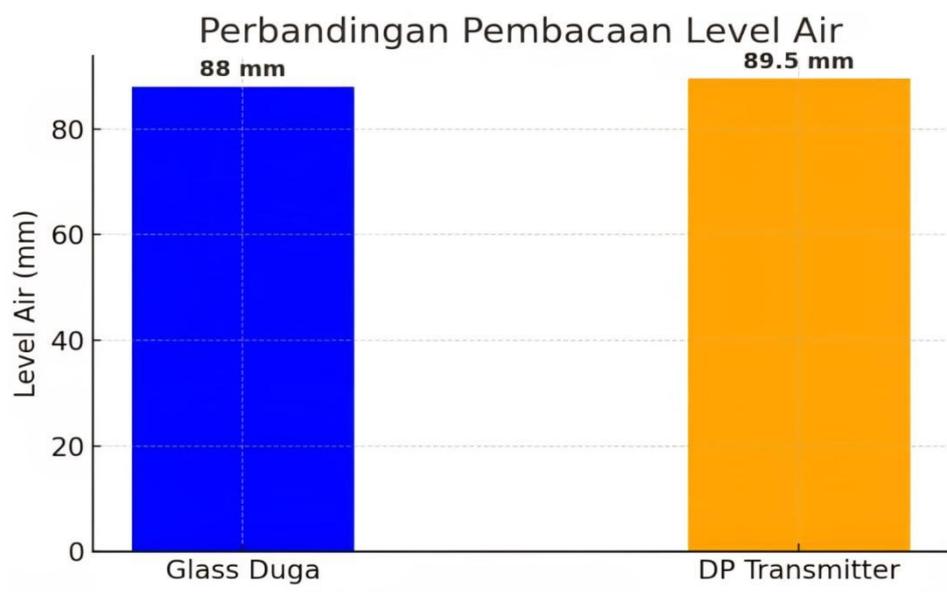
$$\begin{aligned} \text{Akurasi (\%)} &= \left( \frac{89,5 - 88}{250} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{1,5}{250} \right) \times 100 \% \\ &= 0,6 \% \end{aligned}$$

Dari hasil pengukuran, diketahui bahwa nilai pembacaan *glass duga* sebagai alat referensi menunjukkan ketinggian air sebesar 88 mm, sedangkan DP *transmitter* menunjukkan nilai sebesar 89,5 mm. Dengan demikian, terdapat selisih pembacaan sebesar 1,5 mm.

Mengacu pada rentang penuh alat yaitu 0-250 mm, akurasi alat dapat dihitung dengan membandingkan selisih tersebut terhadap span pengukuran. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa akurasi dari DP *transmitter* adalah sebesar 0,6%. Nilai ini menunjukkan bahwa DP *transmitter* bekerja dengan tingkat keakuratan yang tinggi, karena deviasi sebesar 0.6% masih tergolong sangat kecil dalam standar pengukuran industri. Oleh karena itu, alat ini dapat dianggap layak dan andal untuk digunakan dalam pemantauan level air pada sistem boiler.

Berikut adalah bentuk tabel perbandingan hasil pengukuran dan grafik visualisasi level air berdasarkan data tersebut,

Tabel 4.2 Perbandingan Pembacaan Level Air



Berdasarkan Tabel 4.2 yang memperlihatkan perbandingan pembacaan level air menggunakan *Glass Duga* dan *DP Transmitter*, terlihat bahwa hasil pengukuran menunjukkan nilai yang relatif berdekatan, yaitu 88 mm untuk *Glass Duga* dan 89,5 mm untuk *DP Transmitter*. Perbedaan kecil sebesar 1,5 mm ini menunjukkan bahwa *DP Transmitter* memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam mengukur level air, hampir mendekati hasil pengukuran manual dengan *Glass Duga*. Hal ini menandakan bahwa alat *DP Transmitter* dapat diandalkan untuk digunakan dalam pemantauan level air karena mampu memberikan hasil yang konsisten dengan metode konvensional. Selain itu, selisih tersebut masih berada dalam batas toleransi pengukuran, sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *DP Transmitter* efektif untuk menggantikan metode manual dalam aplikasi industri yang membutuhkan pengukuran level cairan secara lebih praktis, cepat, dan berkelanjutan.

#### 4.2.5 Sensitivitas *DP Transmitter*

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta \text{Output}}{\Delta \text{Input}}$$

Keterangan :

Output = nilai yang terbaca di monitor (*DP Transmitter*)

Input = Nilai sebenarnya (*Glass Duga*)

Dalam sistem pengukuran, sensitivitas ideal adalah ketika setiap perubahan 1 satuan pada variabel input (dalam hal ini level air yang diukur oleh *glass duga*), menghasilkan perubahan 1 satuan yang sama pada output (yaitu pembacaan dari *DP transmitter*).

$$\text{Sensitivitas} = \frac{89,5}{88} = 1,017 \text{ mm}$$

Berdasarkan data tersebut, berarti 1 mm perubahan level sebenarnya, *DP Transmitter* merespons sekitar 1,017 mm, yang sedikit lebih tinggi dari ideal yang seharusnya = 1 untuk sensitivitas sempurna.

### 4.3 Analisis Parameter Flame Failure

#### 4.3.1 Tegangan Kerja Sensor

$$V = I \times R$$

$$= 4,27 \times 5,6$$

$$= 23,91 \text{ V}$$

#### 4.3.2 Resistansi Sensor

$$R = \frac{V}{I}$$

$$= \frac{23,91}{4,27}$$

$$= 5,59 \text{ ohm}$$

#### 4.3.3 Arus Sensor

$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{23,95}{5,6}$$

$$= 4,27 \text{ mA}$$

Tabel 4.3 Rangkuman Kegiatan Motor

Motor	Fungsi	Daya	Arus Nominal	Komponen Kontrol
M5	Combustion Air Fan	63 kW	98 A	Q5, F7, 22Kx
M11	Rotary Atomizer	8,5 kW	14,5 A	Q11, F11, 23K9
M14	Ignition Oil Pump	0,22 kW	0,58 A	Q14, F14, 26K7
M4	Oil Transfer Pump	1,32 kW	3,3 A	Q4, F4, 13K3

#### ➤ Motor M5 (*Combustion Air Fan*)

Motor M5 berfungsi untuk menggerakkan kipas udara pembakaran (*Combustion Air Fan*), yang bertugas menyuplai udara ke ruang bakar dalam jumlah dan tekanan yang sesuai untuk memastikan proses pembakaran

berlangsung optimal. Udara ini diperlukan untuk mencampur dengan bahan bakar agar pembakaran dapat berlangsung sempurna, sehingga efisiensi proses pembakaran dapat ditingkatkan dan emisi gas buang dapat diminimalkan.

➤ **Motor M11 (*Rotary Atomizer*)**

Motor M11 digunakan untuk mengoperasikan Rotary Atomizer, yaitu perangkat yang digunakan untuk menyemprotkan bahan bakar atau cairan ke dalam ruang pembakaran dalam bentuk kabut halus. Proses atomisasi ini penting agar bahan bakar dapat tercampur dengan udara secara merata, sehingga proses pembakaran menjadi lebih efisien dan sempurna, serta mengurangi pemborosan bahan bakar.

➤ **Motor M14 (*Ignition Oil Pump*)**

Motor M14 memiliki peran sebagai penggerak pompa minyak penyulut (Ignition Oil Pump), yang digunakan untuk menyuplai bahan bakar awal ke dalam sistem pembakaran saat proses penyalaan pertama kali dilakukan. Fungsi ini sangat krusial karena memastikan adanya bahan bakar yang cukup untuk memulai pembakaran, terutama saat sistem baru dinyalakan atau setelah lama tidak beroperasi.

➤ **Motor M4 (*Oil Transfer Pump*)**

Motor M4 berfungsi untuk mengoperasikan pompa pemindah minyak (Oil Transfer Pump), yang bertugas memindahkan minyak dari satu tangki ke tangki lainnya atau ke sistem pembakaran. Pompa ini memastikan pasokan bahan bakar minyak selalu tersedia di bagian sistem yang membutuhkan, serta membantu dalam pengisian dan pengosongan tangki secara efisien dan aman.

#### 4.3.4 Impedansi Motor

Impedansi  $Z$  pada sistem 3 fasa dihitung dari hukum Ohm:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$V = 440$  V (Tegangan Antar Fasa)

$I$  = arus nominal motor (dari data di gambar)

#### 1. Perhitungan Impedansi Per Motor

Tujuan dari menghitung impedansi motor adalah untuk mengetahui seberapa besar hambatan total yang dihadapi arus listrik saat mengalir melalui kumparan motor, baik dari resistansi (hambatan murni) maupun reaktansi (akibat induktansi dan kapasitansi). Perhitungan impedansi ini sangat penting dalam analisis performa motor listrik karena dapat membantu dalam menentukan efisiensi, kestabilan operasi, serta kebutuhan perlindungan terhadap gangguan seperti arus lebih atau gangguan fasa. Selain itu, dengan mengetahui impedansi, desainer dan teknisi dapat melakukan perancangan sistem kontrol dan proteksi yang lebih akurat serta memastikan bahwa motor bekerja secara optimal dan aman dalam berbagai kondisi beban.

A. Motor M5 – *Combustion Air Fan*

$$P = 63 \text{ kW}$$

$$I = 98 \text{ A}$$

$$V = 440 \text{ V}$$

$$Z_{M5} = \frac{440}{98} = 4,49 \Omega$$

B. Motor M11 – *Rotary Atomizer*

$$P = 8,5 \text{ kW}$$

$$I = 14,5 \text{ A}$$

$$V = 440 \text{ V}$$

$$Z_{M11} = \frac{440}{14,5} = 30,34 \Omega$$

C. Motor M14 – *Ignition Oil Pump*

$$P = 0,22 \text{ kW}$$

$$I = 0,58 \text{ A}$$

$$V = 440 \text{ V}$$

$$Z_{M14} = \frac{440}{0,58} = 758,62 \Omega$$

D. Motor M4 - *Oil Transfer Pump*

$$P = 1,32 \text{ KW}$$

$$I = 3,3 \text{ A}$$

$$V = 440 \text{ V}$$

$$Z_{M4} = \frac{440}{3,3} = 133,33 \Omega$$

Tabel 4.4 Tabel Impedansi

Motor	Daya (kW)	Arus (A)	Impedansi (Z) $\Omega$
M5	63 kW	98 A	4,49 $\Omega$
M11	8,5 kW	14,5 A	30,34 $\Omega$
M14	0,22 kW	0,58 A	758,62 $\Omega$
M4	1,32 kW	3,3 A	133,33 $\Omega$

Tabel 4.4 menampilkan data impedansi beberapa motor yang berbeda berdasarkan daya keluaran (kW) dan arus beban (A) yang digunakan. Motor M5 dengan daya 63 kW dan arus 98 A memiliki impedansi relatif kecil, yaitu 4,49  $\Omega$ , yang menunjukkan bahwa motor ini bekerja dengan arus besar sehingga tahanan totalnya rendah. Motor M11 dengan daya 8,5 kW dan arus 14,5 A memiliki impedansi sebesar 30,34  $\Omega$ , lebih tinggi dibandingkan M5 karena daya dan arusnya lebih kecil. Sementara itu, motor M14 yang hanya memiliki daya 0,22 kW dengan arus 0,58 A menunjukkan impedansi sangat tinggi, yaitu 758,62  $\Omega$ , menandakan adanya resistansi besar akibat daya dan arus yang sangat kecil. Motor M4 dengan daya 1,32 kW dan arus 3,3 A memiliki impedansi 133,33  $\Omega$ , berada di antara nilai M11 dan M14. Dari tabel ini dapat dipahami bahwa besar kecilnya impedansi sangat dipengaruhi oleh daya dan arus motor, di mana motor dengan daya dan arus besar cenderung memiliki impedansi rendah, sedangkan motor dengan daya kecil menghasilkan impedansi yang lebih tinggi.

#### 4.3.5 Rumus dan Perhitungan Faktor Daya ( $\cos \phi$ ) untuk Sistem 3 Fasa

$$\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times I}$$

Keterangan:

P = Daya aktif (dalam watt)

V = Tegangan antar garis (line-to-line), dalam volt

I = Arus beban, dalam ampere

$\sqrt{3}$  = Konstanta sistem 3 fasa ( $\approx 1.732$ )

### 1. Perhitungan $\cos \phi$

A. Motor M5 - Combustion Air Fan (63 kW, 98 A)

$$\cos\phi_{M5} = \frac{63.000}{\sqrt{3} \times 440 \times 98} = \frac{63.000}{74,686,03} = 0,8435$$

B. Motor M11 - Rotary Atomizer (8.5 kW, 14.5 A)

$$\cos\phi_{M11} = \frac{8.500}{\sqrt{3} \times 440 \times 14,5} = \frac{8.500}{11,050,48} = 0,7691$$

C. Motor M14 - Ignition Oil Pump (0.22 kW, 0.58 A)

$$\cos\phi_{M11} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 440 \times 0,58} = \frac{220}{442,01} = 0,4977$$

D. Motor M4 - Oil Transfer Pump (1.32 kW, 3.3 A)

$$\cos\phi_{M4} = \frac{1320}{\sqrt{3} \times 440 \times 3,3} = \frac{1320}{2,514,93} = 0,5248$$

Tabel 4.5 Tabel Hasil

Motor	Impedansi (Z) $\Omega$	Faktor Daya ( $\cos \phi$ )	Efisiensi Daya
M5	4,49 $\Omega$	0,8435	Cukup Baik
M11	30,34 $\Omega$	0,7691	Baik
M14	758,62 $\Omega$	0,4977	Buruk
M4	133,33 $\Omega$	0,5248	Buruk

Berdasarkan tabel 4.5 di atas, terlihat bahwa nilai impedansi dan faktor daya pada masing-masing motor memiliki perbedaan yang cukup signifikan dan memberikan dampak langsung terhadap efisiensi dayanya. Motor M5 memiliki impedansi paling rendah yaitu  $4,49 \Omega$  dan faktor daya sebesar  $0,8435$ , yang menunjukkan bahwa motor ini bekerja cukup baik dan efisien, meskipun masih bisa ditingkatkan. Motor M11 memiliki impedansi  $30,34 \Omega$  dan faktor daya  $0,7691$ , dan bisa dikatakan bahwa motor ini masih dalam kategori baik karena nilai faktor dayanya tidak terlalu jauh dari standar ideal yaitu  $0,8$ .

Sementara itu, motor M14 dan M4 memiliki nilai impedansi yang sangat tinggi yaitu masing-masing  $758,62 \Omega$  dan  $133,33 \Omega$ , serta faktor daya yang cukup rendah yaitu  $0,4977$  dan  $0,5248$ . Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa kedua motor tersebut bekerja dengan efisiensi yang buruk. Besarnya impedansi bisa menandakan adanya masalah dalam jalur kelistrikan atau kondisi motor yang sudah menurun, dan faktor daya yang rendah juga memperlihatkan bahwa banyak energi yang terbuang dalam bentuk daya reaktif. Oleh karena itu, motor M14 dan M4 perlu segera dilakukan pengecekan atau perbaikan agar tidak membebani sistem secara keseluruhan dan mengurangi efisiensi energi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil pengujian dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa *safety valve* bekerja sesuai manual book dengan nilai *Fspring* 300,3 N, *set pressure* 5,8 bar (dengan *back pressure* 4,5 bar), luas penampang efektif  $A = 0,00231 \text{ m}^2$ , serta *blowdown* 1,3 bar, yang menandakan katup mampu membuka pada tekanan yang ditentukan dan menutup kembali pada tingkat aman. Pada *water level*, hasil pengukuran menunjukkan tegangan kerja sensor 23,86 V, resistansi 7,6  $\Omega$ , arus 3,14 mA, dengan pembacaan level oleh *glass duga* 88 mm dan *DP transmitter* 89,5 mm (selisih 1,5 mm). Nilai tersebut menghasilkan akurasi 0,6% terhadap rentang 0–250 mm dan sensitivitas sekitar 1,017 per 1 mm perubahan level nyata; seluruhnya masih dalam batas toleransi dan sesuai buku panduan sehingga pemantauan ketinggian air dinyatakan andal. Untuk *flame failure*, sistem kelistrikan sensor *flame eye* dalam kondisi baik dengan tegangan, arus, dan resistansi normal, serta proteksi berfungsi responsif dalam mendeteksi padamnya api. Analisis lebih lanjut terhadap subsistem pembakaran melalui perhitungan impedansi motor (tegangan antar fasa 440 V) menunjukkan profil beban: M5 (*Combustion Air Fan*) 63 kW/98 A, M11 (*Rotary Atomizer*) 8,5 kW/14,5 A, M14 (*Ignition Oil Pump*) 0,22 kW/0,58 A, dan M4 (*Oil Transfer Pump*) 1,32 kW/3,3 A. Evaluasi menunjukkan impedansi sangat tinggi pada M14 (758,62  $\Omega$ ) dan M4 (133,33  $\Omega$ ) dengan faktor daya rendah (0,4977 dan 0,5248), sehingga kedua motor direkomendasikan untuk pengecekan/perbaikan. Secara keseluruhan, parameter *safety valve*, *water level*, dan *flame failure* menunjukkan kesesuaian dengan manual book dan standar operasional, dengan catatan adanya tindak lanjut pada motor M14 dan M4 agar reliabilitas sistem semakin optimal.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian, maka penulis memberikan beberapa saran yang diharapkan dapat meningkatkan keandalan dan keselamatan operasi boiler kapal tanker:

### 1. Pemeriksaan dan Perawatan Berkala

Setiap safety device perlu mendapatkan perhatian melalui prosedur pemeliharaan preventif dan korektif. Kalibrasi sensor, pengecekan kabel, dan pengujian kerja valve secara periodik harus dilakukan secara rutin.

### 2. Peningkatan Kompetensi SDM

Operator boiler harus diberikan pelatihan teknis terkait prinsip kerja dan pemecahan masalah terhadap safety device, agar dapat merespons dengan cepat jika terjadi malfungsi.

### 3. Modernisasi Sistem Kontrol

Penerapan sistem kontrol berbasis Programmable Logic Controller (PLC) dan sensor digital akan meningkatkan kecepatan dan akurasi pengawasan. Selain itu, sistem ini juga memungkinkan real-time monitoring terhadap parameter kritis.

### 4. Evaluasi Desain Instalasi

Perusahaan pelayaran disarankan untuk meninjau ulang desain sistem pemipaan dan kelistrikan dari safety device, terutama pada kapal-kapal lama yang mungkin belum sesuai dengan standar keselamatan terbaru.

### 5. Penelitian Lanjutan

Penelitian di masa depan dapat difokuskan pada pengaruh faktor eksternal seperti temperatur lingkungan, kualitas bahan bakar, serta korosi terhadap performa safety device, guna memperluas wawasan teknis dan operasional.

Dengan penerapan saran-saran tersebut, diharapkan pengoperasian boiler pada kapal tanker dapat berjalan lebih aman, efisien, dan andal dalam jangka panjang.

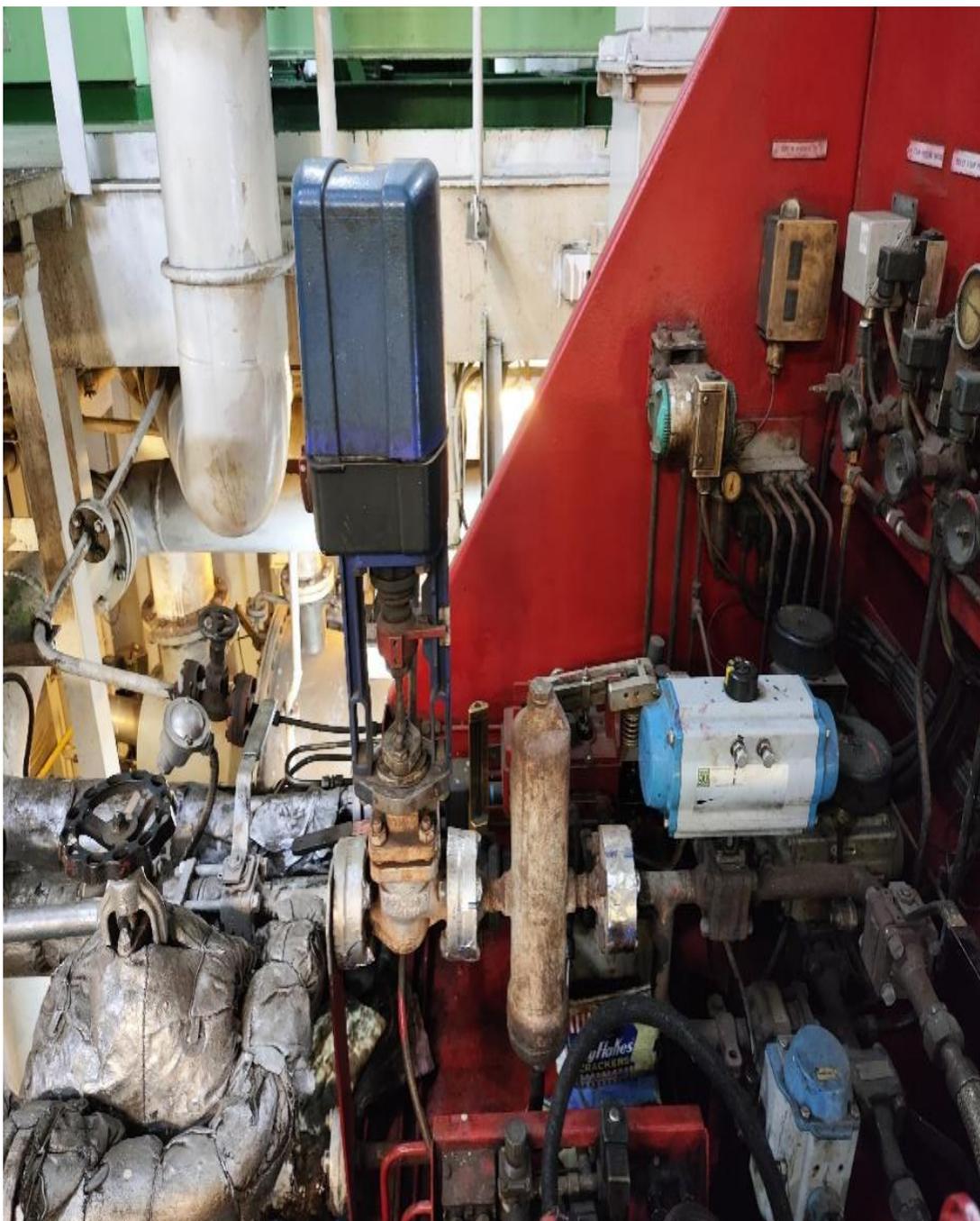
## DAFTAR PUSTAKA

- Adolph, Ralph. 2016. "Boiler Kapal Tanker".
- Ardi isnanto, Bayu. 2023. "Combution Chamber On A Tanker".
- Farooqi, Padanuyi. 2022. "Working Mechanism of Scotch Marine Boiler." 11(1000428):1000428.
- Firdaus, Muhammad, Aan Sefentry, Pimpinan Editorial, Dewan Editorial, Muhrinsyah Fatimura, Rully Masriatini, Reno Fitrianti, Andriadoris Maharanti, Mitra Bestari, Risfidian Mohadi, and Eko Ariyanto. 2016. "Admin,+6+Muhrinsyah+49-57."
- Idrus, Ilham, Andi Haslinah, Akbar Saputra, and Fitri Ayu Amriani. 2022. "METODE JOB SAFETY ANALYSIS DAN TEKNIK ANALISIS SEMI KUANTITATIF." 17(c):0–5.
- Latif, Abdul. 2023. "Analisis Efisiensi Bahan Bakar Boiler Untuk Pemanasan Sitem Uap Pada Industri Perikanan Di PT. Dua Putra Utama Makmur Tbk." *Science And Engineering National Seminar* 8(8):224–34.
- Melldyto, Octa, Dwi Putra, R. Bagus Wicaksono, Benny Hidayat, Muhammad David, Taruna Program Studi, Permesinan Kapal, Pelayaran Malahayati, Dosen Program, Studi Sistem, and Kelistrikan Kapal. 2024. "Pengaruh Kualitas Bahan Bakar Terhadap Auxiliary Steam Boiler Di Kapal Mt. Sc Champion Xlv Effect of Fuel Quality on Auxiliary Steam Boiler on the Mt. Sc Champion Xlv." *Jurnal Maritim Malahayati (JuMMa)* 5(2):210–17.
- Prameswari, Ardhia. 2023. "Analisis Manajemen Risiko Dengan Terapan Pelaksanaan Standar Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Pada PT . Prima Multi Peralatan Kota Medan." 2(1).
- Purnama, Muhammad Ichsan, Iksan Saifudin, Kris Wanto, Stevian Geerbel, and Adrianes Rakka. 2024. "Analisis Terjadinya Flame Failure Pada Burner Auxiliary Boiler Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara , Indonesia Auxiliary Boiler Di Kapal MV . SKY FREE " . Tujuan Dari Penelitian Ini Adalah Untuk 1 . Marine Fuel Oil ( M . F . O ) Penyulingan Minyak Mentah ." 1.

- Retno Gunarti, Monika, Hendra Purnama, Banu Arli, Edo Wahyu Prismadana, M. Zaka Nandli, M. Risky Aditya M, and Maulana Kholis. 2022. "Analisis Program Boiler Water Treatment Di Kapal." *Jurnal 7 Samudra* 6(1).
- Robbi, Shofa Dai, Rafli W. I. Mahendra, Agus Triyono, Politeknik Pelayaran Surabaya, and Politeknik Penerbangan Surabaya. 2024. "Analisis Gagalnya Pembakaran Pada Boiler Di Kapal MT Gas Kalimantan." 4.
- Saputra, Gilang, Supriyadi Supriyadi, and Gerry Anugrah Dwiputra. 2016. "Perancangan Identifikasi Bahaya Di Area Feed Water System Boiler Menggunakan Metode Hazop (Hazard and Operability Study)." *Jurnal Intech* 2(2):49.
- Sitepu, Andi Husni, Muhammad Rusydi Alwi, Surya Hariyanto, Muhammad Iqbal Nikmatullah, and Muhammad Ilham Nur. 2024. "Analisis Efektivitas Heat Exchanger Type Shell and Tube Menggunakan CFD." *Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman* 3(1):1–7.
- Studi, Program, Teknik Diploma, and Politeknik Ilmu Pelayaran. 2024. *PADA BOILER MISSION TM OL MODEL 12000 DI KAPAL MT . PANCARAN INFINITY.*
- Sugiharto, A. 2016. "Tinjauan Teknis Pengoperasian Dan Pemeliharaan Boiler." *Swara Prata* 6(2):56–69.
- Vina. 2023. "ANALISA KEGAGALAN PEMBAKARAN PADA BOILER."
- Widodo, Rahmat and Fanny Leestiana. 2022. "Sistem Kendali Temperature Pada Unit Boiler Di Kilang PPSDM Migas Berbasis PLC." *Majalah Ilmiah Swara Patra* 12(1):36–40.

**LAMPIRA**

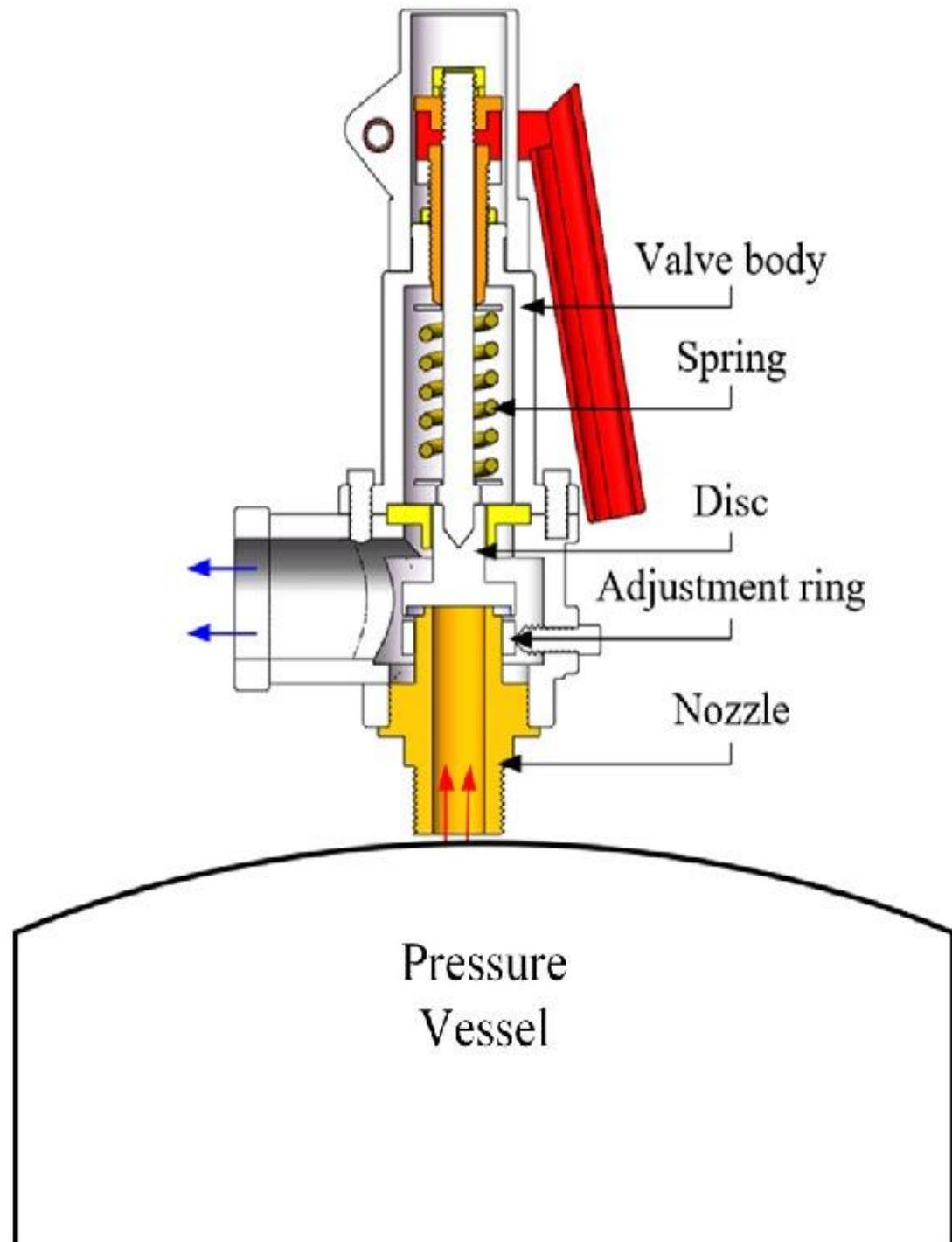
**N**



Gambar 1 *Safety Valve* di Boiler



Gambar 2 *Pressure Gauge Steam*



Gambar 3 Disc

<b>PT. WARUNA NUSA SENTANA (WNS)</b>				REVISION # 00	TERBIT / ISSUED	MAR 2024	
<b>STANDARD FORM</b>				STANDARD FORM	FOP - 334	Page 1 of 4	
SHIPS FILE NO: F04	OFFICE FILE NO: N/A			BERLAKU FORM BAGIAN / APPLICABLE FORM SECTIONS			
<b>BOILER - PENGUJIAN ALARMS DAN TRIPS</b>				FOP Bagian 10 Sub Bagian 4.14			
<b>BOILERS - TESTING ALARMS AND TRIPS</b>							

Nama Kapal <i>Name of Vessel</i>	: MT. UNION TRUST	
Jumlah Boiler <i>No. of Boiler</i>	: 1 Unit	
Merk <i>Merk</i>	Boiler No. 1	Boiler No. 2
	Aalborg MissionTM OL 20000 Steam Cap 18000 kg/hr	
Tahun <i>Year</i>	: 2004	
Nomor Seri <i>Serial Number (S/N)</i>	: 36519	
Tekanan Kerja Design <i>Working Pressure Design</i>	9.0 Bar	Bar
Tekanan Kerja <i>Working Pressure</i>	: 6.7 Bar	Bar
Katup Keamanan <i>Safety Valve</i>	7.0 Bar	Bar

(Note: Safety Valve di setting tidak lebih dari 3 % Tekanan Kerja yang diijinkan).

Deskripsi Alarm <i>Alarm Description</i>	Boiler No. 1					Boiler No. 2			
	Sensor	Alarm	Shut down	Hasil Result		Sensor	Alarm	Shut down	Hasil Result
High-High Water Level	250 mm	250 mm	260 mm	Berfungsi		mm	mm	mm	
High Water Level	200 mm	200 mm	mm	Berfungsi		mm	mm	mm	
Low Water Level	10 mm	10 mm	mm	Berfungsi		mm	mm	mm	
Low-Low Water Level	-60 mm	-60 mm	-80 mm	Berfungsi		mm	mm	mm	
Low Steam Pressure	3.5 bar	3.0 bar	bar	Berfungsi		bar	bar	bar	
High Steam Pressure	5.8 bar	6.0 bar	6.5 bar	Berfungsi		bar	bar	bar	
Flame Failure	OK	OK	OK	Berfungsi					
Atomizing Steam LP	3.5 bar	2.5 bar	2.0 bar	Berfungsi		bar	bar	bar	
Sequence Failure	OK	OK	OK	Berfungsi					
Emergency Stop local	Push button	OK	OK	Berfungsi		Push button			
Emergency Stop Remote	Push button	OK	OK	Berfungsi		Push button			
Fuel Oil Low Temperature	70 °C	55 °C	30 °C	Berfungsi		°C	°C	°C	
FD Fan Trip	OK	OK	OK	Berfungsi					
High Exhaust Gas Outlet Temp. Boiler	180 °C	255	450	Berfungsi		°C			
Start/Stop Boiler - Low Press.	3.5 - bar			Berfungsi		bar			

*Jika dokumen ini diprint, maka menjadi dokumen yang tidak dikontrol (uncontrolled).*

Gambar 4 Data Historis Boiler



Gambar 5 Tegangan Operasional (*Parameter Water Level*)



Gambar 6 *Glass Duga*

<b>PT. WARUNA NUSA SENTANA (WNS)</b>				REVISION # 00	TERBIT / ISSUED	MAR 2024
<b>STANDARD FORM</b>				STANDARD FORM	FOP - 334	Page 1 of 4
SHIPS FILE NO: F04	OFFICE FILE NO: N/A			BERLAKU FORM BAGIAN / APPLICABLE FORM SECTIONS		
<b>BOILER – PENGUJIAN ALARMS DAN TRIPS</b>				FOP Bagian 10 Sub Bagian 4.14		
<b>BOILERS - TESTING ALARMS AND TRIPS</b>						

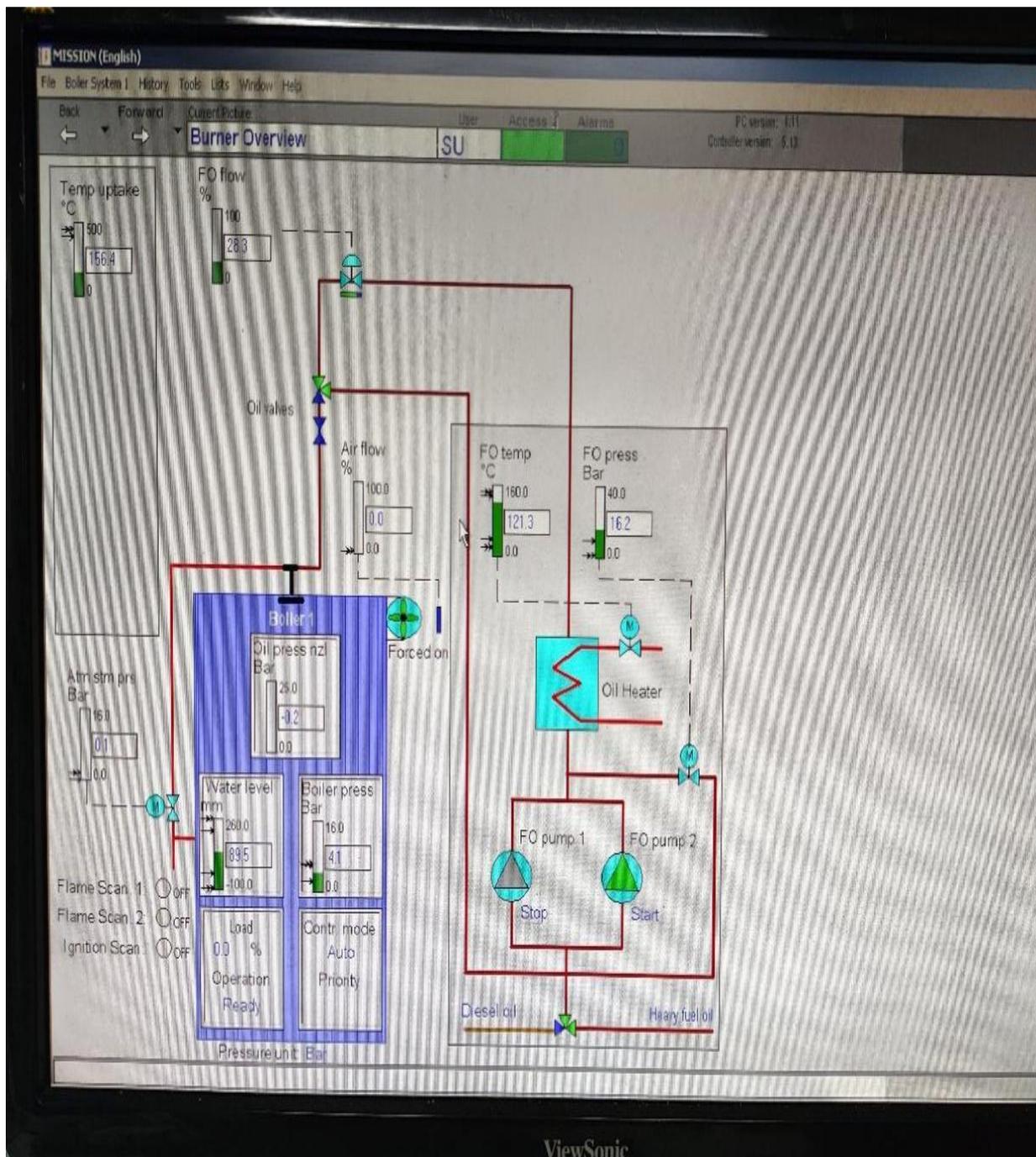
Nama Kapal <i>Name of Vessel</i>	: MT. UNION TRUST	
Jumlah Boiler <i>No. of Boiler</i>	: 1 Unit	
Merk <i>Merk</i>	<b>Boiler No. 1</b>	<b>Boiler No. 2</b>
	Aalborg MissionTM OL 20000 Steam Cap 18000 kg/hr	
Tahun <i>Year</i>	: 2004	
Nomor Seri <i>Serial Number (S/N)</i>	: 36519	
Tekanan Kerja Design <i>Working Pressure Design</i>	9.0 Bar	Bar
Tekanan Kerja <i>Working Pressure</i>	: 6.7 Bar	Bar
Katup Keamanan <i>Safety Valve</i>	7.0 Bar	Bar

(Note: Safety Valve di setting tidak lebih dari 3 % Tekanan Kerja yang diijinkan).

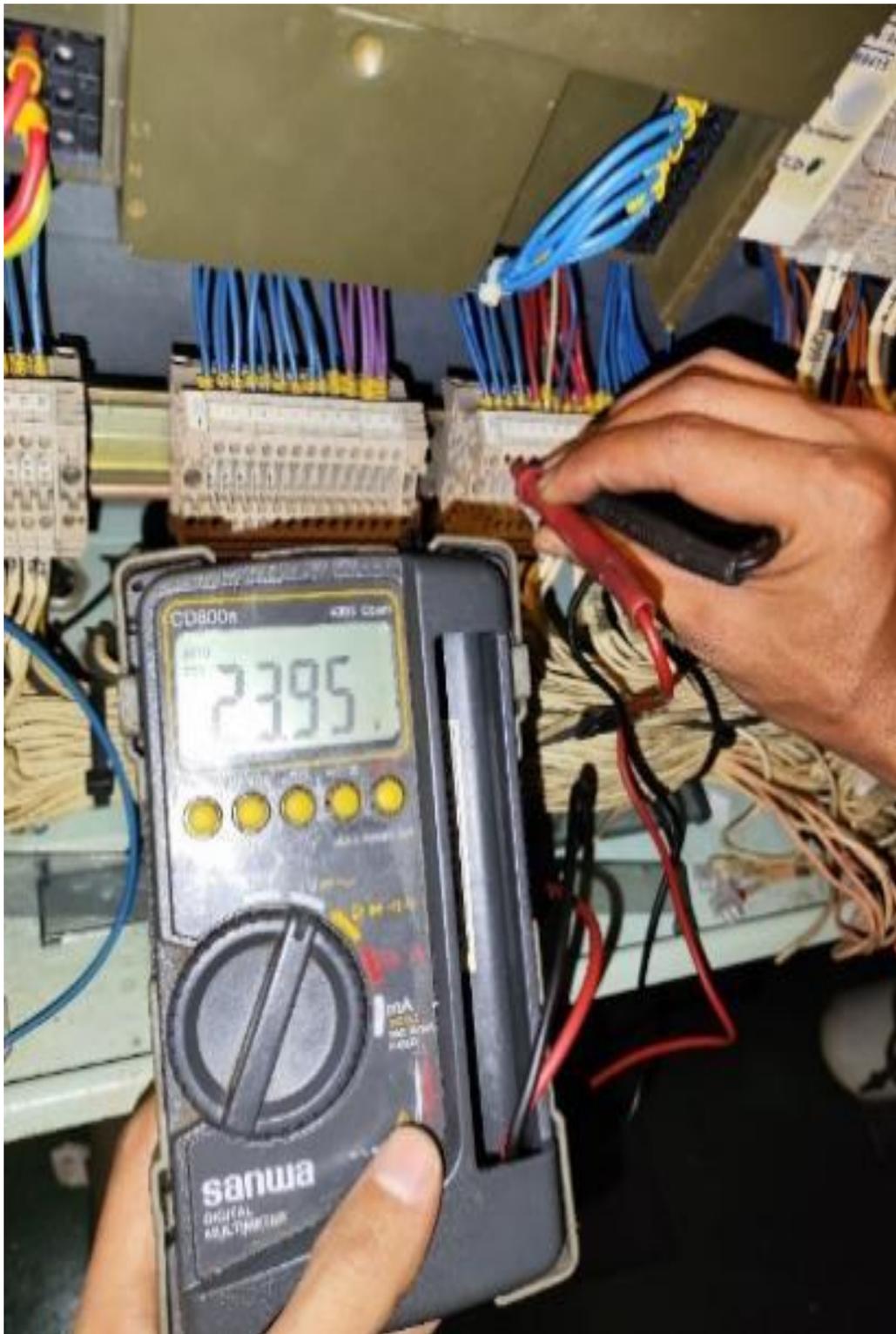
Deskripsi Alarm <i>Alarm Description</i>	Boiler No. 1				Boiler No. 2			
	Sensor	Alarm	Shut down	Hasil Result	Sensor	Alarm	Shut down	Hasil Result
High-High Water Level	250 mm	250 mm	260 mm	Berfungsi	mm	mm	mm	
High Water Level	200 mm	200 mm	mm	Berfungsi	mm	mm	mm	
Low Water Level	10 mm	10 mm	mm	Berfungsi	mm	mm	mm	
Low-Low Water Level	-60 mm	-60 mm	-80 mm	Berfungsi	mm	mm	mm	
Low Steam Pressure	3.5 bar	3.0 bar	bar	Berfungsi	bar	bar	bar	
High Steam Pressure	5.8 bar	6.0 bar	6.5 bar	Berfungsi	bar	bar	bar	
Flame Failure	OK	OK	OK	Berfungsi				
Atomizing Steam LP	3.5 bar	2.5 bar	2.0 bar	Berfungsi	bar	bar	bar	
Sequence Failure	OK	OK	OK	Berfungsi				
Emergency Stop local	Push button	OK	OK	Berfungsi	Push button			
Emergency Stop Remote	Push button	OK	OK	Berfungsi	Push button			
Fuel Oil Low Temperature	70 °C	55 °C	30 °C	Berfungsi	°C	°C	°C	
FD Fan Trip	OK	OK	OK	Berfungsi				
High Exhaust Gas Outlet Temp. Boiler	180 °C	255	450	Berfungsi	°C			
Start/Stop Boiler – Low Press.	3.5 - bar			Berfungsi	- bar			

*Jika dokumen ini diprint, maka menjadi dokumen yang tidak dikontrol (uncontrolled).*

Gambar 7 Data Sheet pada *Manual Book Boiler*



Gambar 8 Gambar pada Layar Monitor Boiler



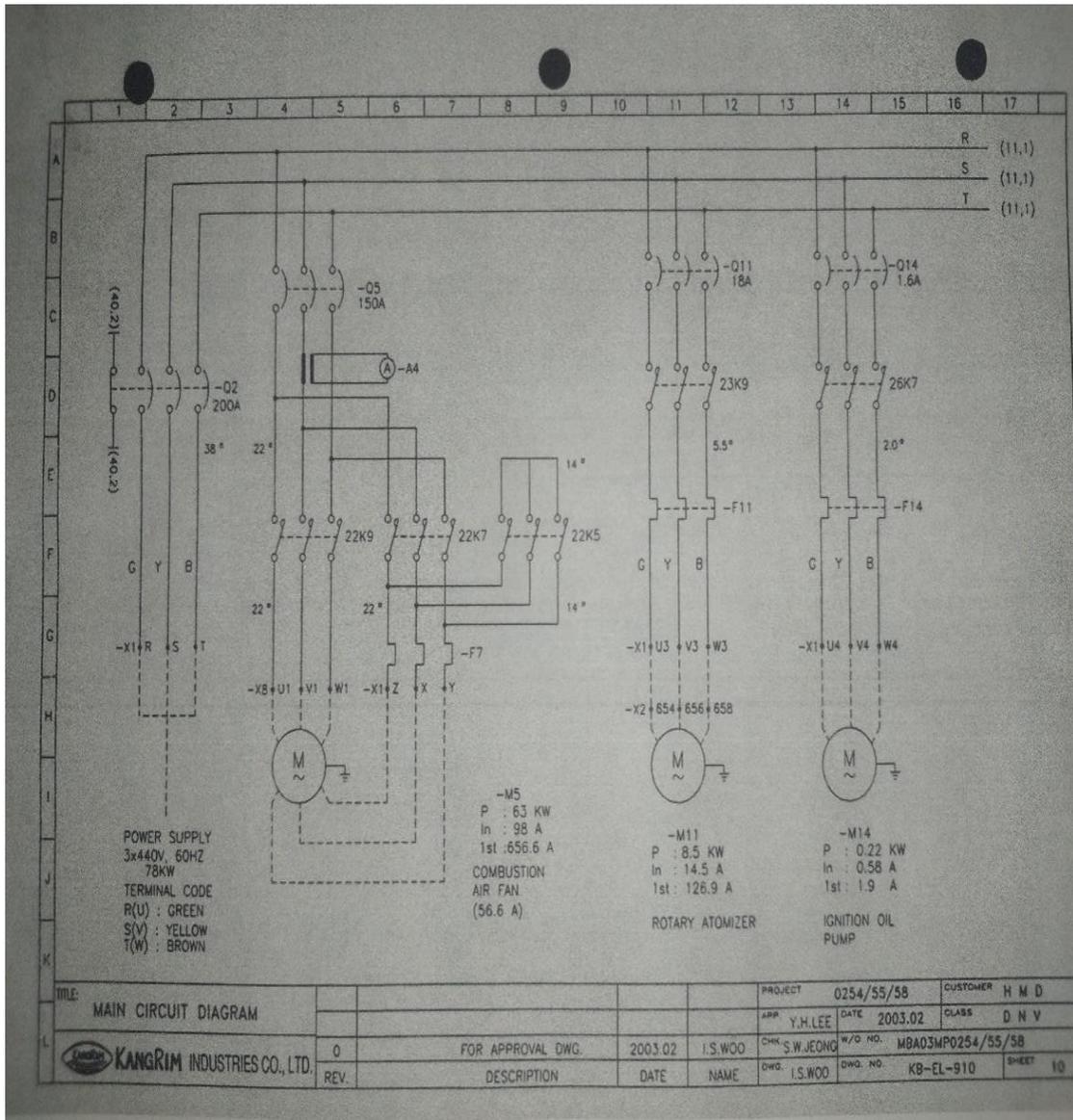
Gambar 9 Tegangan Operasional (*Flame Failure*)



Gambar 10 Resistensi

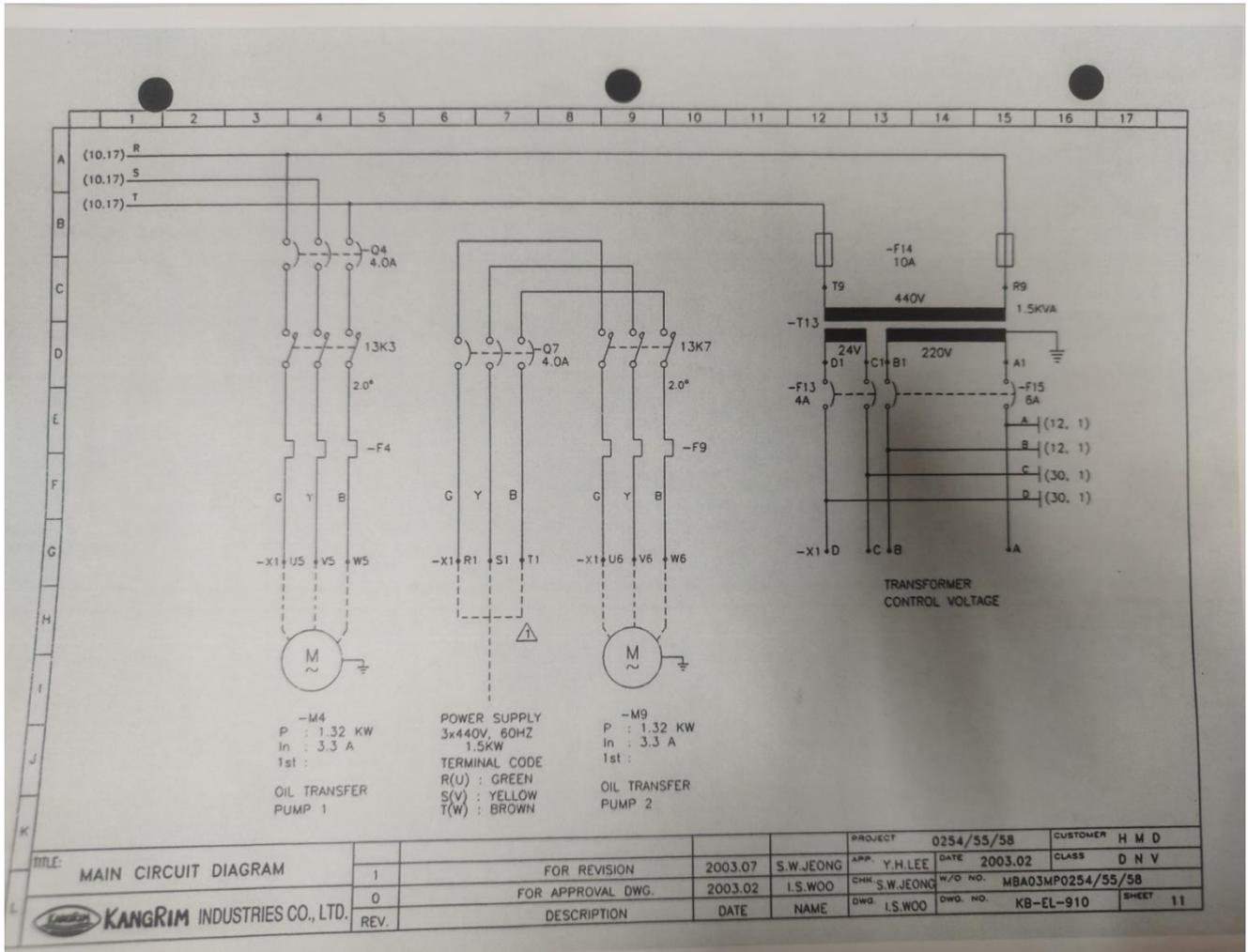


Gambar 11 Sensor *Flame Eye*



TITLE: MAIN CIRCUIT DIAGRAM		PROJECT: 0254/55/58		CUSTOMER: H M D	
0		FOR APPROVAL DWG. 2003.02		I.S.WOO	
REV.		DESCRIPTION		DATE	
KANGRIM INDUSTRIES CO., LTD.		S.W.JEONG		W/O NO. MBA03MP0254/55/58	
		I.S.WOO		DWG. NO. KB-EL-910	
				CLASS: D N V	
				SHEET: 10	

Gambar 12



TITLE:	MAIN CIRCUIT DIAGRAM			PROJECT	0254/55/58	CUSTOMER	H M D		
	1	FOR REVISION	2003.07	S.W.JEONG	DATE	2003.02	CLASS	D N V	
	0	FOR APPROVAL DWG.	2003.02	I.S.WOO	CHK	S.W.JEONG	W/O NO.	MBA03MP0254/55/58	
	REV.	DESCRIPTION	DATE	NAME	DWG	I.S.WOO	DWG. NO.	KB-EL-910	SHEET

Gambar 13 Wiring Elmot M4

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PENULIS

Nama Lengkap : Agil Fitriansyah  
 Nomor Pokok Mahasiswa : 2107220039  
 Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 15 Desember 2001  
 Alamat : Jl. Sidomulya, Kel. Bukit Kayu Kapur  
 Kec. Bukit Kapur, Kota Dumai, Riau  
 Agama : Islam  
 Jenis Kelamin : Laki-laki  
 No. HP : +62 852 6459 6278  
 Email : [agilfitriansyahh12@gmail.com](mailto:agilfitriansyahh12@gmail.com)

### DATA ORANG TUA PENULIS

Nama Ayah : Sukirman  
 Agama : Islam  
 Nama Ibu : Yanti  
 Agama : Islam  
 Alamat : Jl. Sidomulya, Kel. Bukit Kayu Kapur  
 Kec. Bukit Kapur, Kota Dumai, Riau

### Riwayat Pendidikan Penulis

1. (2008 - 2014) : SD Negeri 006 Dumai
2. (2014 - 2017) : SMP Negeri 05 Dumai
3. (2017 - 2020) : SMK Swasta Taruna Persada - Dumai
4. (2021 - 2025) : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
S1 Teknik Elektro