

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN PENDEKATAN
FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DI KM.
TILONGKABILA**



QURROTUL LAILI
NIT. 22 36 306 2 051

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN PENDEKATAN
FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DI KM.
TILONGKABILA**



QURROTUL LAILI
NIT. 22 36 306 2 051

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
TAHUN 2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Qurrotul Laili

Nomor Induk Taruna : 22 36 306 2 051

Program Studi : Diploma IV Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN PENDEKATAN *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)* DI KM. TILONGKABILA

Merupakan karya seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan diatas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 10 Februari 2026



Qurrotul Laili
NIT. 22 36 306 2 051

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN
PENDEKATAN *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*
(*FMEA*) DI KM. TILONGKABILA
Program Studi : D-IV TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
Nama : QURROTUL LAILI
NIT : 22 36 306 2 051
Jenis Tugas Akhir : Prototype / Proyek / Karya Ilmiah Terapan*
Keterangan: *(coret yang tidak perlu)

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Uji Kelayakan Proposal

Surabaya, 28 Februari 2026.....

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



(AZIS NUGROHO, S.E., M.Pd., M.Mar.E)

NIP. 197503221998081001

Dosen Pembimbing II



(SHOFA DAI ROBBI, S.T., MT)

NIP. 198203022006041001

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal



(ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Pd)

NIP. 196905312003121001

**PERSETUJUAN SEMINAR
HASIL TUGAS AKHIR**

Judul : EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN
PENDEKATAN *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*
(*FMEA*) DI KM. TILONGKABILA
Program Studi : D-IV TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
Nama : QURROTUL LAILI
NIT : 22 36 306 2 051
Jenis Tugas Akhir : ~~Prototipe~~ / Karya Ilmiah Terapan / ~~Karya Tulis Ilmiah~~*
Keterangan: *(coret yang tidak perlu)

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Seminar Hasil Tugas Akhir

Surabaya, 28 Februari 2026 ...

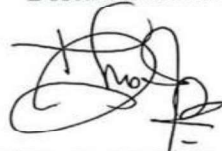
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



(AZIS NUGROHO, S.E., M.Pd., M.Mar.E)
NIP. 197503221998081001

Dosen Pembimbing II



(SHOFA DAI ROBBI, S.T., M.T)
NIP. 198203022006041001

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal



(ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Pd., M.Mar.E)
NIP. 196905312003121001

**PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN PENDEKATAN *FAILURE
MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)* DI KM. TILONGKABILA**

Disusun oleh:

QURROTUL LAILI
NIT. 22 36 306 2 051

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 10 Juni 2024

Mengesahkan,

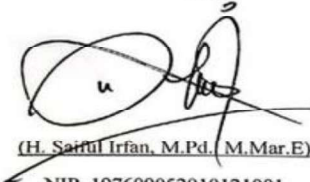
Dosen Penguji I



(Azis Nugroho, S.E., M.Pd., M.Mar.E)

NIP. 197503221998081001

Dosen Penguji II



(H. Saiful Irfan, M.Pd., M.Mar.E)

NIP. 197609052010121001

Dosen Penguji III



(Shofa Dai Robbi, S.T., M.T)

NIP. 198203022006041001

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal



(Monika Retno Gunarti, M.Pd., M.Mar.E.)

NIP. 197605282009122002

**PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN PENDEKATAN *FAILURE
MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)* DI KM. TILONGKABILA**

Disusun oleh:

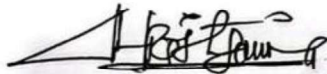
QURROTUL LAILI
NIT. 22 36 306 2 051

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 6 Maret 2026

Mengesahkan,

Dosen Penguji I



(ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Pd., M.Mar.E)

NIP. 196905312003121001

Dosen Penguji II



(AZIS NUGROHO, S.E., M.Pd., M.Mar.E)

NIP. 197503221998081001

Dosen Penguji III



(INTAN SIANTURI, S.E., M.M.Tr)

NIP. 199402052019022003

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal



(ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Pd., M.Mar.E)

NIP. 196905312003121001

ABSTRAK

QURROTUL LAILI, EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN PENDEKATAN *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)* DI KM. TILONGKABILA. Politeknik Pelayaran Surabaya. Dibimbing oleh Bapak Azis Nugroho, S.E., M.Pd., M.Mar.E. dan Bapak Shofa Dai Robbi, S.T., M.T.

Boiler mengalami permasalahan yang sering terjadi, seperti pembentukan kerak (*scaling*), tekanan uap yang tidak stabil, pembakaran tidak sempurna, dan mesin sulit *start*. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* yang bertujuan untuk menentukan perawatan dan pencegahan agar masalah tersebut dapat diminimalisir. Metode ini menentukan prioritas kegagalan yang didapatkan dari perhitungan *Risk Priority Number (RPN)* berdasarkan faktor penilaian tingkat keparahan (*severity*), frekuensi terjadi (*occurrence*), dan kemungkinan kegagalan dapat dideteksi (*detection*) pada setiap komponennya. Hasil dari perhitungan tersebut, kategori tertinggi terletak pada komponen *steam drum* yang memiliki nilai *RPN* tertinggi sebesar 32. Lalu, kategori sedang terletak pada 12 komponen lain, yaitu *feed water pump, elektroda, photocell, nozzle, blower fan, selenoid valve, fuel pump, blow down valve, main steam valve, scum valve, non return valve*, dan gelas penduga dengan kisaran nilai *RPN* sebesar 12-24. Selanjutnya, komponen pada kategori terendah, diantaranya adalah filter bahan bakar, *safety valve*, dan manometer dengan kisaran nilai *RPN* sebesar 8-10. Oleh karena itu, rekomendasi perbaikan yang telah disarankan berdasarkan Hasil *FMEA* dapat dijadikan bahan evaluasi untuk memastikan efektivitas perbaikan. Selain itu, diperlukan perawatan dan *monitoring boiler* secara berkala terutama pada komponen seperti *steam drum* yang memerlukan penambahan jadwal *maintenance* rutin, evaluasi berulang terkait *water treatment*, dan menentukan perbaikan yang tepat dalam setiap kegagalan yang terjadi pada *steam drum*.

Kata Kunci: *Boiler, FMEA, Kuantitatif*

ABSTRACT

QURROTUL LAILI, EVALUATION OF BOILER MAINTENANCE USING THE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS APPROACH AT KM. TILONGKABILA. Merchant Marine Polytechnic of Surabaya. Supervised by Mr. Azis Nugroho, S.E., M.Pd., M.Mar.E. and Mr. Shofa Dai Robbi, S.T., M.T.

Boilers experience frequent problems, such as scale formation, unstable steam pressure, incomplete combustion, and difficulty starting. Therefore, this study uses a quantitative method with the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) approach, which aims to determine maintenance and prevention to minimize these problems. This method determines the failure priority obtained from the Risk Priority Number (RPN) calculation based on assessment factors such as severity, frequency of occurrence, and the likelihood of failure being detected in each component. The results of these calculations indicate that the steam drum component falls into the highest category, with an RPN of 32. The other 12 components fall into the medium category: the feed water pump, electrode, photocell, nozzle, blower fan, solenoid valve, fuel pump, blowdown valve, main steam valve, scum valve, non-return valve, and gauge glass, with RPN values ranging from 12 to 24. Furthermore, the components in the lowest category include the fuel filter, safety valve, and manometer, with RPN values ranging from 8 to 10. Therefore, the recommended improvements based on the FMEA results can be used as evaluation material to ensure the effectiveness of the improvements. Furthermore, regular boiler maintenance and monitoring are required, especially for components such as the steam drum, which requires additional routine maintenance schedules, repeated evaluations related to water treatment, and determining appropriate repairs for any steam drum failures.

Keywords: *Boiler, FMEA, Quantitative*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puja dan puji syukur peneliti panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan anugerah dan kesehatan sehingga peneliti dapat menyelesaikan karya ilmiah terapan ini. Proposal penelitian ini dibuat untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan Program Pendidikan Diploma IV di Politeknik Pelayaran Surabaya, dengan judul penelitian:

“EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN PENDEKATAN *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)* DI KM. TILONGKABILA”

Peneliti menyadari bahwa penelitian karya ilmiah terapan ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan waktu, pikiran, kemampuan serta pengalaman peneliti dalam penyusunan karya ilmiah ini. Oleh karena itu, peneliti sangat mengharapkan dan berterimakasih apabila ada masukan dari dosen pembimbing, dosen penguji, maupun pembaca lainnya.

Penulisan karya tulis ilmiah ini dapat terselesaikan karena adanya bantuan dari berbagai pihak, Oleh karena itu peneliti mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar.E. selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya;
2. Bapak Dr. Antonius Edy Kristiyono, M.Pd., M.Mar.E. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal;
3. Bapak Azis Nugroho, S.E., M.Pd., M.Mar.E. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah membimbing saya dalam penyusunan Karya Ilmiah Terapan ini;
4. Bapak Shofa Dai Robbi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang dengan penuh kesabaran membimbing saya dalam penyusunan Karya Ilmiah Terapan ini;
5. Bapak dan Ibu Dosen Politeknik Pelayaran Surabaya khususnya Jurusan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal yang telah membagi ilmunya sehingga saya dapat menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan ini;
6. Seluruh *Crew* kapal KM. Tilongkabila yang telah dengan sabar membantu dan memberikan banyak ilmu serta pengalaman yang tidak akan saya dapatkan untuk kedua kalinya selama menjalankan Prala;
7. Bapak Sucipto dan Ibu Mistiyah selaku kedua orang tua serta Zahra Adelia dan Alisya Septia selaku adik yang senantiasa mengucapkan doa dan memberikan semangat tiada henti kepada saya sehingga dapat menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan ini dengan sebaik-baiknya dan tepat waktu;
8. Serta teman-teman terdekat yang turut membantu dan memberi dukungan agar saya dapat menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan ini.

Demikian, semoga Karya Ilmiah Terapan ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca terutama bagi taruna-taruni Politeknik Pelayaran Surabaya. Peneliti menyadari bahwa dalam penulisan Karya Ilmiah Terapan ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, peneliti mengharapkan saran dan masukan demi mendukung penyempurnaan Karya Ilmiah Terapan ini.

Surabaya,

2026

QURROTUL LAILI
NIT. 22 36 306 2 051

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR KARYA ILMIAH TERAPAN	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR KARYA ILMIAH TERAPAN.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. LATAR BELAKANG.....	1
B. RUMUSAN MASALAH.....	4
C. BATASAN MASALAH.....	4
D. TUJUAN PENELITIAN.....	4
E. MANFAAT PENELITIAN.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. <i>REVIEW</i> PENELITIAN SEBELUMNYA.....	6
B. LANDASAN TEORI.....	8
1. Pengertian Evaluasi.....	8
2. Boiler.....	9
C. KERANGKA PIKIR PENELITIAN.....	25

BAB III METODE PENELITIAN	26
A. JENIS PENELITIAN.....	26
B. TEMPAT / LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN.....	27
C. SUMBER DATA DAN TEKNIK PENGUMPULAN DATA	27
1. Sumber Data.....	27
2. Teknik Pengumpulan Data	28
D. TEKNIK ANALISIS DATA	30
1. Teknik Analisis Statistik Deskriptif.....	30
2. Uji Validitas.....	34
3. Uji Reliabilitas	36
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	38
A. GAMBARAN UMUM LOKASI PENELITIAN / SUBJEK PENELITIAN	38
B. HASIL PENELITIAN.....	41
1. Deskripsi Variabel Penelitian	41
2. Analisis Data.....	42
C. PEMBAHASAN.....	50
BAB V PENUTUP.....	57
A. KESIMPULAN.....	57
B. SARAN.....	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya.....	6
Tabel 3. 1. Skala Likert Severity.....	31
Tabel 3. 2. Skala Likert Occurrence.....	32
Tabel 3. 3. Skala Likert Detection.....	33
Tabel 3. 4. Kategorisasi.....	33
Tabel 3. 5. Nilai <i>r tabel</i>	35
Tabel 4. 1. Hasil Uji Validitas Kuesioner Severity.....	43
Tabel 4. 2. Hasil Uji Validitas Kuesioner Occurrence.....	43
Tabel 4. 3. Hasil Uji Validitas Kuesioner Detection	43
Tabel 4. 4. Hasil Uji Reliabilitas Kuesioner Severity	44
Tabel 4. 5. Hasil Uji Reliabilitas Kuesioner Occurrence	44
Tabel 4. 6. Hasil Uji Reliabilitas Kuesioner Detection	44
Tabel 4. 7. Hasil Penilaian Severity	45
Tabel 4. 8. Hasil Penilaian Occurrence	46
Tabel 4. 9. Hasil Penilaian Detection.....	47
Tabel 4. 10. Hasil Perhitungan Nilai RPN	48
Tabel 4. 11. Rekapitulasi Nilai RPN	50
Tabel 4. 12. Faktor Penyebab dan Dampak Kegagalan	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Ketel Pipa Air.....	10
Gambar 2. 2. Ketel Pipa Api.....	11
Gambar 2. 3. Ketel Gabungan Pipa Api dan Pipa Air.....	12
Gambar 2. 4. Steam Drum.....	14
Gambar 2. 5. Burner.....	15
Gambar 2. 6. Electroda.....	15
Gambar 2. 7. Nozzle.....	16
Gambar 2. 8. Photocell.....	16
Gambar 2. 9. Blower Fan.....	17
Gambar 2. 10. Selenoid Valve.....	17
Gambar 2. 11. Fuel Pump.....	18
Gambar 2. 12. Filter Bahan Bakar.....	18
Gambar 2. 13. Gelas Penduga.....	19
Gambar 2. 14. Manometer.....	19
Gambar 2. 15. Safety Valve.....	20
Gambar 2. 16. Blow Down Valve.....	20
Gambar 2. 17. Main Steam Valve.....	21
Gambar 2. 18. Scum Valve.....	21
Gambar 2. 19. Non Return Valve.....	22
Gambar 2. 20. Feed Water Pump.....	22
Gambar 2. 21. Prinsip Kerja Boiler.....	23
Gambar 2. 22 Kerangka Pikir Penelitian.....	25

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Ship Particular KM. Tilongkabila.....	63
Lampiran 2 Vertical Water Tube Boiler Type AQ 12.....	65
Lampiran 3 Technical Data Sheet Boiler	66
Lampiran 4 Hasil Uji Validitas Severity	67
Lampiran 5 Hasil Uji Validitas Occurrence	68
Lampiran 6 Hasil Uji Validitas Detection	69
Lampiran 7 Hasil Uji Reliabilitas Severity	70
Lampiran 8 Hasil Uji Reliabilitas Occurrence	71
Lampiran 9 Hasil Uji Reliabilitas Detection.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan negara maritim yang sebagian besar wilayahnya merupakan perairan, dimana luas daratannya lebih kecil dibandingkan dengan luas lautannya. Luas wilayah Indonesia sebesar 1.892.410,09 km² dengan luas perairannya sebesar 77,14%. Indonesia juga termasuk negara yang memiliki laut terluas di dunia. Selain lautannya yang luas, Negara Indonesia juga memiliki 17.001 pulau yang dipisahkan oleh perairan. Oleh karena itu, Indonesia memiliki potensi luar biasa untuk menjadi jalur strategis dalam perdagangan dunia melalui pemanfaatan laut sebagai media transportasi (BPS Indonesia, 2023).

Kegiatan impor dan ekspor di Indonesia menggunakan moda transportasi laut sebagai pilihan utama dibandingkan dengan moda transportasi lainnya. Sebesar 90,88% kegiatan impor menggunakan moda transportasi laut, sedangkan kegiatan ekspor 95,54% menggunakan moda transportasi laut dibandingkan dengan moda transportasi lain. Pelayaran merupakan salah satu transportasi yang dipilih para pengusaha karena dinilai aman dan nyaman. Persaingan di sektor transportasi semakin meningkat karena banyaknya pengusaha yang memanfaatkan jasa transportasi laut (BPS, 2023)

Kegiatan sektor transportasi laut merupakan kegiatan distribusi baik barang maupun penumpang. Oleh karena itu, perlu adanya dukungan sarana dan prasarana yang memadai agar roda distribusi berjalan dengan baik. Mengingat

kebutuhan layanan transportasi laut yang semakin meningkat maka tidak cukup hanya menyediakan kapal laut dalam jumlah banyak, performa kapal laut harus selalu dalam keadaan siap pakai. Semua itu perlu dukungan dari armada yang tangguh serta tenaga pelaut yang terampil, bertanggung jawab, dan professional.

Kelancaran dalam operasi kapal sebagai sarana transportasi laut harus didukung oleh permesinan yang handal. Permesinan yang dimaksud terdiri dari mesin penggerak utama dan permesinan bantu, dimana setiap mesin ini memiliki peranannya tersendiri. Mesin penggerak utama berfungsi untuk penggerak utama kapal, sedangkan permesinan bantu merupakan mesin yang mendukung segala kebutuhan penunjang kinerja kapal itu sendiri. Permesinan bantu yang dimaksud salah satunya adalah ketel uap (*boiler*).

Boiler adalah bejana yang berisi air/fluida untuk menghasilkan uap dengan tekanan yang telah ditentukan. Kapal dengan jenis turbin uap menggunakan *boiler* sebagai mesin penggerak utama. Namun, pada beberapa kapal seperti kapal penumpang, *boiler* berfungsi sebagai mesin pendukung yang selalu beroperasi dalam segala kondisi operasional kapal, seperti saat kapal sedang berlayar, berlabuh, maupun sandar untuk kebutuhan akomodasi kapal. Selain itu, *boiler* juga dapat digunakan untuk memanaskan bahan bakar, memanaskan minyak lumas jika diperlukan dan juga uap yang dihasilkan oleh *boiler* dapat digunakan sebagai media bantu untuk pemanas awal pada *main engine* agar suhu tetap terjaga.

Peneliti telah melakukan praktik berlayar di KM. TILONGKABILA milik PT. PELNI (Pelayaran Nasional Indonesia) yang bergerak di bidang transportasi

laut sebagai angkutan laut untuk penumpang. Pelayanan dalam akomodasi dan fasilitas bagi penumpang menjadi prioritas utama untuk perusahaan seperti, ketersediaan air panas untuk mandi ataupun memasak. Selama menjalankan praktek layar di KM. Tilongkabila, peneliti mendapatkan beberapa masalah yang sering terjadi pada *boiler*, seperti terbentuknya kerak (*scaling*), tekanan uap yang tidak stabil, pembakaran tidak sempurna, dan mesin sulit *start*. Oleh karena itu, diperlukan adanya perawatan dan pencegahan agar masalah tersebut dapat diminimalisir sehingga *boiler* tetap berjalan normal.

Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) berfungsi untuk menganalisis potensi kegagalan pada suatu produk, memperhatikan tingkat risiko terkait jenis kegagalan tersebut dan menyusun langkah-langkah perbaikan (Aprianto et al., 2021). Pada penelitian ini, *FMEA* digunakan untuk menganalisis penyebab utama kerusakan yang terjadi pada boiler dan menentukan strategi perbaikan dan pencegahan agar permasalahan tersebut tidak terulang, sehingga efisiensi performa *boiler* dapat ditingkatkan.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan di atas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian yang akan dituangkan dalam karya tulis ilmiah yang berjudul :

“EVALUASI PERAWATAN *BOILER* DENGAN PENDEKATAN *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)* DI KM. TILONGKABILA”

B. RUMUSAN MASALAH

Dalam penelitian ini, peneliti telah merumuskan beberapa permasalahan guna mengevaluasi kinerja *boiler*. Adapun beberapa permasalahan tersebut, yaitu:

1. Apa faktor penyebab dan dampak dari setiap kegagalan pada komponen *boiler*?
2. Bagaimana hasil dari perhitungan *Risk Priority Number (RPN)* dalam menentukan tingkat risiko kegagalan pada *boiler*?
3. Apa rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan kinerja *boiler* di KM. Tilongkabila?

C. BATASAN MASALAH

Mengingat pentingnya batasan masalah agar menjadi fokus peneliti dalam melakukan penelitian ini, maka penelitian ini berfokus untuk mengevaluasi perawatan pada *Water Tube Boiler AALBORG type AQ 12* dan melakukan analisis menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dengan lokasi penelitian di KM. Tilongkabila.

D. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil evaluasi penelitian yang telah peneliti lakukan, sebagai berikut:

1. Untuk mengidentifikasi berbagai faktor penyebab dan dampak dari kegagalan sistem pada *boiler* di KM. Tilongkabila

2. Untuk menentukan tingkat risiko melalui perhitungan *Risk Priority Number (RPN)* dalam metode *FMEA*
3. Untuk memberikan strategi perbaikan yang direkomendasikan guna meningkatkan kinerja *boiler* di KM. Tilongkabila

E. MANFAAT PENELITIAN

1. Manfaat Teoritis
 - a. Sebagai landasan untuk menambah wawasan dan referensi ilmiah tentang penerapan metode *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*
 - b. Sebagai bahan pertimbangan untuk peneliti selanjutnya terkait penelitian yang serupa sebagai bahan kajian lebih lanjut
2. Manfaat Praktis
 - a. Bagi Institusi (Politeknik): Menjadi pedoman dan referensi bagi penelitian selanjutnya
 - b. Bagi Perusahaan Pelayaran: Membantu menentukan prioritas perawatan dan memberikan gambaran nyata mengenai kondisi dan tingkat risiko pada komponen *boiler*
 - c. Bagi Peneliti: Mengembangkan ilmu yang diperoleh selama menjalankan PRALA diatas kapal

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. REVIEW PENELITIAN SEBELUMNYA

Peneliti sebelumnya telah memberikan ilmu dan wawasan yang berharga mengenai evaluasi pada *boiler*. Maka dari itu, penting untuk mencermati temuan dan metodologi dari berbagai penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Berikut review penelitian dari penelitian terdahulu dalam Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya

No.	Judul dan Nama Penulis	Metode penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian Saat Ini
1.	“Analisis Resiko Kerusakan <i>Boiler</i> Menggunakan Metode <i>Failure Modes Effect Analysis (FMEA)</i> Dan <i>Fishbone Diagram</i> ” - (2025) yang disusun oleh Badri Juanda, Muhammad Isnaini Hadiyul Umam, Nofirza, Nazaruddin, Harpito	Penelitian ini menggunakan metode gabungan antara pendekatan kuantitatif dan kualitatif dimana penelitian tersebut menggunakan analisis <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> yang selanjutnya akan menggunakan analisis <i>fishbone</i> atau diagram tulang ikan yang berfungsi untuk mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan pada <i>boiler</i> .	Hasil penelitian ini ditunjukkan oleh hasil identifikasi berdasarkan tingkat kerusakan menggunakan metode <i>FMEA</i> menunjukkan terdapat 6 risiko kritis dengan nilai <i>RPN</i> tertinggi dari total 11 risiko yang perlu menjadi prioritas utama dalam perbaikan, yaitu pipa <i>boiler</i> , <i>fit tank pump</i> , <i>burning furnace</i> , <i>estimator glass</i> , <i>blower IDF</i> , dan <i>elmot IDF</i> . Selain itu, analisis <i>fishbone</i> mengenai faktor-faktor penyebab utama kerusakan pipa pada <i>boiler</i> juga telah diidentifikasi.	Letak perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian saat ini yaitu: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Metode penelitian saat ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> saja. ▪ Lokasi penelitian saat ini di kapal KM. Tilonkabila saat PRALA berlangsung. ▪ Hasil penelitian yang ingin didapatkan pada penelitian ini adalah evaluasi terhadap perawatan <i>boiler</i> dan strategi perbaikan terhadap permasalahan yang ada.

No.	Judul dan Nama Penulis	Metode penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian Saat Ini
2.	<p>“Analisis Penyebab Kerusakan <i>Boiler Feed Pump Turbine</i> dengan Metode <i>FMEA</i>” - (2025) yang disusun oleh Diki Ramadan Wahid, Dianta Mustofa Kamal, Gun Gun Ramdhan Gunadi</p>	<p>Metode penelitian ini menggunakan penelitian kuantitatif deskriptif dengan menganalisis penyebab kerusakan menggunakan metode <i>FMEA</i>. Objek pada penelitian ini adalah komponen <i>bearing</i> pada <i>Boiler Feed Pump Turbine</i> yang berada di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan bahan bakar batubara.</p>	<p>Dari penelitian ini telah ditemukan 7 mode kegagalan yang berasal dari 3 jenis kegagalan fungsi utama. Hasil tersebut berdasarkan hasil analisis <i>FMEA</i> terhadap setiap kegagalan fungsi pada <i>bearing</i>. Pada fungsi dengan vibrasi berlebih, penyebab utamanya adalah penurunan tekanan pada sistem pelumasan, <i>over clearance</i> antara <i>bearing</i> dan <i>shaft</i>, dan <i>misalignment</i>. Sementara itu, pada fungsi <i>crack</i> pada <i>bearing</i> penyebabnya adalah beban kerja yang berlebihan dan cacat material.</p>	<p>Letak perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian saat ini yaitu:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Metode penelitian saat ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>. ▪ Objek penelitian saat ini yaitu <i>Water Tube Boiler AALBORG type AQ 12</i>. ▪ Lokasi penelitian saat ini di kapal KM. Tilongkabila saat PRALA berlangsung. ▪ Hasil penelitian yang ingin didapatkan pada penelitian ini adalah evaluasi terhadap perawatan <i>boiler</i> dan strategi perbaikan terhadap permasalahan yang ada.
3.	<p>“Analisis Kinerja Efisiensi Mesin <i>Boiler Type Water Tube</i> Menggunakan Metode <i>Input-Output</i> dan <i>Failure Mode And Effect Analysis</i>” - (2024) yang disusun oleh Rahmat Hafis Ghifari</p>	<p>Metode yang digunakan menggunakan metode kuantitatif dengan teknik pengolahan data menggunakan metode <i>input-output</i> melalui perhitungan efisiensi <i>boiler</i> dengan menggunakan <i>software Steam Tab Companion</i> dan metode <i>FMEA</i> untuk mengevaluasi potensi kegagalan dalam mesin <i>boiler</i>.</p>	<p>Hasil dari penelitian ini ditemukan penurunan efisiensi mesin <i>boiler</i> yang berada dibawah batas kritis yaitu 76.22%. faktor penyebab penurunan kinerja pada <i>boiler</i> disebabkan oleh kebocoran pada pipa dan kerusakan pada <i>fan</i>. Usulan perbaikan yang diberikan dengan cara fokus pada perlumasan dan</p>	<p>Letak perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian saat ini yaitu:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Metode penelitian saat ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> saja. ▪ Lokasi penelitian saat ini di kapal KM. Tilongkabila saat PRALA berlangsung. ▪ Hasil penelitian yang ingin didapatkan pada

No.	Judul dan Nama Penulis	Metode penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian Saat Ini
			inspeksi komponen secara berkala.	penelitian ini adalah evaluasi terhadap perawatan boiler dan strategi perbaikan terhadap permasalahan yang ada.

B. LANDASAN TEORI

1. Pengertian Evaluasi

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), evaluasi adalah penilaian atau proses menilai. Tujuan dari evaluasi untuk mengetahui sejauh mana kegiatan telah terlaksana, meningkatkan efektivitas dan sebagai bahan pertimbangan untuk memutuskan sesuatu. Dalam pengertian lain juga menjelaskan bahwa evaluasi adalah proses untuk memahami cara kerja suatu subyek yang selanjutnya data yang dihasilkan dimanfaatkan untuk menentukan alternatif yang sesuai dalam pengambilan keputusan (Aprianto et al., 2021).

Evaluasi digunakan untuk mengukur sesuatu dalam suasana tertentu dengan cara dan aturan-aturan yang sudah ditentukan. Dari hasil evaluasi diperoleh sifat-sifat yang terdapat pada individu dan objek yang bersangkutan. Evaluasi mencakup tiga unsur utama, yaitu pengukuran, penilaian, dan evaluasi itu sendiri. Setiap unsur tersebut memiliki pengertian yang berbeda. Pengukuran adalah proses untuk menentukan kuantitas suatu hal. Sementara itu, penilaian adalah kegiatan untuk memproses data untuk

mendapatkan informasi sebagai dasar untuk menentukan keputusan (Uswatun et al., 2024).

2. Boiler

a. Pengertian *Boiler*

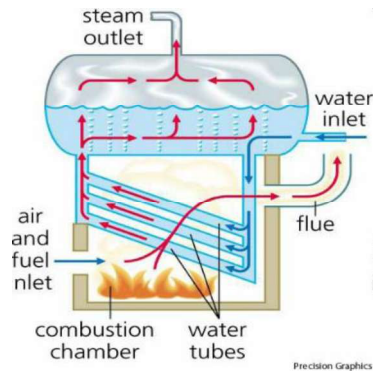
Boiler atau yang biasa dikenal dengan ketel uap atau *Steam Boiler* berasal dari kata “*boil*” yang berarti mendidih. Ketel uap (*boiler*) adalah wadah tertutup yang dapat menghasilkan uap di bawah tekanan melebihi 1 atmosfer. Adapun cara yang digunakan untuk memanaskan air di dalam *boiler* dengan menggunakan gas panas yang dihasilkan dari pembakaran antara bahan bakar dan udara, baik ketika kapal sedang berlayar maupun kapal berlabuh (Narto et al., 2023).

Air yang berada di dalam *boiler* dipanaskan dari hasil pembakaran bahan bakar sehingga menimbulkan perpindahan panas dari sumber panas menuju air yang berada di dalam tungku *boiler* sehingga dapat menghasilkan uap. Uap panas dari *boiler* dapat digunakan sebagai pemanas bahan bakar, pemanas minyak lumas, pemanas akomodasi kapal ketika cuaca sedang dingin, pemanas air tawar, dan lain sebagainya (Retno Gunarti et al., 2022).

Boiler memiliki beberapa jenis yang dibedakan oleh beberapa faktor, seperti karakteristik, prinsip kerja, jenis bahan bakar yang digunakan, maupun jenis pipa yang digunakan (Pardosi et al., 2023). Pada buku yang berjudul “Mesin Penggerak Utama *Boiler* (Ketel Uap): Pengantar Mahasiswa untuk Berlayar” (2024) telah dipaparkan berbagai jenis ketel uap, sebagai berikut:

1) Ketel uap menurut konstruksinya

a) Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*)



Gambar 2. 1. Ketel Pipa Air

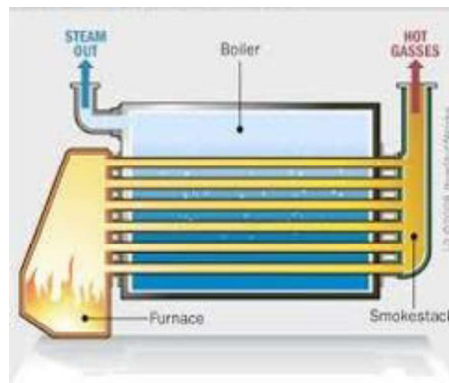
Sumber: (persadadinamikajaya.co.id)

Ketel pipa air merupakan jenis ketel yang ada di KM. Tilongkabila. Pada ketel jenis ini, air pengisian mengalir di dalam pipa-pipa dan gas panas dari hasil pembakaran bahan bakar mengalir di area luar pipa-pipa tersebut. Air yang ada di dalam pipa tersebut berubah menjadi uap yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan di kapal. Ketel uap jenis ini dirancang untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi dan volume yang besar dengan efisiensi termal tinggi karena perpindahan panas yang lebih efektif (Lestari et al., 2021).

Ketel pipa air dapat menghasilkan aliran uap sebesar 4.500-12.000 kg/jam. Kelebihan yang dimiliki oleh ketel jenis pipa air ini bukan hanya menghasilkan uap bertekanan tinggi dan menghasilkan efisiensi termal yang tinggi, namun juga memiliki kapasitas yang besar dan responsif terhadap beban sehingga dapat lebih cepat menghasilkan uap.

Boiler jenis ini juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu pemeliharaan yang lebih sulit dan biaya awal yang tinggi dibandingkan dengan ketel jenis lain. Hal tersebut terjadi dikarenakan desain yang lebih kompleks sehingga harga material cenderung lebih tinggi dan memerlukan tenaga ahli dalam proses perawatannya. Contoh dari ketel jenis pipa air adalah Ketel *B&W*, Ketel *Foster Wheeler*, dan Ketel *Yarrow*.

b) Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)



Gambar 2. 2. Ketel Pipa Api

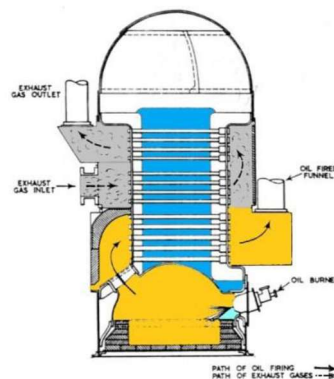
Sumber: (persadadinamikajaya.co.id)

Pada jenis ketel tersebut, gas hasil dari pembakaran bahan bakar *mengalir* melalui pipa-pipa yang ada di dalamnya dan air mengelilingi area sekitar pipa tersebut untuk menyerap panas dan mengubahnya menjadi uap. Ketel jenis ini memiliki kapasitas uap yang relatif lebih kecil dan tekanan uap yang rendah dibandingkan dengan ketel pipa air, sehingga kurang cocok jika digunakan untuk permintaan uap yang besar.

Ketel pipa api memiliki laju aliran hingga 14.000 kg/jam dan tekanan hingga 18 kg/cm². Namun, ketel pipa api memiliki

struktur yang lebih sederhana, mudah dipasang, dan perawatan yang lebih rendah sehingga dapat mengurangi biaya operasional dibandingkan menggunakan ketel jenis lain. Contoh dari ketel jenis pipa api adalah Ketel *Schots*, Ketel *Cochran*, dan Ketel *Clarkson*.

c) Ketel Gabungan Pipa Api dan Pipa Air



Gambar 2. 3. Ketel Gabungan Pipa Api dan Pipa Air
Sumber: (marineprogress.com)

Ketel jenis ini merupakan perkembangan/modifikasi dari Ketel *Schots*, ketel ini merupakan gabungan prinsip kerja antara ketel pipa api dan ketel pipa air dalam satu sistem. Sebagian dari pipa-pipa yang ada didalam ketel ini mengalir gas panas yang berasal dari hasil pembakaran dan juga beberapa pipa lain mengalir air yang akan diubah menjadi uap.

Ketel jenis ini sangat disarankan untuk pengaplikasian yang membutuhkan suplai uap dari tekanan menengah hingga tekanan tinggi. Kelebihan dari menggabungkan adanya dua sistem ini menjadikan ketel ini memiliki kapasitas dalam *menghasilkan* uap menjadi lebih besar dan dalam waktu yang

singkat. Dengan modifikasi yang canggih ini, dibutuhkan operator yang berpengalaman untuk memelihara permesinan ketel ini agar lebih maksimal.

d) *Thermal Oil Heater*

Perbedaan *thermal oil heater* dengan *boiler* pada umumnya terletak *pada* media perpindahan panasnya. Pada *thermal oil heater* fluida yang digunakan bukanlah air melainkan *thermal oil* atau oli. Adapun cara penggunaannya adalah memanaskan oli didalam pipa dengan menggunakan gas panas yang dihasilkan oleh *burner*. Kelebihan yang dimiliki *thermal oil heater* adalah bisa mencapai suhu hingga 300°C tanpa memerlukan tekanan yang tinggi dan juga tidak menimbulkan adanya kerak yang menempel pada pipa seperti *boiler* pada umumnya.

2) Ketel uap menurut fungsinya

a) Ketel induk

Ketel induk atau *main boiler* sangat diperlukan pada kapal jenis turbin uap atau *steamship*. *Main boiler* berfungsi untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang digunakan sebagai tenaga *penggerak* mesin utama yang berupa turbin uap. Pada umumnya, ketel induk berukuran lebih besar dibandingkan ketel bantu.

b) Ketel bantu

Ketel bantu umumnya berfungsi saat kapal sedang dalam kondisi sandar ataupun berlabuh. fungsi dari ketel bantu adalah sebagai pemanas bahan bakar, pemanas minyak lumas, pemanas *akomodasi* kapal ketika cuaca sedang dingin, pemanas air tawar, dan lain sebagainya.

b. Komponen *Boiler*

Boiler dilengkapi dengan berbagai komponen dan alat pengaman yang harus dilengkapi dan disesuaikan dengan *manual book* pada masing-masing kapal. Adapun beberapa komponen yang dimaksud yaitu sebagai berikut:

1) *Steam Drum*



Gambar 2. 4. *Steam Drum*
Sumber: (www.industrial-steamboiler.com)

Gambar 2.1 menunjukkan komponen *steam drum* yang merupakan tangki besar berbentuk vertikal ataupun horizontal. Fungsi dari tangki tersebut adalah menyimpan atau menampung air panas dan tempat terbentuknya uap di dalam *boiler*. Drum ketel uap terbagi menjadi dua yaitu, drum atas (*upper drum*) dan drum bawah (*lower drum*) yang dihubungkan oleh pipa-pipa (Manggala et al., 2021).

2) *Burner*



Gambar 2. 5. *Burner*

Sumber: (giouzchym.blob.core.windows.net)

Gambar 2.2 menunjukkan komponen *burner* yang merupakan tempat terjadinya proses pembakaran di ruang bakar antara bahan bakar dan udara. *Burner* terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

a) *Electroda*



Gambar 2. 6. *Electroda*

Sumber: (www.tokopedia.com)

Gambar 2.3 menunjukkan komponen *Electroda* yang berfungsi untuk menimbulkan percikan api dari arus listrik sebagai pemantik awal pembakaran. Jarak antar ujung *electroda* perlu diperhatikan, karna jika terlalu jauh ataupun terlalu dekat maka akan terjadi gagal pembakaran (Muharni et al., 2022).

b) *Nozzle*Gambar 2. 7. *Nozzle*

Sumber: (www.oil-burner-nozzle.com)

Gambar 2.4 menunjukkan komponen *nozzle* yang berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar, dimana bahan bakar tersebut akan bercampur dengan oksigen sehingga menghasilkan pembakaran.

c) *Photocell*Gambar 2. 8. *Photocell*

Sumber: (www.indiamart.com)

Gambar 2.5 menunjukkan komponen *photocell* atau biasa disebut dengan *flame eye detector* yang merupakan sebuah sensor yang berfungsi untuk membaca ada tidaknya pembakaran di dalam *boiler*. *Photocell* akan bekerja apabila tidak ada pembakaran di ruang bakar dan mematikan pompa bahan bakar agar tidak terjadi kebocoran pada bahan bakar.

d) *Blower fan*

Gambar 2. 9. *Blower Fan*
Sumber: (dir.indiamart.com)

Gambar 2.6 menunjukkan komponen *blower* yang berfungsi untuk menyuplai udara ke dalam *burner* agar menghasilkan pembakaran yang sempurna.

e) *Solenoid valve*

Gambar 2. 10. *Solenoid Valve*
Sumber: (www.directindustry.com)

Gambar 2.7 menunjukkan komponen *Solenoid valve* yang berfungsi untuk mengontrol aliran bahan bakar menuju ke dalam *burner*. *Solenoid valve* sendiri memiliki sistem buka / tutup otomatis dengan menggunakan tenaga listrik.

f) *Fuel Pump*Gambar 2. 11. *Fuel Pump*Sumber: (yhg688.en.made-in-china.com)

Gambar 2.8 menunjukkan komponen *fuel pump* yang berfungsi untuk mengirimkan bahan bakar ke dalam *burner*.

Umunya jenis pompa yang digunakan adalah *gear pump*.

g) Filter *bahan bakar*

Gambar 2. 12. Filter Bahan Bakar

Sumber: (dickinsonmarine.com)

Gambar 2.9 menunjukkan komponen filter bahan bakar yang berfungsi untuk menyaring kotoran pada bahan bakar sebelum masuk ke dalam *burner* agar tidak mengurangi kualitas pembakaran.

3) Gelas Penduga



Gambar 2. 13. Gelas Penduga
Sumber: (www.idmsteamboiler.co.id)

Gambar 2.10 menunjukkan komponen gelas penduga yang berfungsi untuk mengetahui tingginya *level* air yang ada didalam *boiler* dan juga memudahkan dalam mengontrol *level* air saat *boiler* sedang beroperasi.

4) Manometer



Gambar 2. 14. Manometer
Sumber: (www.clasohlson.com)

Gambar 2.11 menunjukkan komponen manometer yang merupakan alat untuk mengukur besarnya tekanan uap yang ada di dalam *boiler*.

5) *Safety Valve*



Gambar 2. 15. *Safety Valve*

Sumber: (flyvalve606.en.made-in-china.com)

Gambar 2.12 menunjukkan bahwa *safety valve* yang merupakan katup pengaman yang akan bekerja otomatis apabila tekanan uap yang ada didalam *boiler* melebihi tekanan yang telah ditentukan. Katup pengaman untuk uap basah diatur pada batas maksimal tekanan 21,5 kg/cm², sedangkan untuk katup pengaman uap kering maksimal tekanannya adalah 20,5 kg/cm² (Rahardja et al., 2022).

6) *Blow Down Valve*



Gambar 2. 16. *Blow Down Valve*

Sumber: (zecovalve.com)

Gambar 2.13 menunjukkan komponen *blow down valve* atau katup pembilas yang berfungsi untuk membuang air *boiler* sebagian atau seluruhnya. Tujuannya untuk membuang kotoran atau endapan

yang ada di dalam *boiler*. *Blow down* biasanya dilakukan secara berkala.

7) *Main Steam Valve*

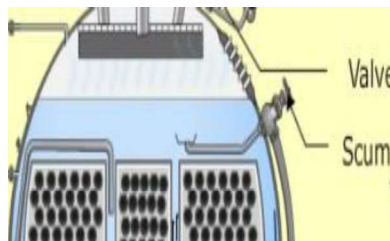


Gambar 2. 17. *Main Steam Valve*

Sumber: (www.slideserve.com)

Gambar 2.14 menunjukkan komponen *main steam valve* atau katup uap utama yang berfungsi untuk mengeluarkan uap bertekanan tinggi dari dalam *steam drum* ke semua bagian-bagian yang memerlukan uap.

8) *Scum Valve*



Gambar 2. 18. *Scum Valve*

Sumber: (marineengineeringstudymaterial.wordpress.com)

Gambar 2.15 menunjukkan komponen *scum valve* atau biasa disebut dengan katup cerat atas yang berfungsi untuk membuang udara dari dalam *boiler* saat pembakaran awal sampai menghasilkan uap dengan tekanan 1 bar. Tujuan dari mengeluarkan udara tersebut

agar dalam sistem tidak mengalami oksidasi dan menyebabkan terbentuknya kerak.

9) *Non Return Valve*



Gambar 2. 19. *Non Return Valve*

Sumber: (steamboilerpitsujiku.blogspot.com)

Gambar 2.16 menunjukkan komponen *non return valve* atau juga disebut kran pemasok air yang berfungsi untuk mengalirkan *feed water* yang keluar dari pompa menuju ke dalam *steam drum*. *Non return valve* biasanya di desain satu arah untuk mencegah aliran balik (*backflow*) yang berupa air atau uap kembali ke *feed water pump* (Maniruzzaman et al., 2023).

10) *Feed Water Pump*

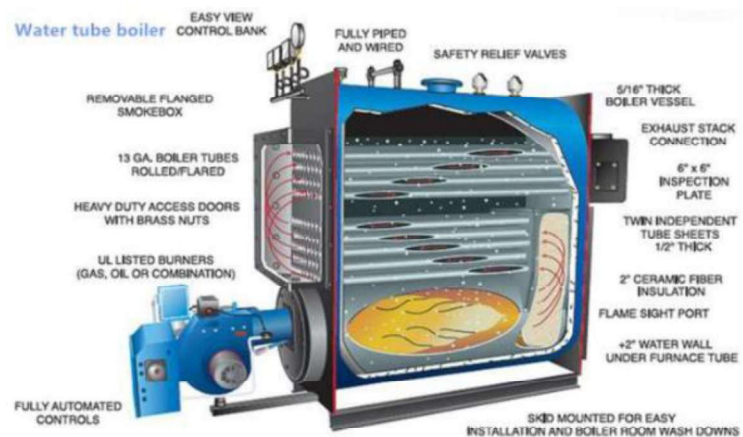


Gambar 2. 20. *Feed Water Pump*

Sumber: (www.rasmech.com)

Gambar 2.17 menunjukkan komponen *feed water pump* atau biasa dikenal dengan pompa pengisian air *boiler*. Pompa ini bekerja otomatis untuk mengisi air pada *boiler*. Pompa ini akan secara otomatis bekerja apabila air yang ada di dalam *boiler* telah berada pada batas minimal yang telah ditentukan. Umumnya *level* pengisian air maksimal berada di $\frac{2}{3}$ dari *steam drum* dan minimal $\frac{1}{3}$ dari *steam drum*.

c. Prinsip Kerja Boiler



Gambar 2. 21. Prinsip Kerja Boiler

Sumber: (pttaland.com)

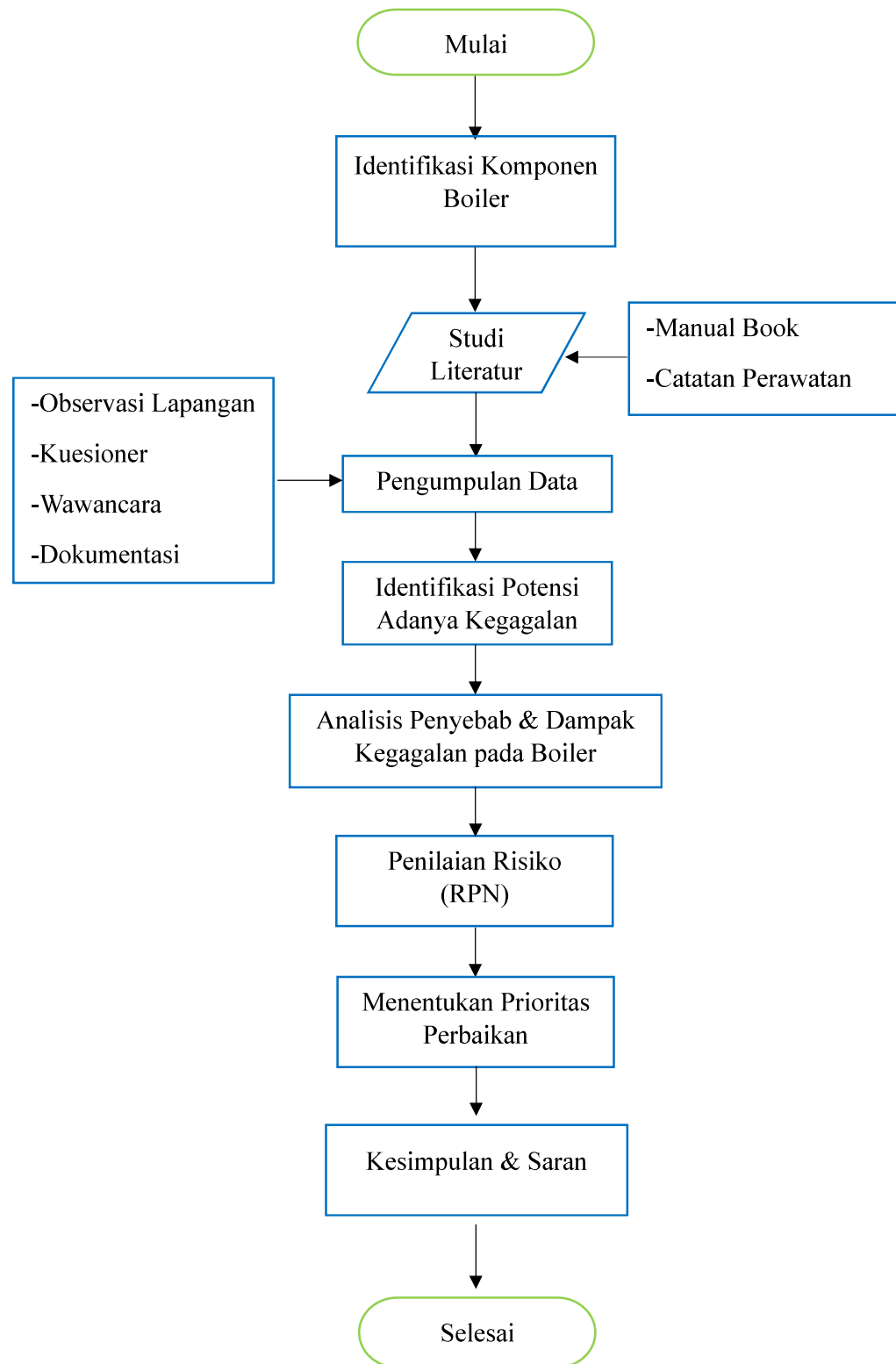
Gambar 2.18 menunjukkan prinsip kerja boiler pipa air atau jenis ketel uap dimana air mengalir melalui dalam pipa, sementara gas hasil pembakaran mengalir di sekitar luar pipa. Prinsip kerja boiler pipa air melibatkan energi panas hasil dari pembakaran bahan bakar di ruang pembakaran (*furnace*) untuk memanaskan air di dalam pipa hingga berubah menjadi uap bertekanan tinggi (Alidina et al., 2022).

Proses ini mencakup tiga perpindahan panas utama, yaitu radiasi, konduksi, dan konveksi. Pada fase pertama, energi panas dari gas hasil pembakaran berpindah secara radiasi dimana panas dari api dan gas

berpindah ke dinding luar pipa. Setelah itu, panas merambat melintasi dinding pipa secara konduksi. Lalu, panas dalam pipa tersebut diserap oleh air yang berada di dalam pipa dan disebarkan melalui pergerakan partikel air secara konveksi, yang menyebabkan peningkatan suhu air hingga mencapai batas didih. Karena adanya perbedaan kepadatan antara air panas dan air dingin, terjadi sirkulasi alami yang mengakibatkan proses pemanasan tersebut berlangsung secara kontinu (Rahman et al., 2024).

Gas panas dari pembakaran akan bergerak melalui jalur keluaran gas (*gas pass*) yang sebagian besar energinya diserap oleh *evaporator tubes*. Hal ini dapat mengubah air menjadi uap basah (*saturated steam*) dan bisa dilanjutkan hingga uap kering (*superheated steam*) melalui pemanasan tambahan. Uap basah (*saturated steam*) terjadi karena uap tersebut dihasilkan ketika air yang dipanaskan pada tekanan tertentu akan mencapai kondisi dimana fase cair dan uap bertahan secara seimbang (Rauch et al., 2021). Sedangkan, uap kering (*superheated steam*) terjadi apabila semua air telah menguap sempurna dan mengalami pemanasan lebih lanjut dengan tekanan yang tetap, maka suhunya akan melampaui suhu jenuh (Kim et al., 2025)

C. KERANGKA PIKIR PENELITIAN



Gambar 2. 22 Kerangka Pikir Penelitian

BAB III

METODE PENELITIAN

A. JENIS PENELITIAN

Menurut Prof. Dr. Sugiyono, metode penelitian kuantitatif dinamakan metode tradisional, karena metode ini sudah cukup lama digunakan sehingga sudah mentradisi sebagai metode untuk penelitian. Metode ini disebut sebagai metode positivistik karena berlandaskan pada filsafat positivisme. Metode ini sebagai metode ilmiah karena telah memenuhi kaidah-kaidah ilmiah yang konkrit/empiris, obyektif, terukur, rasional, dan sistematis. Metode ini juga disebut metode *discovery*, karena dengan metode ini dapat ditemukan dan dikembangkan berbagai IPTEK baru (Sugiyono, 2021).

Penelitian kuantitatif memiliki berbagai macam salah satunya adalah kuantitatif deskriptif. Kuantitatif deskriptif bertujuan untuk menjelaskan atau menggambarkan peristiwa secara fakta dan terstruktur menggunakan data yang berbasis dengan angka tanpa memberikan pengaruh atau melakukan manipulasi terhadap variabel penelitian. Penelitian jenis ini digunakan untuk menggambarkan peristiwa yang terjadi, bukan untuk melakukan pengujian hipotesis atau pengaruh hubungan antar variabel.

Penelitian kuantitatif deskriptif memiliki beberapa metode / pendekatan, salah satunya adalah pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. *FMEA* adalah metode untuk menganalisis dampak yang mungkin timbul dari sebuah kegagalan (Kumar Akula et al., 2022). Metode tersebut dapat mengidentifikasi seluruh potensi kegagalan yang bisa terjadi dalam rancangan

maupun proses produksi hingga produk akhir yang dihasilkan, serta mengevaluasi akibat dari setiap kegagalan (Aprianto et al., 2021).

Tujuan penelitian ini menggunakan pendekatan FMEA adalah menentukan penyelesaian untuk mengurangi risiko bahaya, terutama risiko dengan prioritas risiko yang tertinggi (Saputra & Widodo, 2023). Prioritas risiko memiliki tingkatan yang ditentukan dalam bentuk *Risk Priority Number (RPN)* atau yang biasa disebut dengan nilai risiko. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini akan menghasilkan nilai terkait tingkat risiko serta saran perawatan. Hasil Risiko kegagalan ditentukan berdasarkan tiga faktor, yaitu:

1. *Severity* : Tingkat keparahan dari kegagalan
2. *Occurrence* : Frekuensi terjadinya kegagalan
3. *Detection* : Kemungkinan kegagalan dapat dideteksi sebelum terjadi

B. TEMPAT / LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada saat peneliti sedang melaksanakan Praktek Laut (PRALA) di kapal KM. TILONGKABILA yang dimiliki oleh Perusahaan PT. Pelayaran Nasional Indonesia (PELNI) Persero selama 1 tahun 5 hari terhitung dari tanggal 12 Juli 2024 – 17 Juli 2025.

C. SUMBER DATA DAN TEKNIK PENGUMPULAN DATA

1. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Data primer adalah data yang berasal dari sumber asli atau pertama. Data ini tidak tersedia dalam bentuk terkompilasi ataupun dalam bentuk file-file (Melviana, Putri, et al., 2022). Data ini harus dicari melalui narasumber atau dalam istilah teknisnya responden, yaitu orang yang kita jadikan objek penelitian atau orang yang kita jadikan sebagai sarana mendapatkan informasi ataupun data. Sumber data primer adalah sumber data yang langsung memberikan data kepada pengumpul data (Sugiyono, 2021). Sumber data primer pada penelitian ini dikumpulkan melalui berbagai metode seperti observasi lapangan dan wawancara untuk menndapatkan data terkait perawatan *boiler* dan hasil dari penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection*.

b. Data Sekunder

Menurut Prof. Dr. Sugiyono, data sekunder merupakan sumber data yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data, misalnya melalui orang lain atau melalui dokumen. Data sekunder adalah data yang mengacu pada informasi yang dikumpulkan dari sumber yang telah ada. Sumber data sekunder pada penelitian ini dikumpulkan melalui catatan perawatan, panduan perawatan, jadwal perawatan, serta dokumentasi lainnya (Sugiyono, 2021).

2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada peneitian ini menggunakan teknik observasi, kuesioner, wawancara, dan dokumentasi.

a. Observasi

Dari segi proses pelaksanaan pengumpulan data, observasi dapat dibedakan menjadi *participant observation* (observasi berperan serta) dan *non participant observation*. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan *participant observation*, dimana peneliti terlibat langsung dalam mengamati objek yang sedang diteliti atau yang digunakan sebagai sumber data penelitian. Observasi ini bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang sering terjadi pada boiler tersebut dan sistem perawatan yang dilakukan.

b. Kuesioner

Kuesioner atau angket adalah teknik pengumpulan data yang berupa sekumpulan pertanyaan oleh peneliti yang harus dijawab oleh responden sesuai dengan pandangan mereka sesuai kondisi yang terjadi (Sugiyono, 2021). Pertanyaan kuesioner pada penelitian ini digunakan untuk mengumpulkan data agar mengetahui nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* dari setiap potensi kegagalan pada *boiler*. Kuesioner akan memberikan pertanyaan berdasarkan skala yang telah ditentukan. Hasil dari kuesioner tersebut akan digunakan untuk menghitung nilai *Risk Priority Number (RPN)* agar dapat menentukan prioritas perbaikan.

c. Wawancara

Wawancara merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui interaksi langsung antara peneliti kepada informan atau narasumber yang bertujuan untuk menambah informasi yang lebih spesifik mengenai pengalaman pribadi ataupun fakta tentang suatu

permasalahan yang terjadi (Sugiyono, 2021). Wawancara dilakukan untuk mengumpulkan data terkait penyebab kerusakan, dampak yang ditimbulkan, dan langkah perawatan yang tidak didapat dari hasil kuesioner dan observasi.

d. Dokumentasi

Dokumentasi merupakan catatan peristiwa yang telah berlalu. Dokumentasi dapat berbentuk tulisan, gambar, atau karya-karya monumental dari seseorang. Dokumen dapat berbentuk gambar, misalnya foto, gambar hidup, sketsa, dan lain-lain. Studi dokumen merupakan pelengkap dari penggunaan metode observasi. Dalam penelitian ini dokumen yang bisa digunakan berupa *instruction manual book* maupun spesifikasi yang tertera pada *manual book for boiler* dan juga catatan historis perawatan yang telah dilakukan.

D. TEKNIK ANALISIS DATA

1. Teknik Analisis Statistik Deskriptif

Menurut Prof. Dr. Sugiyono, teknik analisis data dalam penelitian kuantitatif menggunakan statistik. Terdapat dua macam statistik yang digunakan untuk analisis data dalam penelitian, yaitu statistik deskriptif dan statistik inferensial. Statistik deskriptif adalah penyajian data seperti tabel, grafik, diagram lingkaran, perhitungan persentase, dan lain-lain (Sugiyono, 2021). Sedangkan, statistik inferensial adalah teknik analisis data yang digunakan untuk menganalisis data sampel dan hasilnya diberlakukan untuk populasi.

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan teknik analisis data statistik deskriptif kuantitatif karena penelitian ini diperhitungkan menggunakan proses *FMEA*, yaitu menggunakan perhitungan untuk mengetahui nilai *RPN* dan menyajikan skala pengukuran / likert dalam bentuk tabel untuk setiap aspeknya, seperti *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, dan *Detection (D)*.

FMEA memiliki Langkah – Langkah yang harus dilakukan untuk pelaksanaan prosesnya, antara lain:

a. Menganalisis Kajian terhadap Proses ataupun Produk

Menganalisis proses ataupun produk dapat membantu memahami fungsi, sistem kerja, dan komponen. Hasil dari analisis tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada langkah *FMEA* lanjutan.

b. Menentukan *Severity Level*

Severity level adalah tingkat keparahan jika sebuah kegagalan terjadi yang dinyatakan dalam bentuk skor dengan 5 kategori tertentu yang akan digunakan pada kuesioner. Tabel 3.1 menunjukkan skala pengukuran / likert yang digunakan dalam penilaian *severity*, yaitu:

Tabel 3. 1. Skala Likert *Severity*

Sumber: Data Peneliti

Skor	Tingkat Keparahan	Deskripsi
1	Sangat Rendah	Dampak kegagalan sangat kecil, tidak memengaruhi operasi atau keselamatan
2	Rendah	Dampak kegagalan kecil, hanya memengaruhi efisiensi minor
3	Sedang	Dampak kegagalan cukup signifikan, memengaruhi operasi tetapi tidak kritis
4	Tinggi	Dampak kegagalan serius, mengganggu operasi dan memerlukan perbaikan segera

Skor	Tingkat Keparahan	Deskripsi
5	Sangat Tinggi	Dampak kegagalan sangat serius, mengancam keselamatan atau menyebabkan kerugian besar

c. Menentukan *Occurrence Level*

Occurrence level atau tingkat frekuensi menunjukkan seberapa sering kegagalan terjadi yang juga dinyatakan dalam bentuk skor dengan 5 kategori tertentu yang akan digunakan pada kuesioner. Tingkat kejadian ditentukan berdasarkan catatan *track record* dalam satu tahun terakhir. Tabel 3.2 menunjukkan skala pengukuran / likert yang digunakan dalam penilaian *occurrence*, yaitu:

Tabel 3. 2. Skala Likert *Occurrence*
Sumber: Data Peneliti

Skor	Tingkat Kemungkinan	Deskripsi
1	Sangat Jarang	Kegagalan hampir tidak pernah terjadi, kemungkinan sangat kecil
2	Jarang	Kegagalan jarang terjadi, kemungkinan kecil
3	Kadang-Kadang	Kegagalan terjadi sesekali, kemungkinan sedang
4	Sering	Kegagalan sering terjadi, kemungkinan tinggi
5	Sangat Sering	Kegagalan hampir selalu terjadi, kemungkinan sangat tinggi

d. Menentukan *Detection Level*

Detection level atau tingkat deteksi menggambarkan besar kemungkinan dari sebuah kegagalan atau akibat dari kegagalan. Tingkat deteksi dapat ditinjau melalui sistem kontrol yang sudah ada untuk mendeteksi potensi kegagalan. Tabel 3.3 menunjukkan skala pengukuran / likert yang digunakan dalam penilaian *detection* dengan 5 kategori tertentu yang akan digunakan pada kuesioner, sebagai berikut:

Tabel 3. 3. Skala Likert *Detection*

Sumber: Data Peneliti

Skor	Tingkat Kemampuan Mendeteksi	Deskripsi
1	Sangat Mudah Dideteksi	Kegagalan dapat dideteksi dengan sangat mudah dan hampir pasti teridentifikasi sebelum terjadi
2	Mudah Dideteksi	Kegagalan dapat dideteksi dengan mudah melalui inspeksi rutin atau sistem monitoring
3	Cukup Mudah Dideteksi	Kegagalan dapat dideteksi dengan beberapa upaya, seperti pemeriksaan berkala atau alat khusus
4	Sulit Dideteksi	Kegagalan sulit dideteksi dan memerlukan alat atau metode khusus yang tidak selalu tersedia
5	Sangat Sulit Dideteksi	Kegagalan sangat sulit dideteksi, hampir tidak mungkin teridentifikasi sebelum terjadi

e. Menghitung Nilai Risk Priority Number (RPN)

Nilai RPN digunakan sebagai indikator awal untuk mengevaluasi risiko. Cara menghitung *RPN*, yaitu:

$$RPN = Severity (S) \times Occurrence (O) \times Detection (D)$$

f. Menentukan Kategorisasi pada Setiap Komponen

Kategorisasi pada setiap komponen diperlukan untuk memudahkan proses penentuan rekomendasi perbaikan berdasarkan kategori tertentu. Kategorisasi yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan 3 kategori, yaitu kategori rendah, kategori sedang, dan kategori tinggi yang ditunjukkan dalam Tabel 3.4 berikut:

Tabel 3. 4. Kategorisasi

Sumber: (Starbuck, 2023)

KATEGORI	
RENDAH	$X < M - 1SD$

SEDANG	$M - 1SD \leq X < M + 1SD$
TINGGI	$M + 1SD \leq X$

g. Menetapkan Prioritas Kegagalan untuk Tindakan Lanjutan

Prioritas tindakan ditentukan berdasarkan nilai *RPN* yang apabila Semakin tinggi nilai *RPN*, maka semakin besar tingkat kerusakan dan tingkat urgensinya semakin mendesak. Begitupun sebaliknya, semakin rendah nilai *RPN* maka semakin kecil tingkat kerusakan dan tidak terlalu mendesak tingkat urgensinya.

h. Melakukan Tindakan untuk Mengurangi Risiko

Langkah – Langkah perbaikan dilakukan untuk mengurangi potensi risiko yang telah diidentifikasi.

2. Uji Validitas

Validitas merujuk pada keakuratan atau ketelitian sebuah instrumen dalam melakukan pengukuran. Validitas juga menggambarkan seberapa baik instrumen tersebut mampu mengukur sesuatu yang seharusnya diukur. Uji validitas merupakan langkah-langkah atau proses yang bertujuan untuk memastikan sebuah instrumen akurat dalam melakukan pengukuran. Uji ini bertujuan untuk menilai keakuratan dan konsistensi instrumen tersebut (Sugiyono, 2021).

Penelitian ini menggunakan uji validitas *product moment pearson correlation*. Pengujian tersebut menghitung korelasi antara skor dari setiap pertanyaan dengan skor keseluruhan dari jawaban responden dalam kuesioner yang diberikan.

Tabel 3. 5. Nilai r_{tabel}
 Sumber: (www.spssindonesia.com)

**Distribusi Nilai r_{tabel}
 Signifikansi 5% dan 1%**

N	The Level of Significance		N	The Level of Significance	
	5%	1%		5%	1%
3	0.997	0.999	38	0.320	0.413
4	0.950	0.990	39	0.316	0.408
5	0.878	0.959	40	0.312	0.403
6	0.811	0.917	41	0.308	0.398
7	0.754	0.874	42	0.304	0.393
8	0.707	0.834	43	0.301	0.389
9	0.666	0.798	44	0.297	0.384
10	0.632	0.765	45	0.294	0.380
11	0.602	0.735	46	0.291	0.376
12	0.576	0.708	47	0.288	0.372
13	0.553	0.684	48	0.284	0.368
14	0.532	0.661	49	0.281	0.364
15	0.514	0.641	50	0.279	0.361
16	0.497	0.623	55	0.266	0.345
17	0.482	0.606	60	0.254	0.330
18	0.468	0.590	65	0.244	0.317
19	0.456	0.575	70	0.235	0.306
20	0.444	0.561	75	0.227	0.296
21	0.433	0.549	80	0.220	0.286
22	0.432	0.537	85	0.213	0.278
23	0.413	0.526	90	0.207	0.267
24	0.404	0.515	95	0.202	0.263
25	0.396	0.505	100	0.195	0.256
26	0.388	0.496	125	0.176	0.230
27	0.381	0.487	150	0.159	0.210
28	0.374	0.478	175	0.148	0.194
29	0.367	0.470	200	0.138	0.181
30	0.361	0.463	300	0.113	0.148
31	0.355	0.456	400	0.098	0.128
32	0.349	0.449	500	0.088	0.115
33	0.344	0.442	600	0.080	0.105
34	0.339	0.436	700	0.074	0.097
35	0.334	0.430	800	0.070	0.091
36	0.329	0.424	900	0.065	0.086
37	0.325	0.418	1000	0.062	0.081

Tabel 3.5 menunjukkan tabel nilai r_{tabel} yang dibutuhkan dalam melakukan uji validitas. Pedoman untuk mengambil keputusan dalam uji validitas ini dilakukan melalui beberapa cara, yaitu:

- a. Membandingkan Nilai r_{hitung} dengan Nilai r_{tabel}

- 1) Jika nilai $r_{hitung} > r_{tabel}$, maka item pertanyaan dalam kuesioner tersebut dianggap valid
 - 2) Jika nilai $r_{hitung} < r_{tabel}$, maka item pertanyaan dalam kuesioner tersebut dianggap tidak valid
- b. Membandingkan Nilai Sig. (2-tailed) dengan Probabilitas 0,05
- 1) Jika nilai Sig. (2-tailed) $< 0,05$ dan Pearson Correlation bernilai positif, maka item pertanyaan dalam kuesioner tersebut valid
 - 2) Jika nilai Sig. (2-tailed) $< 0,05$ dan Pearson Correlation bernilai negatif, maka item pertanyaan dalam kuesioner tersebut tidak valid
 - 3) Jika nilai Sig. (2-tailed) $> 0,05$, maka item pertanyaan dalam kuesioner tersebut tidak valid

3. Uji Reliabilitas

Menurut Sugiyono, reliabilitas merujuk pada konsistensi suatu instrumen dalam mengukur sesuatu yang sama secara berulang. Dengan kata lain, reliabilitas menunjukkan instrumen tersebut memberikan hasil yang stabil dan konsisten dalam melakukan pengukuran. Uji reliabilitas merupakan langkah-langkah atau proses untuk menilai apakah suatu instrumen penelitian bisa dipercaya dalam proses pengumpulan data.

Penelitian ini menggunakan uji reliabilitas *alpha cronbach's*. Dalam buku yang berjudul “SPSS untuk Penelitian”, dijelaskan bahwa pengambilan keputusan dalam uji reliabilitas, yaitu:

- a. Jika nilai Cronbach's Alpha $> 0,60$ maka kuesioner dinyatakan reliabel atau konsisten

- b. Jika nilai Cronbach's Alpha $< 0,60$ maka kuesioner dinyatakan tidak reliabel atau tidak konsisten