

**IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA SERTA PERBAIKAN
MENGUNAKAN METODE HAZOP DAN AHP DI STASIUN
KETEL (STUDI KASUS: PT MADUBARU (PG-PS) MADUKISMO)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Muhammad Iclasul Amal Mastur
No. Mahasiswa : 21522368

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui dan menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir/Skripsi ini adalah hasil karya saya yang ditulis sendiri sebagai salah satu syarat kelulusan dalam memperoleh gelar Sarjana S-1 Program Studi Teknik Industri. Adapun kutipan atau ringkasan yang menjadi referensi seluruhnya sudah saya jelaskan dan cantumkan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah, maka saya bersedia gelar akademik saya dicabut dan ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia (UII) sesuai dengan undang-undang atau peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 12 – 01 - 2026



(Muhammad Ichlasul Amal Mastur)
21522368

SURAT BUKTI PENELITIAN



FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55588
T. (0274) 898444 ext. 4110, 4100
F. (0274) 895807
E. lib@uii.ac.id
W. lib.uii.ac.id

Nomor : 01/Ka.Lab DSK&E/70/Lab. DSK&E/2026

Hal : **Surat Keterangan Penelitian**

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Kami yang bertanda tangan di bawah ini Kepala Laboratorium Desain Sistem Kerja dan Ergonomi (DSK&E), Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia, dengan ini ingin memberitahukan bahwa mahasiswa di bawah telah melakukan penelitian di Laboratorium DSK&E.

Nama Peneliti : Muhammad Ichlasul Amal Mastur
NIM : 21522368
Program Studi : Teknik Industri-FTI-UII
Tempat Penelitian : 1. PT Madubaru (PG-PS) Madukismo
2. Laboratorium Desain Sistem Kerja & Ergonomi
Waktu Penelitian : 1 Oktober – 23 Desember 2025
Judul Penelitian : Identifikasi Potensi Bahaya serta Perbaikan Menggunakan Metode HAZOP dan AHP di Stasiun Ketel (Studi Kasus: PT Madubaru (PG-PS) Madukismo)
Dosen pembimbing : Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc.

Demikian surat keterangan ini kami buat, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 12 Januari 2026
Kepala Laboratorium DSK&E,

Chancard Basumerda, S.T., M.Sc.

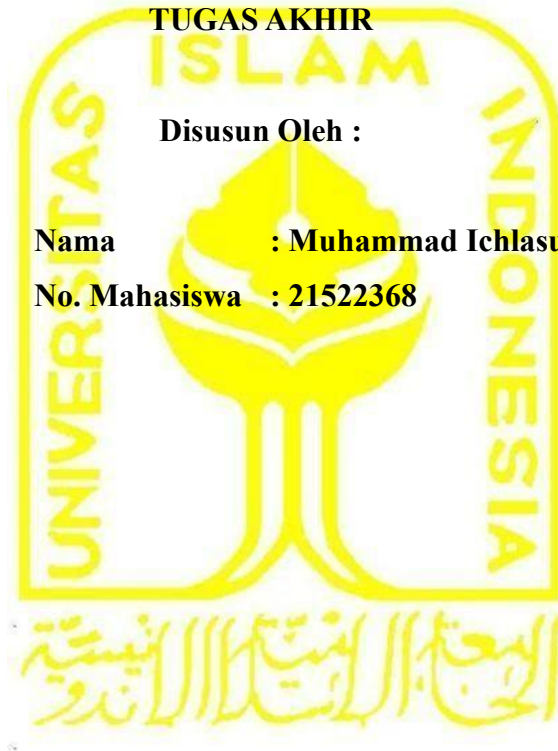
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA SERTA PERBAIKAN
MENGGUNAKAN METODE HAZOP DAN AHP DI STASIUN
KETEL (STUDI KASUS: PT MADUBARU (PG-PS) MADUKISMO)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Ichlasul Amal Mastur

No. Mahasiswa : 21522368



Yogyakarta, 12 Januari 2026

Dosen Pembimbing

(Atyanti Dya Prabaswari, S.T., M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA SERTA PERBAIKAN MENGGUNAKAN
METODE HAZOP DAN AHP DI STASIUN KETEL (STUDI KASUS: PT
MADUBARU (PG-PS) MADUKISMO)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Ichlasul Amal Mastur

No. Mahasiswa : 21522368

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 27 - Januari – 2026

Tim Penguji

Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc.

Ketua

Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M.

Anggota I

Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

Anggota II

Amal Mastur

Sputrisno

Putri Dwi Annisa

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

NIK. 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan Tugas Akhir (TA)/Skripsi ini dipersembahkan kepada kedua orang tua penulis atas doa, dukungan, dan pengorbanan yang tiada henti; kepada dosen pembimbing saya, Ibu Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc atas bimbingan dan arahnya selama proses penyusunan laporan ini; Bapak Irwan Hartono selaku pembimbing lapangan saya selama melakukan pengambilan data untuk Tugas Akhir (TA)/Skripsi; serta kepada teman-teman terdekat penulis yang selalu mendukung, mendoakan, serta memberikan semangat selama proses penyusunan laporan Tugas Akhir (TA)/Skripsi dari awal hingga selesai.

MOTTO

“Allah doesn’t burden a soul beyond that it can bear”
(Surah Al-Baqarah : 286)

“Indeed, with hardship will be ease”
(Surah Al-Insyirah : 6)

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga saya sebagai penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA)/Skripsi ini yang berjudul “Identifikasi Potensi Bahaya serta Perbaikan Menggunakan Metode HAZOP dan AHP di Stasiun Ketel (Studi Kasus: PT Madubaru (PG-PS) Madukismo)” dengan baik dan juga sesuai dengan waktu yang telah ditargetkan di mana laporan Tugas Akhir (TA)/Skripsi ini merupakan salah satu syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana (S-1) Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri (FTI), Universitas Islam Indonesia (UII). Sholawat serta salam tidak lupa selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu ‘Alaihi Wassalam yang telah membimbing umatnya dari zaman jahiliyah atau kegelapan sampai zaman yang terang benderang. Sebagai penulis, saya mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah berjasa dalam memberikan bimbingan dan juga motivasi dalam menyelesaikan laporan Kerja Praktik ini. Oleh karena itu, saya sebagai penulis ingin memberikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir Hari Purnomo, M.T., IPU, ASEAN.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri (FTI) Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir (TA)/Skripsi yang telah membimbing dan memberikan arahan serta masukan kepada selaku selaku pelaksana dan penulis laporan Tugas Akhir (TA)/Skripsi.
4. Bapak Drs. H. Budi Hidayat selaku Direktur Utama PT Madubaru (PG-PS) Madukismo yang telah memberikan kesempatan bagi saya dalam melakukan pengambilan data Tugas Akhir (TA)/Skripsi.
5. Bapak Irwan Hartono selaku pembimbing lapangan saya selama melakukan pengambilan data untuk Tugas Akhir (TA)/Skripsi.
6. Kepada kedua orang tua penulis yang telah memberikan kasih sayang, semangat, doa, serta bimbingan yang tak terhingga kepada penulis selama perjalanan hidupnya.
7. Kepada teman-teman terdekat penulis yang selalu mendukung, mendoakan, serta memberikan semangat selama proses penyusunan laporan Tugas Akhir (TA)/Skripsi dari awal hingga selesai.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, sebagai penulis saya siap menerima setiap kritik dan saran agar kedepannya dapat menulis lebih baik lagi. Semoga laporan ini dapat bermanfaat, baik bagi penulis, akademik, dan juga perusahaan.

Yogyakarta, 12-Januari-2026



Muhammad Ichlasul Amal Mastur

ABSTRAK

Stasiun ketel merupakan salah satu unit proses yang memiliki tingkat risiko tinggi dalam industri gula karena melibatkan tekanan, temperatur, dan kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi keselamatan dan kesehatan pekerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP), menelusuri akar penyebab risiko melalui *Fault Tree Analysis* (FTA), serta menentukan prioritas rekomendasi pengendalian dengan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Penelitian dilakukan di Stasiun Ketel PT Madubaru (PG-PS) Madukismo dengan pendekatan deskriptif dan teknik pengumpulan data melalui observasi lapangan, wawancara, serta telaah dokumen. Hasil identifikasi HAZOP menunjukkan bahwa node lingkungan kerja menjadi *node* dengan risiko tertinggi dan masuk kategori **very high**, dengan deviasi berupa paparan panas ekstrem, bising, dan debu. Dampak yang ditimbulkan meliputi dehidrasi, kelelahan (*fatigue*), gangguan pendengaran dan pernapasan, serta penurunan performa kerja. Analisis FTA menunjukkan bahwa gangguan kesehatan pekerja tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, tetapi merupakan akumulasi dari kegagalan teknis (kurangnya alat peredam panas dan sirkulasi udara buruk), faktor lingkungan, dan faktor manajerial. Alternatif pengendalian kemudian diprioritaskan menggunakan metode AHP dengan tiga kriteria utama, yaitu pengendalian administrasi, engineering, dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Hasil pembobotan menunjukkan bahwa pengendalian administrasi memiliki bobot prioritas tertinggi (**0,445**), diikuti rekayasa teknis (**0,345**), dan APD (**0,210**). Dengan demikian, upaya mitigasi sebaiknya difokuskan pada penyusunan prosedur kerja, inspeksi dan *monitoring* berkala, serta perbaikan sistem ventilasi dan peredam panas untuk mendukung keselamatan kerja yang berkelanjutan.

Kata Kunci: HAZOP, FTA, AHP, K3, Stasiun Ketel

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
SURAT BUKTI PENELITIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Kajian Literatur.....	9
2.2 Landasan Teori.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Lokasi Penelitian.....	36
3.2 Objek Penelitian.....	36
3.3 Sumber Data	36
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	37
3.5 Alur Penelitian	38
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	42
4.1 Pengumpulan Data	42
4.2 Profil Perusahaan	42
4.2.1 Sejarah Singkat.....	42
4.2.1 Struktur Organisasi.....	45
4.2.2 <i>Job Description</i>	45
4.3 Pengolahan Data	50
4.3.1 Stasiun Ketel	50
4.3.2 HAZOP (<i>Hazard and Operability Study</i>).....	52
4.3.2.1 Identifikasi Bahaya.....	52
4.3.2.2 <i>Risk Assessment</i>	54
4.3.3 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	56

4.3.4 <i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i>	57
BAB V PEMBAHASAN.....	64
5.1 <i>Hazard and Operability Study (HAZOP)</i>	64
5.1.1 Identifikasi Bahaya.....	64
5.1.2 <i>Risk Assessment</i>	65
5.2 <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	67
5.2.1 Analisis Akar Penyebab (<i>Root Cause</i>)	67
5.2.2 Panas Ekstrem dan Kelelahan Pekerja	68
5.2.3 Kebisingan dan Gangguan Pendengaran.....	68
5.2.4 Debu Bertebaran dan Gangguan Pernapasan	69
5.2.5 Rekomendasi Pengendalian	69
5.3 <i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i>	70
5.3.1 Pembobotan dan Uji Konsistensi	70
5.3.2 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria	71
5.3.3 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria.....	73
5.3.4 Pengambilan Keputusan.....	75
BAB VI PENUTUP	77
6.1 Kesimpulan	77
6.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Literatur.....	19
Tabel 2. 2 HAZOP	25
Tabel 2. 3 <i>Event Symbol</i>	26
Tabel 2. 4 <i>Gate Symbol</i>	28
Tabel 2. 5 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan (<i>Pairwise Comparison</i>)	30
Tabel 2. 6 Matriks <i>Risk Assessment</i>	34
Tabel 2. 7 <i>Guide Words</i>	34
Tabel 4. 1 Data Kasus di Stasiun Ketel Tahun 2025.....	51
Tabel 4. 2 Identifikasi Bahaya di Stasiun Ketel.....	53
Tabel 4. 3 Matriks <i>Risk Assessment</i>	55
Tabel 4. 4 <i>Risk Assessment</i> di Stasiun Ketel.....	55
Tabel 5. 1 <i>Risk Assessment</i>	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	25
Gambar 2. 2 Struktur Hierarki AHP	30
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	39
Gambar 4. 1 Logo Perusahaan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo	42
Gambar 4. 2 Struktur Organisasi	45
Gambar 4. 3 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) Pada <i>Top Event</i>	57
Gambar 4. 4 Kuesioner Perbandingan Antar Kriteria dan Sub-Kriteria.....	59
Gambar 4. 5 Pembobotan dan Uji Konsistensi.....	60
Gambar 4. 6 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria	61
Gambar 4. 7 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria	62
Gambar 4. 8 Pengambilan Keputusan	63
Gambar 5. 1 Hasil Pembobotan dan Uji Konsistensi Kriteria	70
Gambar 5. 2 Hasil Pembobotan dan Uji Konsistensi Sub-Kriteria	71
Gambar 5. 3 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria Kemudahan	71
Gambar 5. 4 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria Biaya	72
Gambar 5. 5 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria Penurunan Bahaya	73
Gambar 5. 6 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria Cakupan Perlindungan.....	73
Gambar 5. 7 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria Konsistensi	74
Gambar 5. 8 Pengambilan Keputusan	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan salah satu aspek terpenting yang harus diperhatikan dalam setiap kegiatan industri, terutama di sektor industri manufaktur dan pengolahan bahan (Askar et al., 2022). Penerapan K3 tidak hanya bertujuan untuk melindungi para pekerja dari potensi kecelakaan dan penyakit yang timbul akibat kerja, namun juga berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas dan efisiensi terhadap operasional di perusahaan. Di dalam praktiknya, masih banyak ditemukan perusahaan yang menghadapi tantangan dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan mengendalikan potensi bahaya secara menyeluruh. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan risiko kecelakaan kerja, kerusakan peralatan, serta kerugian finansial yang berdampak pada keberlanjutan operasional industri.

Berdasarkan data yang diperoleh dari Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia (Kemnaker RI), hingga April 2025 telah terjadi kasus kecelakaan kerja yang tercatat sebanyak 47.300 kasus di mana terjadi peningkatan sekitar 12% dibandingkan periode yang sama di tahun sebelumnya, yaitu pada 2024 dengan kasus kecelakaan kerja yang terjadi sekitar 42.232 kasus. Dari kasus kecelakaan di atas, beberapa sektor menjadi penyumbang kasus tertinggi. Sektor konstruksi menyumbang sekitar 29% kasus kecelakaan kerja. Kemudian, sektor manufaktur menyumbang sekitar 26% kasus kecelakaan kerja. Lalu, sektor transportasi dan logistik menyumbang sekitar 18% kasus kecelakaan kerja. Sisanya sekitar 27% berasal dari sektor pertambangan, pertanian, dan sektor lainnya yang menjadi sektor penyumbang kasus kecelakaan kerja. Tanpa adanya identifikasi dan analisis yang sistematis, pengendalian terhadap risiko sering kali menjadi tidak tepat sasaran, sehingga terjadi potensi bahaya tetap yang berisiko menimbulkan insiden bagi para pekerja (Prayoga et al., 2024).

Di dalam industri gula seperti industri gula milik PT Madubaru (PG-PS) Madukismo, salah satu departemen yang memiliki tingkat risiko tinggi adalah Departemen/Stasiun

Ketel (*Boiler Station*). Stasiun ini memiliki peran penting dalam menghasilkan uap yang nantinya digunakan dalam proses pengolahan gula serta energi pembangkit di pabrik. Proses pembakaran bahan bakar, penguapan air, serta pengendalian tekanan dan temperatur uap melibatkan berbagai peralatan bertekanan tinggi, seperti *drum boiler*, *economizer*, *heater*, dan turbin uap. Jika pengoperasiannya tidak dilakukan sesuai prosedur atau terjadi kegagalan sistem, maka dapat menimbulkan risiko atau bahaya serius seperti *overpressure*, ledakan, kebocoran uap, dan kebakaran. Oleh karenanya, Stasiun Ketel menjadi salah satu stasiun yang menyumbang kecelakaan kerja terbanyak di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo sehingga perlu penanganan khusus terhadap potensi bahaya atau risiko di stasiun tersebut.

Pemilihan Stasiun Ketel sebagai lokasi penelitian didasarkan pada perannya yang sangat krusial sebagai penyedia uap bagi seluruh rangkaian proses produksi. Setiap gangguan yang terjadi, meskipun bersifat minor, berpotensi menimbulkan dampak sistemik terhadap operasional pabrik, mulai dari penurunan kapasitas produksi hingga penghentian proses produksi secara keseluruhan. Selain itu, Stasiun Ketel memiliki karakteristik bahaya yang kompleks dan tingkat risiko K3 yang tinggi, seperti operasi pada suhu dan tekanan ekstrem, potensi ledakan ketel, paparan panas, debu, dan kebisingan, serta risiko luka bakar dan kegagalan peralatan. Kondisi tersebut menyebabkan konsekuensi kecelakaan yang ditimbulkan bersifat serius hingga fatal, sehingga menuntut adanya analisis risiko yang komprehensif.

Berbeda dengan stasiun lain yang sebagian besar menggunakan sistem tertutup, di Stasiun Ketel pekerja terpapar langsung oleh bahaya fisik, aktivitas pengawasan dan pekerjaan manual masih dominan, serta kesalahan operasional kecil, seperti ketidaksesuaian *water level* yang dapat berujung pada kecelakaan besar. Lebih lanjut, kegagalan pada Stasiun Ketel tidak hanya berdampak pada keselamatan pekerja, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan, tingginya biaya perbaikan, serta risiko terhadap keberlangsungan dan citra perusahaan. Oleh karenanya, risiko pada Stasiun Ketel bersifat tidak hanya teknis, tetapi juga strategis, sehingga menjadikannya lokasi yang sangat relevan dan mendesak untuk dilakukan penelitian keselamatan kerja.

Oleh karena itu, diperlukan metode analisis risiko yang mampu mengidentifikasi secara mendalam sumber-sumber bahaya yang berpotensi muncul di setiap tahapan operasional. Berbagai metode analisis risiko telah digunakan di dunia industri, seperti *Job Safety Analysis* (JSA), *Fault Tree Analysis* (FTA), dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) (Daniallabib & Apsari, 2024). Namun, metode-metode tersebut hanya menilai risiko berdasarkan kejadian yang telah diketahui atau berfokus pada satu komponen tertentu. Sementara itu, proses di Stasiun Ketel melibatkan sistem yang kompleks dan saling bergantung, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih menyeluruh dan terstruktur.

Metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP) merupakan salah satu metode yang efektif dalam melakukan analisis terhadap potensi bahaya pada sistem proses yang kompleks. HAZOP bekerja dengan cara mengidentifikasi penyimpangan (*deviation*) dari kondisi operasi normal berdasarkan parameter proses seperti tekanan, suhu, aliran, dan level (Andivas et al., 2024). Melalui analisis dengan metode ini, maka perusahaan dapat mengetahui penyebab, konsekuensi, serta langkah pengendalian yang dibutuhkan untuk meminimalkan risiko yang sewaktu-waktu dapat terjadi (Rayhan et al., 2023). Dengan demikian, hasil dari analisis HAZOP ini tidak hanya membantu dalam mengidentifikasi sumber atau potensi bahaya, tetapi juga dapat memberikan masukan yang relevan dalam peningkatan penerapan K3 di perusahaan, terutama PT Madubaru (PG-PS) Madukismo.

Selain identifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP, diperlukan metode yang mampu membantu dalam pengambilan keputusan secara objektif terhadap prioritas perbaikan yang harus dilakukan. Hal ini diperlukan karena temuan bahaya di dalam sebuah sistem operasi biasanya memiliki tingkat risiko, dampak, dan urgensi yang berbeda-beda. Oleh karena itu, penelitian ini menambahkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) sebagai alat untuk menentukan prioritas perbaikan berdasarkan kriteria-kriteria yang relevan, seperti tingkat keparahan, kemungkinan terjadinya, serta konsekuensi terhadap keselamatan dan keberlangsungan operasi. AHP (*Analytical Hierarchy Process*) merupakan salah satu metode dalam pengambilan keputusan untuk memecahkan permasalahan yang kompleks di mana terdapat banyak kriteria sehingga pemecahan masalah dapat diselesaikan dengan membentuk struktur hierarki, mulai dari

tujuan, kriteria, hingga alternatif sehingga dapat memberikan keputusan terbaik dengan menilai dan menentukan prioritas (Febryanto et al., 2023). Dengan menggabungkan metode AHP, proses penentuan tindakan mitigasi menjadi lebih jelas, terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan sehingga dapat diberikan rekomendasi perbaikan sesuai dengan risiko yang menjadi prioritas.

Namun, sebelum dilakukan pengambilan keputusan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), perlu terlebih dahulu diidentifikasi akar permasalahan (root cause) dari risiko atau potensi bahaya yang terklasifikasi memiliki tingkat risiko tinggi, seperti kategori *high*, *very high*, atau *extreme*. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang mampu mengidentifikasi akar permasalahan tersebut, yaitu *Fault Tree Analysis* (FTA). FTA merupakan metode analisis risiko yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab terjadinya suatu risiko atau potensi bahaya dengan memetakan hubungan logis antara kegagalan sistem, kesalahan manusia (*human error*), serta faktor lingkungan yang berkontribusi terhadap terjadinya kejadian tersebut. Tujuan penerapan FTA adalah untuk menentukan akar permasalahan, mengidentifikasi jalur kegagalan, serta menjadi dasar dalam penentuan alternatif pengendalian maupun prioritas perbaikan (Daniallabib & Apsari, 2024). Hasil analisis FTA berupa akar permasalahan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan alternatif pengendalian yang kemudian diprioritaskan menggunakan metode AHP.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka penelitian ini penting dilakukan untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi bahaya atau risiko yang dapat terjadi menggunakan metode HAZOP di Stasiun Ketel PT Madubaru (PG-PS) Madukismo sebagai bentuk upaya dalam meningkatkan efektivitas penerapan K3. Oleh karena itu, melalui penelitian ini diharapkan perusahaan mampu memperoleh rekomendasi perbaikan sistem keselamatan kerja yang lebih spesifik sehingga dapat mencegah kecelakaan kerja serta menjaga keberlangsungan operasional secara aman dan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang di atas, maka penelitian ini merumuskan fokus kajian pada tiga aspek utama, yaitu mengidentifikasi

dan menganalisis deviasi operasional di Stasiun Ketel menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP), mengidentifikasi akar penyebab (*root cause*) kecelakaan dengan *Fault Tree Analysis* (FTA), mengevaluasi kondisi penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang saat ini diterapkan di Stasiun Ketel PT Madubaru (PG–PS) Madukismo, serta menyusun rekomendasi perbaikan sistem keselamatan kerja berdasarkan hasil evaluasi skala prioritas risiko melalui HAZOP, analisis *root cause* dengan FTA, dan pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Berikut merupakan rumusan masalah yang disesuaikan dengan penelitian ini, sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil identifikasi dan analisis deviasi operasional menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP) dan identifikasi *root cause* dengan FTA di Stasiun Ketel?
2. Bagaimana kondisi penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Stasiun Ketel PT Madubaru (PG-PS) Madukismo saat ini?
3. Apa rekomendasi perbaikan sistem keselamatan kerja yang dapat diberikan berdasarkan hasil evaluasi skala prioritas HAZOP, identifikasi *root cause* dengan FTA, dan hasil pembobotan AHP di Stasiun Ketel?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah:

1. Mengidentifikasi dan menganalisis deviasi operasional menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP) dan identifikasi *root cause* dengan FTA di Stasiun Ketel.
2. Menganalisis penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Stasiun Ketel PT Madubaru (PG-PS) Madukismo saat ini.
3. Memberikan rekomendasi perbaikan sistem keselamatan kerja yang dapat diberikan berdasarkan hasil evaluasi skala prioritas HAZOP, identifikasi *root cause* dengan FTA, dan hasil pembobotan AHP di Stasiun Ketel.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat penelitian bagi perusahaan dan juga akademik:

1. Bagi peneliti, penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan pengetahuan serta kemampuan dalam pengaplikasian keilmuan yang telah diperoleh di perkuliahan ke dalam dunia nyata atau industri sehingga ilmu yang didapatkan dapat dirasakan secara langsung manfaatnya, terutama dalam penerapan metode HAZOP, FTA, dan AHP.
2. Bagi instansi atau perusahaan, penelitian ini diharapkan mampu menjadi bahan evaluasi dan pertimbangan manajemen dalam memperbaiki serta meningkatkan penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Stasiun Ketel serta perusahaan dalam mengidentifikasi potensi bahaya secara sistematis menggunakan metode HAZOP sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan sebelum terjadi kecelakaan kerja.
3. Bagi akademik, penelitian ini dapat dijadikan referensi ilmiah dalam pengembangan penelitian di bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), khususnya terkait penerapan metode HAZOP, FTA, dan AHP serta mendorong peneliti untuk mengembangkan pendekatan analisis risiko yang lebih menyeluruh dan terintegrasi dengan sistem manajemen keselamatan di berbagai sektor industri.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan penelitian ini:

1. Penelitian dilakukan di Stasiun Ketel (*Boiler Station*) PT PT Madubaru (PG-PS) Madukismo.
2. Pengambilan data dilakukan pada bulan November 2025 – Desember 2025
3. Penelitian hanya berfokus pada identifikasi dan juga analisis potensi atau risiko bahaya menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP), analisis *root cause* dengan FTA, serta menentukan perbaikan prioritas menggunakan AHP.
4. Berdasarkan hasil dari identifikasi dan analisis HAZOP serta analisis *root cause* menggunakan FTA, maka penentuan rekomendasi dilakukan menggunakan

metode AHP mengacu pada alternatif pengendalian terpilih dalam upaya peningkatan penerapan K3 di Stasiun Ketel (*Boiler Station*) PT Madubaru (PG-PS) Madukismo.

1.6 Sistematika Penelitian

Berikut ini merupakan sistematika penelitian:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini akan menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan juga batasan penelitian

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan membahas dasar-dasar teori, konsep, dan juga penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik yang diangkat.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini akan memberikan penjelasan mengenai alur penelitian, metode atau pendekatan yang digunakan, lokasi, waktu, jenis data, serta teknik pengumpulan data

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini akan membahas bagaimana data yang telah diperoleh sebelumnya diolah menggunakan metode yang dipilih dan dijabarkan dalam bentuk gambar atau tabel.

BAB V : PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya. Dari hasil pengolahan data tersebut nantinya akan diberikan rekomendasi terhadap permasalahan yang terjadi.

BAB VI : PENUTUP

Bab ini akan memberikan jawaban terhadap tujuan penelitian, yaitu kesimpulan dan juga memberikan saran yang sesuai dengan penelitian yang diangkat.

DAFTAR	Berisi lampiran atau informasi mengenai jurnal, buku, atau dokumen yang digunakan sebagai referensi pada penelitian sesuai topik yang diangkat.
PUSTAKA	
LAMPIRAN	Berisi data, dokumentasi, hasil, dan sebagainya yang menjadi bukti penelitian tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur merupakan suatu proses di dalam menelusuri informasi serta pengetahuan yang sudah ada dari penelitian sebelumnya dari berbagai sumber, seperti jurnal, buku, dan dokumen pendukung lainnya untuk membantu peneliti dalam melakukan penelitiannya. Berikut merupakan kajian literatur dalam bentuk kajian empiris atau rangkuman jurnal yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini di mana jurnal yang digunakan berdasarkan metode yang digunakan:

Pada jurnal yang ditulis oleh Purwanto et al., (2023), peneliti melakukan penelitian terhadap risiko K3 di pelabuhan dengan metode HAZOP bertujuan untuk mengidentifikasi, memberikan penilaian dan mengatasi faktor-faktor resiko K3 pada pelaksanaan proses bongkar muat. Berdasarkan penilaian pada *Risk Matriks*, terdapat 3 (tiga) tingkatan level risiko yang berpotensi menimbulkan bahaya kerja. Tingkat risiko tersebut terdiri dari risiko tinggi, risiko sedang, risiko rendah. Dari penelitian ini tidak terdapat sumber hazard yang bernilai “ekstrem, 2 (dua) sumber *hazard* yang memiliki nilai “risiko tinggi” terdapat pada “menempatkan *crane*, dan pemuatan dan pembongkaran, 4 (empat) sumber hazard yang memiliki nilai “risiko sedang” terdapat pada “Menyiapkan peralatan bongkar muat, Memasang *sling* dan *Hook* ke *Hook crane*, Pekerja masuk kedalam tongkang, dan Mengarahkan truk pengangkut” dan 1 (satu) sumber hazard yang memiliki nilai “risiko rendah” terdapat pada “ Memasang *sling* dan *Hook* ke *Hook crane* ”.

Pada jurnal yang ditulis oleh Shini et al. (2024), peneliti melakukan penelitian terhadap risiko K3 di industri konstruksi. Penelitian ini dilakukan dalam rangka mengatasi permasalahan alokasi sumber daya K3 melalui analisis akar penyebab kecelakaan berbasis model 5M (*medium, mission, man, management, machinery*). Berdasarkan hasil analisis tersebut, peneliti melakukan pengembangan dengan pendekatan baru untuk menentukan alokasi sumber daya K3 yang lebih efektif dengan dukungan teknologi. Beberapa alternatif alokasi disusun dan diprioritaskan melalui kriteria yang

mempertimbangkan risiko dan biaya. Metode AHP digunakan untuk menentukan alternatif paling optimal. Model ini kemudian diuji melalui dua studi kasus. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat keberanian atau penghindaran risiko sangat memengaruhi keputusan alokasi sumber daya K3. Temuan lainnya menyarankan bahwa kebijakan keselamatan perlu meningkatkan motivasi manajemen risiko dalam pengambilan keputusan perusahaan konstruksi.

Pada jurnal yang ditulis oleh Kosolsaksakul & Ketsakorn, (2025), peneliti melakukan penelitian mengenai identifikasi risiko K3 pada industri manufaktur menggunakan pendekatan AHP. Penelitian ini berlangsung pada Agustus hingga September 2023. Pengumpulan data dilakukan menggunakan kuesioner standar yang berkaitan dengan persyaratan ISO 45001 serta tambahan persyaratan berdasarkan opini para ahli. Teknik *Delphi* dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) digunakan dalam analisis data. Hasil menunjukkan bahwa “kepemimpinan dan partisipasi pekerja” memiliki bobot kepentingan tertinggi (0.254), sedangkan “evaluasi kinerja” paling rendah (0.076). Penelitian juga menemukan sembilan persyaratan tambahan penting di luar ISO 45001, seperti persaingan pasar, pengembangan keselamatan produk, biaya produk, penggunaan mesin modern, pengalaman kerja, alokasi anggaran keselamatan, fungsi pengawasan, kepatuhan hukum, dan kontrol bahaya. Rekomendasi dari penelitian ini adalah memprioritaskan persyaratan ISO 45001 membantu implementasi sistem K3 menjadi lebih terarah. Penambahan persyaratan baru yang relevan juga memperkuat perlindungan keselamatan pekerja.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Riyadi & Ratnasari, (2024), peneliti melakukan penelitian terkait manajemen K3 di sektor energi/pertambangan menggunakan pendekatan AHP, FMEA, BTA, dan TOPSIS untuk menentukan strategi mitigasi risiko yang paling sesuai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas penanganan gangguan merupakan pekerjaan dengan risiko tertinggi, dengan 14 jenis risiko yang teridentifikasi, mencakup 7 risiko tinggi, 4 risiko sedang, dan 3 risiko rendah. Sebanyak 79 mitigasi dinilai sudah berjalan efektif, sementara 127 mitigasi lainnya harus diprioritaskan. Mitigasi paling penting yang harus segera diterapkan meliputi penggunaan volt detector, inspeksi kendaraan rutin, pemasangan rambu peringatan, integrasi SCADA, pemeriksaan

tangga panjat, pemasangan grounding, serta penggunaan APD. Dengan mitigasi yang tepat sasaran, perusahaan berpotensi mencapai tingkat keselamatan optimal dan *zero accident*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mubarak et al., (2024), peneliti melakukan penelitian terhadap kendala dalam menentukan *supplier* kabel fiber optik karena proses evaluasi yang masih bersifat subjektif dan terlalu berfokus pada dua aspek utama, yaitu harga dan kualitas produk di PT Prima Akses Solusi Global. Penelitian ini menerapkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode ini digunakan untuk menilai serta menentukan bobot prioritas dari lima kriteria utama, yaitu pengiriman, kualitas, layanan, harga, dan pembayaran. Data diperoleh melalui kuesioner dan dianalisis menggunakan pendekatan perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*).

Hasil analisis menunjukkan bahwa kriteria pengiriman dan kualitas menjadi faktor yang paling menentukan dalam pemilihan supplier. Dari tiga kandidat, PT Fiberhome memperoleh nilai prioritas tertinggi (0,417), disusul PT Voksel (0,323), dan PT Furukawa (0,260). Penggunaan AHP terbukti meningkatkan ketepatan dan konsistensi dalam proses evaluasi supplier. Meskipun penelitian ini terbatas pada pemilihan supplier kabel fiber optik di PT Prima Akses Solusi Global, penerapan AHP direkomendasikan untuk digunakan secara berkelanjutan.

Pada jurnal yang ditulis oleh Luchmanandri & Hendrasarie, (2023), peneliti melakukan penelitian terhadap risiko K3 di *conveyor body preparation* pada Industri Keramik Mojokerto menggunakan metode HAZOP. Penelitian dilakukan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan para pekerja, kemudian data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 18% risiko ekstrem, 18% risiko sedang, dan 64% risiko tinggi. Risiko ekstrem dengan nilai 15 ditemukan pada aktivitas pembersihan *feeder box machine*, pengoperasian *conveyor*, serta pengoperasian panel. Langkah pengendalian yang dapat diterapkan adalah dengan mempertegas penggunaan alat pelindung diri (APD), yang kemudian diikuti dengan penerapan pengendalian teknis maupun pengendalian administratif bagi para pekerja untuk meminimalkan risiko tersebut.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Suryadi et al., (2023), peneliti melakukan penelitian mengenai potensi risiko atau bahaya kecelakaan kerja yang terjadi di area mesin boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang dinilai masuk kategori tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi bahaya kecelakaan kerja di area mesin boiler PLTU pada perusahaan tersebut. Analisis potensi bahaya dilakukan dengan menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP). Diharapkan dengan penerapan metode HAZOP, peneliti dapat mengidentifikasi potensi bahaya beserta cara penanggulangannya guna meminimalkan risiko kecelakaan kerja. Metode ini memiliki keunggulan karena proses analisis dilakukan secara sistematis, hasil yang diperoleh lebih rinci dibandingkan metode lain, serta dapat diterapkan pada berbagai sistem kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 12 potensi bahaya kecelakaan kerja di perusahaan pembangkit listrik tersebut. Jenis potensi bahaya tersebut antara lain gangguan pendengaran (25%), luka bakar (17%), terpeleset (9%), sesak napas (9%), dehidrasi (8%), sengatan listrik (8%), terjepit (8%), kebakaran (8%), dan korosi (8%).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan et al., (2024), peneliti melakukan penelitian mengenai risiko K3 yang dapat terjadi di PT Surya Marga Luhur di mana perusahaan tersebut merupakan perusahaan yang bergerak di bidang jasa mekanikal dan elektrik, di mana meliputi layanan *Mechanical Works*, *Electrical Works*, serta *HVAC Maintenance*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis kecelakaan kerja yang paling sering terjadi pada layanan pekerjaan mekanikal. Metode Hazard and Operability Study (HAZOP) digunakan untuk meninjau secara sistematis suatu proses atau operasi dalam sistem guna mengidentifikasi apakah terdapat penyimpangan proses yang dapat menyebabkan kejadian yang tidak diinginkan atau kecelakaan kerja. Sepanjang tahun 2023, tercatat 7 kejadian kecelakaan kerja yang berdampak pada pekerja. Jenis kecelakaan tersebut meliputi percikan pada mata, luka tusuk, luka sayat, patah tulang, kombinasi luka sayat dan patah tulang, serta memar pada kaki. Dari seluruh kejadian tersebut, luka sayat dan patah tulang merupakan jenis kecelakaan yang paling sering terjadi, dengan nilai penilaian risiko sebesar 12, yang termasuk dalam kategori risiko ekstrem. Untuk menekan angka kecelakaan kerja tersebut, perusahaan menegaskan

pentingnya disiplin dalam penggunaan alat pelindung diri (APD) serta kepatuhan terhadap standar operasional prosedur (SOP) yang telah ditetapkan oleh tim K3 dan HSE.

Jurnal yang ditulis oleh Arizqi, (2023) membahas mengenai risiko K3 yang dapat terjadi di area *boiler* PT Pertamina Aset 4 Cepu. Area boiler menjadi salah satu bagian dengan tingkat potensi bahaya yang cukup tinggi, sehingga dilakukan identifikasi bahaya guna meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di area tersebut dengan menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP). Berdasarkan hasil identifikasi pada proses pengoperasian sistem boiler, diperoleh empat node utama, yaitu *sand filter*, *softener*, *deaerator*, dan *steam drum boiler*. Hasil penilaian risiko menunjukkan adanya tiga kategori tingkat risiko, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, di mana risiko tertinggi terdapat pada node *steam drum dengan parameter pressure, level, dan temperature*. Adapun rekomendasi yang diberikan untuk meminimalkan risiko tersebut meliputi penggunaan alat pelindung diri (APD) bagi operator, pengendalian level air yang masuk ke dalam steam drum melalui *by-pass valve*, pembuangan sebagian air menggunakan *blow down valve*, pelaksanaan *predictive maintenance* pada *pressure controller*, serta pemasangan *safety alarm* sebagai sistem peringatan dini.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Keerthivasan & Ilangkumaran, (2024), peneliti melakukan penelitian mengenai risiko K3 di pabrik ketel/*boiler plant* menggunakan pendekatan HAZOP berbasis *fuzzy* untuk melakukan analisis risiko proses. Teori *fuzzy* diterapkan guna merepresentasikan kondisi ketidakpastian, dan metode ini terbukti efektif dalam mengatasi keterbatasan yang ada pada analisis HAZOP konvensional. Berbeda dengan logika klasik, logika *fuzzy* mampu menghasilkan nilai risiko yang beragam berdasarkan tingkat keanggotaan (*membership function*). Dalam penerapannya, penelitian ini memilih parameter proses dan pedoman tertentu untuk menggambarkan frekuensi serta dampak kecelakaan. Analisis risiko kemudian dilakukan dengan pemodelan *fuzzy*, yang menghitung tingkat risiko melalui hubungan antar variabel kecelakaan menggunakan metode *trapezoidal fuzzy number* serta pendekatan *mean expected value*. Tujuan utama dari penerapan HAZOP berbasis *fuzzy* maupun konvensional adalah untuk mengidentifikasi serta mengevaluasi potensi bahaya pada sistem boiler plant, dengan fokus utama pada frekuensi risiko. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa metode HAZOP berbasis *fuzzy* memberikan hasil penilaian risiko yang lebih detail dan akurat dibandingkan metode konvensional. Selain itu, matriks risiko *fuzzy* mampu menggambarkan tingkat prioritas risiko, risiko yang tidak signifikan, serta kebutuhan untuk melakukan tindakan mitigasi atau pengendalian risiko.

Pada penelitian yang ditulis oleh Panudju et al., (2024), para peneliti melakukan kajian mengenai penerapan SMK3 di PT Mega Andalan Kalasan Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui identifikasi potensi kegagalan pada air knocker, menilai tingkat risikonya menggunakan metode *Fuzzy* FMEA, serta mengoptimalkan pengambilan keputusan melalui pendekatan AHP. Penelitian ini didasarkan pada teori-teori mengenai pemeliharaan, *Fuzzy* FMEA, dan AHP. Metode penelitian yang digunakan meliputi tinjauan literatur, analisis data, dan pemanfaatan perangkat lunak Expert Choice untuk menghitung bobot serta peringkat sesuai kriteria relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi metode *Fuzzy* FMEA dan AHP efektif dalam mengidentifikasi potensi kegagalan, menilai risiko secara lebih akurat, serta menentukan prioritas tindakan perbaikan yang optimal dalam sistem pemeliharaan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi kedua metode tersebut dapat meningkatkan manajemen risiko dan pengambilan keputusan dalam kegiatan pemeliharaan. Strategi ini membantu organisasi dalam meminimalkan risiko kegagalan, meningkatkan efisiensi, serta memenuhi kebutuhan proses secara lebih efektif. Metode tersebut juga memungkinkan analisis risiko yang lebih komprehensif, pengelolaan ketidakpastian yang lebih baik, dan peningkatan kualitas keputusan terkait risiko pada operasi *air knocker*.

Pada jurnal yang ditulis oleh Mulyana et al. (2022), peneliti melakukan penelitian mengenai identifikasi cacat produk yang berdampak pada peningkatan biaya produksi serta menurunnya tingkat kepuasan pelanggan di KOP Corp menggunakan pendekatan atau metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi serta menganalisis akar penyebab permasalahan yang terjadi. Metode FMEA digunakan untuk menentukan prioritas sumber permasalahan berdasarkan tingkat risikonya, sedangkan metode FTA digunakan untuk menelusuri penyebab utama dari kegagalan tersebut.

Berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN), diperoleh tiga mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi, yaitu cacat hasil cetak, warna yang tidak sesuai standar, serta cacat pada gambar. Selanjutnya, metode FTA digunakan untuk menganalisis akar penyebab dari ketiga mode kegagalan tersebut. Melalui penyusunan diagram *Fault Tree* dan penentuan *minimum cut set*, penelitian ini merekomendasikan beberapa upaya perbaikan, antara lain sosialisasi penerapan rencana pengambilan sampel yang baik, perancangan program pelatihan bagi pekerja, pengembangan *Quality Control Circle*, serta pemilihan pemasok yang berkualitas.

Pada jurnal yang ditulis oleh Pyakurel & Adhikari, (2025), para peneliti melakukan penelitian mengenai proyek pembangunan dan infrastruktur berskala besar di Nepal di mana salah satu tantangan utama bagi manajer proyek adalah mengidentifikasi serta menilai risiko yang dapat memengaruhi penyelesaian proyek. Risiko-risiko tersebut perlu dikenali dan dianalisis dengan menggunakan metode dan teknik yang tepat pada tahap perencanaan, konstruksi, hingga pengawasan. penelitian ini menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan prioritas risiko. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kategori risiko paling dominan adalah risiko geoteknik (26,04%), disusul oleh risiko bahaya alam (15,44%) dan risiko keselamatan (15,13%). Faktor-faktor utamanya mencakup *tunnel squeezing*, runtuhannya massa batuan, rembesan air, keruntuhan portal, serta ancaman bencana alam seperti longsor, kebakaran, dan gempa bumi. Risiko terkait keselamatan terutama berkaitan dengan kondisi ruang terbatas pada pekerjaan terowongan, paparan gas berbahaya dari aktivitas peledakan, serta potensi pekerja tertimpa peralatan berat. Temuan penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada perencanaan yang lebih baik serta pelaksanaan konstruksi berbagai jenis terowongan di Nepal.

Pada jurnal yang ditulis oleh Irawan et al., (2022), para peneliti melakukan penelitian mengenai risiko atau bahaya K3 dalam operasional Sistem *gas turbine cogeneration* atau pembangkit listrik tenaga panas gabungan (*combined heat and power/CHP*). Analisis risiko menyeluruh dilakukan dengan metode gabungan HAZOP, LOPA, dan SIL. Tahapan analisis dimulai dari identifikasi bahaya (*hazard identification*) yang kemudian dilanjutkan dengan analisis HAZOP. Dari hasil analisis diperoleh 23 skenario deviasi

dengan tingkat risiko dapat diterima, 20 skenario dengan risiko signifikan, dan 1 skenario dengan risiko tinggi. Hasil analisis gabungan HAZOP dan LOPA menunjukkan bahwa penambahan sistem pengaman (*safeguard*) pada skenario risiko menengah dan tinggi tidak diperlukan, karena frekuensi kejadian awal (*initiating event frequency*) masih lebih kecil dibandingkan target mitigasi yang diharapkan. Namun, berdasarkan kombinasi analisis HAZOP dan SIL, peningkatan tingkat integritas keselamatan (*Safety Integrity Level/SIL*) tetap direkomendasikan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rahma & Hasanudin, (2023), para peneliti melakukan penelitian mengenai risiko dan potensi bahaya K3 yang dapat terjadi di PT PJB UBJOM dan PLTU Pacitan merupakan pembangkit listrik tenaga uap (*Steam Power Plant*) yang memanfaatkan energi uap untuk menghasilkan listrik. Proses ini menggunakan boiler berbahan bakar batubara untuk memanaskan air sehingga menghasilkan uap bertekanan dan bertemperatur tinggi yang kemudian digunakan untuk memutar turbin. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penilaian risiko (*risk assessment*) pada sistem boiler menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP).

Selain itu, penelitian juga menerapkan matriks risiko (*risk matrix*) untuk mengukur dan mengelompokkan tingkat kemungkinan (*likelihood*) dan keparahan (*severity*) dari setiap deviasi yang terjadi. Matriks risiko yang digunakan terdiri dari 5 kategori kemungkinan dan 5 kategori keparahan, yang kemudian diklasifikasikan menjadi empat tingkat penilaian risiko berdasarkan standar PT PJB. Berdasarkan hasil analisis HAZOP pada sistem boiler PT PJB, ditemukan dua node dengan tingkat risiko sangat tinggi (*extremely high risk*), yaitu kerusakan pompa air umpan (*feed water pump*) pada pengaturan air umpan menuju steam drum, dan kerusakan katup pengaman (*safety valve*) pada tekanan uap di steam drum. Kedua kondisi tersebut berpotensi menyebabkan penurunan level air (*low water level*) dan terjadinya *boiler trip*. Sebagai langkah pengendalian, PT PJB telah menerapkan beberapa tindakan mitigasi, diantaranya perbaikan atau penggantian pompa, pemasangan sensor aliran air umpan, sensor level *steam drum*, pemeriksaan serta perbaikan *safety valve*, pemeriksaan kebocoran, kalibrasi sensor level dan tekanan, serta sertifikasi katup pengaman (*safety valve certification*).

Pada jurnal yang ditulis oleh Suprpto & Donoriyanto (2024), peneliti melakukan analisis terhadap permasalahan berupa tidak terkendalinya jumlah produk cacat, dengan total mencapai 1.542 pasang sepatu *upper* yang tidak memenuhi standar kualitas. Untuk mengidentifikasi akar permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat sembilan faktor utama yang menjadi penyebab terjadinya cacat produk. Berdasarkan temuan tersebut, rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan antara lain dengan melaksanakan pelatihan dan evaluasi secara berkala guna meningkatkan keterampilan pekerja, khususnya dalam proses penjahitan, sehingga kesalahan produksi dapat diminimalkan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Imamah & Rochmoeljati (2025), peneliti melakukan identifikasi dan analisis terhadap permasalahan pada hasil pengujian produksi gula kristal putih, yaitu ditemukannya produk yang tidak memenuhi persyaratan mutu gula kristal putih sesuai dengan SNI 3140-3:2020 di PT XYZ. Jenis cacat yang terjadi meliputi kadar air gula, warna larutan gula, ukuran butiran, serta keseragaman kristal gula. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Berdasarkan perhitungan menggunakan metode FTA, diperoleh nilai probabilitas untuk masing-masing jenis cacat, yaitu cacat ukuran butiran besar sebesar 0,000657%, cacat kadar air sebesar 0,000889%, cacat warna sebesar 0,001597%, dan cacat ketidakseragaman kristal gula sebesar 0,000662%.

Hasil analisis menggunakan metode FMEA menunjukkan bahwa cacat ukuran butiran besar memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 120 dengan kategori risiko tinggi. Cacat ukuran butiran besar menyebabkan gula kristal putih tidak sesuai dengan spesifikasi pasar serta memiliki waktu pelarutan yang lebih lambat. Selanjutnya, cacat kadar air menempati peringkat kedua dengan nilai RPN sebesar 112 yang termasuk dalam kategori risiko sedang. Oleh karena itu, pengendalian kualitas perlu dilakukan secara rutin dan berkelanjutan agar dapat menjadi dasar bagi pelaksanaan perbaikan mutu secara terus-menerus di masa mendatang.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Umroh & Ilham (2025), peneliti melakukan identifikasi bahaya, penilaian risiko, serta penentuan langkah pengendalian terhadap K3 di Bengkel Bolot Motor yang merupakan usaha jasa perawatan sepeda motor yang

melibatkan penggunaan berbagai mesin dan peralatan kerja, sehingga memiliki potensi risiko kecelakaan kerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menilai risiko kecelakaan kerja serta menyusun rekomendasi pengendalian risiko guna meningkatkan penerapan K3. *Metode Hazard and Operability Study (HAZOP)* digunakan sebagai pendekatan analisis dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi kecelakaan kerja di Bengkel Bolot Motor terbagi ke dalam tiga kategori risiko, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Rekomendasi perbaikan yang diajukan antara lain peningkatan kualitas pencahayaan, kelengkapan alat pelindung diri (APD), serta peningkatan kepatuhan pekerja dalam penggunaan APD.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Namangge et al. (2025), peneliti melakukan identifikasi terhadap risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada perusahaan bongkar muat, yaitu PT Equiport Inti Indonesia Bitung Container Terminal, sebagai anak perusahaan PT Pelabuhan Indonesia IV (Persero) yang menjalankan kegiatan penyediaan, pengoperasian, dan perawatan peralatan bongkar muat yang memiliki potensi bahaya tinggi terhadap keselamatan pekerja. dengan menggunakan metode *Hazard and Operability Study (HAZOP)*. Dalam upaya pengendalian risiko keselamatan kerja, dilakukan analisis awal terhadap kemungkinan terjadinya penyimpangan bahaya melalui penerapan metode HAZOP.

Penerapan metode HAZOP dilakukan untuk mengidentifikasi kemungkinan terjadinya deviasi bahaya sebagai dasar dalam pengendalian risiko keselamatan kerja. Hasil analisis risiko menunjukkan adanya berbagai potensi bahaya dengan tingkat risiko yang bervariasi. Terdapat enam potensi bahaya dengan kategori risiko rendah, meliputi risiko terpeleset, paparan panas berlebih, terjepit komponen *spreader*, iritasi mata akibat percikan las, tertusuk *wire rope* berkarat, serta paparan percikan logam. Selain itu, ditemukan dua potensi bahaya dengan tingkat risiko sedang, yaitu risiko terpeleset dan sengatan listrik. Sementara itu, potensi bahaya dengan tingkat risiko tinggi berjumlah empat, yang meliputi risiko jatuh dari ketinggian serta risiko tertabrak atau bertabrakan dengan unit peralatan lainnya.

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

Penulis	Objek				Metode						
	Manufaktur	Konstruksi	Pelabuhan	Energi/Pertambangan	HAZOP	AHP	FMEA	Fuzzy	LOPA	SIL	FTA
Purwanto et al., (2023)			√		√						
Shini et al. (2024)		√				√	√				
Kosolsaksakul & Ketsakorn, (2025)	√					√					
Riyadi & Ratnasari, (2024)				√		√					

Penulis	Objek				Metode						
	Manufaktur	Konstruksi	Pelabuhan	Energi/Pertambangan	HAZOP	AHP	FMEA	Fuzzy	LOPA	SIL	FTA
Mubarok et al., (2024)	√					√					
Luchmanandri & Hendrasarie, (2023)	√				√						
Suryadi et al., (2023)				√	√						
Ramadhan et al., (2024)	√				√						
Arizqi, (2023)				√	√			√			

Penulis	Objek				Metode						
	Manufaktur	Konstruksi	Pelabuhan	Energi/Pertambangan	HAZOP	AHP	FMEA	Fuzzy	LOPA	SIL	FTA
Keerthivasan & Ilangkumaran, (2024)	√				√			√			
Panudju et al., (2024)	√					√	√	√			
Mulyana et al. (2022)	√						√				√
Pyakurel & Adhikari, (2025)		√				√					
Irawan et al., (2022)				√	√				√	√	

Penulis	Objek				Metode						
	Manufaktur	Konstruksi	Pelabuhan	Energi/Pertambangan	HAZOP	AHP	FMEA	Fuzzy	LOPA	SIL	FTA
Rahma & Hasanudin, (2023)	√				√						
Suprpto & Donoriyanto (2024)	√										√
Imamah & Rochmoeljati (2025)	√						√				√
Umroh & Ilham (2025)	√				√						
Namangge et al. (2025)			√		√						

Pada Tabel 2.1, dapat dilihat terdapat 19 jurnal yang digunakan di dalam penelitian ini, di mana 14 jurnal merupakan jurnal internasional dan 5 jurnal merupakan jurnal nasional. Terdapat beberapa objek penelitian yang digunakan di dalam pada jurnal di atas, yaitu manufaktur, konstruksi, pelabuhan, dan juga energi/pertambangan. Metode yang digunakan dalam jurnal di atas adalah, seperti HAZOP, AHP, FMEA, *Fuzzy*, LOPA, SIL, dan FTA.

2.2 Landasan Teori

Berikut merupakan landasan teori yang berkaitan dengan topik atau metode yang digunakan di dalam penelitian ini:

1. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) adalah sebuah tindakan yang dilakukan untuk menjamin dan melindungi keselamatan serta kesehatan pekerja melalui upaya pencegahan kecelakaan dan penyakit yang ditimbulkan akibat kerja. Tujuan dari K3 sendiri adalah mencegah terjadinya kecelakaan kerja dan juga penyakit akibat kerja (PAK), menjamin pekerja terlindungi secara fisik maupun mental, menjaga keamanan setiap peralatan dan lingkungan kerja, serta meningkatkan produktivitas dan efisiensi bagi perusahaan (Saputra & Mahaputra, 2022). K3 secara resmi telah diatur oleh pemerintah melalui Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 mengenai Keselamatan Kerja. Undang-undang ini digunakan sebagai landasan utama bagi peraturan yang berkaitan dengan K3 serta turunannya dan berlaku di berbagai sektor industri.

2. *Hazard and Operability Study* (HAZOP)

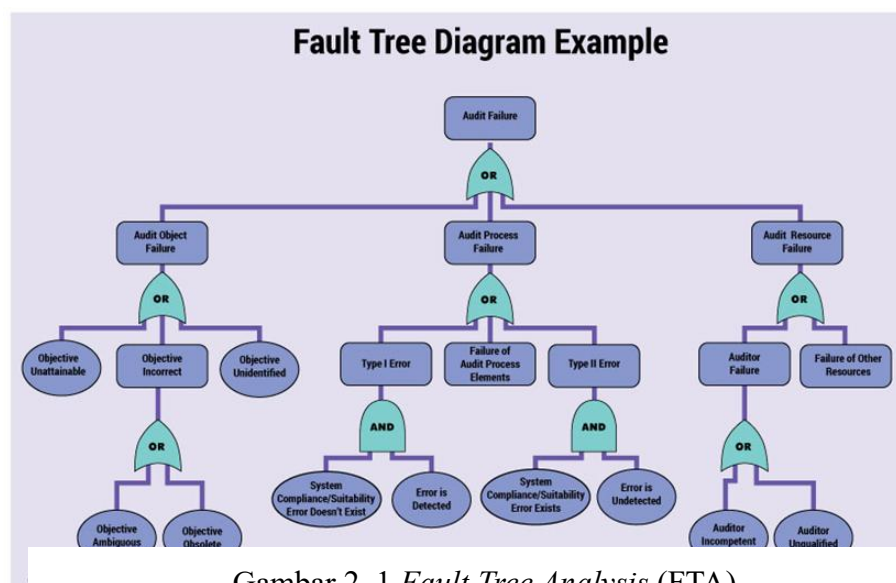
HAZOP atau *Hazard and Operability Study* merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menganalisis risiko atau potensi bahaya yang terjadi di dalam operabilitas di dalam suatu sistem proses yang ada di industri. Metode ini diterapkan dengan bantuan *guide words*, seperti *no/not*, *more*, *less*, *other than*, *reverse*, dan lain sebagainya dalam hal menganalisis deviasi atau penyimpangan dari kondisi normal saat operasi (Andivas et al., 2024). Tujuan dari metode HAZOP sendiri adalah untuk mengidentifikasi bahaya, identifikasi masalah operabilitas, evaluasi pengaman, dan juga memberikan rekomendasi terhadap risiko yang teridentifikasi (Novitrie et al., 2023). Berikut merupakan Tabel 2.2 yang merupakan tabel yang digunakan dalam identifikasi bahaya menggunakan HAZOP:

Tabel 2. 2 HAZOP

No	Node	Parameter	Deviasi (Guided Words)	Penyebab	Akibat	Safeguard
1						
2						
3						

3. Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah sebuah metode analisis risiko yang digunakan untuk mengidentifikasi akar permasalahan (*root cause*) dari sebuah kejadian yang tidak diinginkan/diharapkan (*top event*) melalui pendekatan deduktif (*top-down*) di mana metode ini memetakan hubungan sebab–akibat antara kegagalan sistem, kesalahan manusia, serta faktor perusahaan atau lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan atau kegagalan sistem (Saputra & Yuamita, 2023). FTA umumnya disajikan dalam bentuk diagram pohon kesalahan, yang menunjukkan bagaimana berbagai faktor dapat berkontribusi terhadap terjadinya suatu kejadian di mana FTA bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab terjadinya kecelakaan atau kegagalan sistem, menganalisis hubungan logis antar penyebab kegagalan, serta menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi

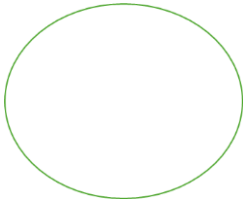
Gambar 2. 1 *Fault Tree Analysis* (FTA)

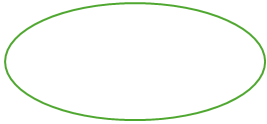
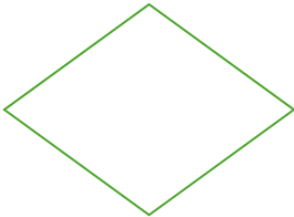
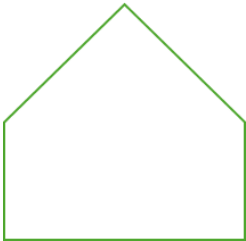
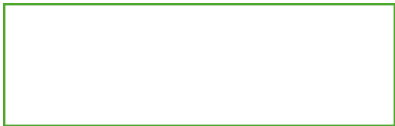
pengendalian risiko yang sesuai dan tepat sasaran (Ghozali & Putra, 2025). Berikut merupakan Gambar 2.1 yang merupakan contoh dari FTA:

Dalam melakukan analisis *root cause* terhadap suatu permasalahan menggunakan FTA, maka terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Berikut merupakan tahapan dalam penerapan metode FTA dan simbol FTA yang disajikan dalam Tabel 2.3 dan Tabel 2.4:

1. Penentuan *Top Event*
Menentukan kejadian yang tidak diinginkan, semisal kecelakaan kerja atau kegagalan alat yang menjadi prioritas perbaikan.
2. Identifikasi Penyebab Langsung
Menguraikan *top event* menjadi penyebab utama seperti kesalahan manusia, kegagalan mesin, atau faktor lingkungan.
3. Penyusunan *Fault Tree*
Menyusun diagram pohon kesalahan dengan menghubungkan penyebab menggunakan gerbang logika AND/OR.
4. Identifikasi *Basic Event* dan *Root Cause*
Menentukan akar penyebab kecelakaan pada level teknis, manusia, atau manajemen perusahaan.
5. Analisis
Menentukan faktor dominan yang paling berkontribusi terhadap terjadinya kejadian.

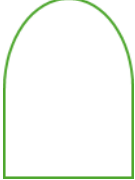
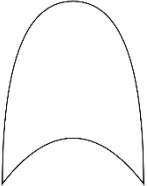
Tabel 2. 3 *Event Symbol*

<i>Event Symbol</i>	Nama	Keterangan
	<i>Basic Event</i>	Akar penyebab paling dasar dari suatu kegagalan atau permasalahan yang tidak perlu dianalisis lebih lanjut.

<i>Event Symbol</i>	<i>Nama</i>	<i>Keterangan</i>
	<i>Conditioning Event</i>	Kondisi khusus atau pembatasan yang harus terpenuhi agar suatu gerbang logika (seperti <i>Priority AND gate</i>) dapat menghasilkan <i>output</i> . Ini menunjukkan aspek probabilitas atau situasi tertentu.
	<i>Undevelop Event</i>	Suatu kejadian yang tidak dianalisis lebih lanjut, baik karena informasinya tidak cukup, dampaknya dianggap kecil, atau memang tidak menjadi fokus dalam studi tersebut.
	<i>External/House</i>	Kejadian yang pasti terjadi atau pasti tidak terjadi karena pengaruh lingkungan luar atau status sistem saat itu (kondisi "ON" atau "OFF").
	<i>Intermediate Event</i>	Kejadian yang merupakan hasil kombinasi dari beberapa penyebab (<i>Basic Events</i>) melalui gerbang logika. Kejadian ini masih bisa diurai lagi ke bawah.

Sumber: (Ghozali & Putra, 2025)

Tabel 2. 4 *Gate Symbol*

<i>Gate Symbol</i>	<i>Nama</i>	<i>Keterangan</i>
	AND <i>Gate</i>	Gerbang yang menunjukkan bahwa suatu kejadian akan terjadi jika semua penyebabnya terjadi bersamaan. Artinya, jika salah satu penyebab tidak terjadi, maka kejadian tersebut juga tidak akan terjadi.
	OR <i>Gate</i>	Gerbang yang menunjukkan bahwa suatu kejadian dapat terjadi jika salah satu dari beberapa penyebab terjadi. Jadi, meskipun hanya satu penyebab yang terjadi, kejadian tersebut sudah bisa terjadi.

Sumber: (Ghozali & Putra, 2025)

4. *Analytical Hierarchy Process (AHP)*

Analytical hierarchy process (AHP) merupakan salah satu teknik dalam pengambilan keputusan yang dapat membantu peneliti dalam menguraikan permasalahan yang kompleks menjadi struktur hierarki untuk menentukan alternatif terbaik dari beberapa pilihan yang ada (Aulia et al., 2024). Beberapa keunggulan metode AHP adalah struktur hierarki dapat membantu dalam penyederhanaan masalah yang rumit, memberikan bobot prioritas untuk setiap kriteria dan alternatif, serta adanya mekanisme pengujian yang konsisten agar keputusan lebih rasional atau mudah diterima.

AHP memiliki 3 prinsip utama. Berikut merupakan prinsip dasar AHP:

1. Dekomposisi

Dekomposisi merupakan tahapan dalam pemecahan permasalahan yang kompleks menjadi struktur hierarki AHP. Dekomposisi di dalam AHP terdiri dari 3 level, yaitu tujuan utama (*goal*), kriteria dan sub-kriteria, serta alternatif keputusan. Fungsi dari dekomposisi sendiri adalah menyederhanakan permasalahan, membuat hubungan pada tiap elemen

menjadi lebih jelas, serta mempermudah perbandingan pada tahapan berikutnya.

2. Perbandingan Penilaian (*Comparative Judgments*)

Perbandingan penilaian merupakan tahapan dalam penilaian dengan saling membandingkan dua elemen secara berpasangan untuk menentukan tingkat kepentingan menggunakan Skala Saaty 1-9 di mana skala 1 menunjukkan tingkatan yang paling rendah (*equal importance*), sedangkan skala 9 menunjukkan tingkatan paling tinggi (*extreme importance*). Setelah data disusun ke dalam bentuk matrik perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*), maka dihitung *eigenvalue*, normalisasi bobot, serta rasio konsistensi ($CR < 0,1$ = konsisten).

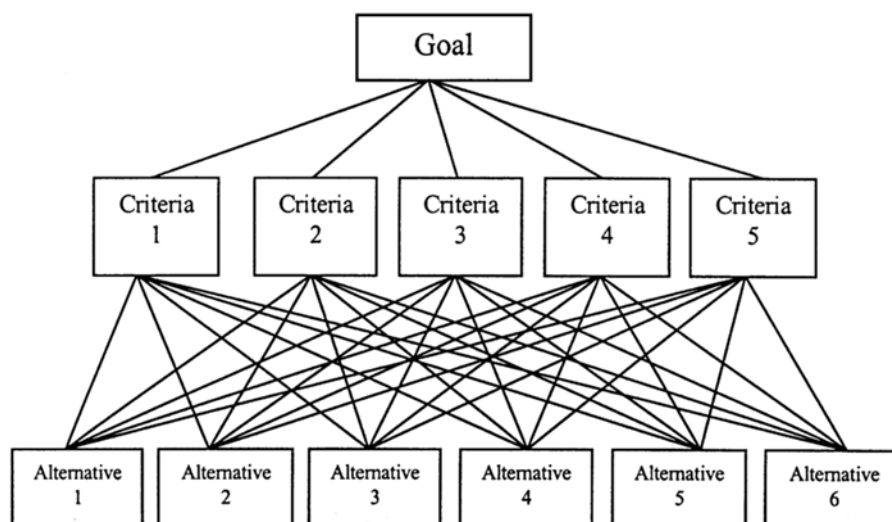
3. Sintesa Prioritas

Sintesa prioritas merupakan tahapan akhir yang menggabungkan semua bobot untuk menghasilkan prioritas akhir pada setiap alternatif yang didapatkan. Sintesa prioritas dilakukan dengan mengalikan bobot kriteria dengan bobot alternatif pada masing-masing kriteria kemudian menjumlahkan hasilnya sehingga diperoleh nilai prioritas yang menampilkan *ranking* untuk setiap alternatif.

Dalam melakukan pengambilan keputusan menggunakan AHP, terhadap beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Berikut merupakan tahapan dalam melakukan pengambilan keputusan menggunakan AHP:

1. Menyusun Struktur Permasalahan dan Mengembangkan Model Ketertarikan

Tahap pertama adalah melakukan penyusunan struktur permasalahan dan mengembangkan model ketertarikan di mana masalah dipecah menjadi beberapa level, yaitu tujuan, kriteria dan sub-kriteria apabila diperlukan, serta alternatif keputusan. Berikut merupakan Gambar 2.2 yang menggambarkan atau memodelkan struktur hierarki pada AHP:



Gambar 2. 2 Struktur Hierarki AHP

2. Membentuk Matriks Perbandingan Berpasangan

Pada tahap ini, setiap elemen akan dibandingkan dua per dua (*pairwise*) terhadap suatu kriteria atau tujuan yang terdapat pada level di atasnya. Penilaian menggunakan Skala Saaty 1-9.

Tabel 2. 5 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan (*Pairwise Comparison*)

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama pentingnya
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan

3. Menentukan Prioritas

Untuk setiap kriteria maupun alternatif, dilakukan proses perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Hasil penilaian antar elemen tersebut kemudian digunakan untuk menentukan urutan prioritas dari seluruh alternatif yang ada. Baik kriteria bersifat kualitatif maupun

kuantitatif dapat dibandingkan sesuai skala penilaian yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan bobot dan tingkat prioritas. Perhitungan bobot ini dilakukan melalui rekayasa matriks atau penyelesaian persamaan matematis. Penilaian dari matriks perbandingan berpasangan tersebut disintesis untuk memperoleh prioritas keseluruhan melalui langkah-langkah berikut:

- a. Melakukan pengkuadratan terhadap matriks perbandingan berpasangan.
- b. Menjumlahkan nilai pada setiap baris, kemudian menormalisasi hasilnya.

4. Konsistensi Logis

Setiap elemen dalam hierarki dikelompokkan secara sistematis dan dinilai secara konsisten berdasarkan kriteria yang rasional. Matriks bobot yang dihasilkan dari proses perbandingan berpasangan harus memenuhi hubungan kardinal dan ordinal. Hubungan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- Hubungan kardinal: $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$
- Hubungan ordinal: jika $A_i > A_j$ dan $A_j > A_k$, maka $A_i > A_k$

Dalam praktiknya, sering muncul penyimpangan dari hubungan ideal tersebut, sehingga matriks perbandingan tidak sepenuhnya konsisten. Hal ini terjadi akibat adanya ketidakkonsistenan dalam preferensi individu. Untuk mengevaluasi konsistensi logis matriks, dilakukan perhitungan melalui tahapan berikut:

1. Mengalikan matriks perbandingan dengan vektor prioritas.
2. Menjumlahkan hasil perkalian pada setiap baris.
3. Membagi jumlah tersebut dengan nilai prioritas masing-masing elemen, lalu menjumlahkan hasilnya.
4. Membagi hasil langkah (c) dengan jumlah elemen sehingga diperoleh nilai λ_{maks} .

5. Menghitung Indeks Konsistensi (CI) dengan rumus: $(\lambda_{\text{maks}} - n) / (n - 1)$.
6. Menghitung Rasio Konsistensi (CR) dengan rumus CI / RI , di mana RI adalah nilai indeks acak. Jika $CR \leq 0,1$, maka matriks dianggap memiliki konsistensi yang dapat diterima.

5. Sistem Manajemen K3 (SMK3)

Sistem Manajemen K3 (SMK3) merupakan sebuah metode atau pendekatan di dalam sistem manajemen perusahaan yang diharapkan dapat mengendalikan risiko yang berkaitan erat dengan kegiatan kerja sehingga diharapkan dapat terciptanya tempat kerja yang aman, efisien, dan juga produktif. Tujuan dari SMK3 sendiri adalah mencegah terjadinya kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK), mengendalikan potensi bahaya yang dapat terjadi di tempat kerja, meningkatkan efisiensi dan produktivitas para pekerja, serta menjamin kepatuhan para pekerja terhadap peraturan K3 (Agustina & Utari, 2024). Secara umum, ruang lingkup SMK3 meliputi (Prisnayanti & Widowati, 2024):

- Kebijakan K3 perusahaan
- Perencanaan K3 (identifikasi bahaya & analisis risiko)
- Pelaksanaan dan operasional (pelatihan, SOP, APD, inspeksi, dll.)
- Pemantauan dan evaluasi kinerja K3
- Tinjauan manajemen dan peningkatan berkelanjutan

Landasan hukum yang diterapkan pada SMK3 di Indonesia adalah berdasarkan UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, UU No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan, PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan SMK3. Permenaker No. 05 Tahun 1996 tentang SMK3 (sebagai panduan awal), dan Standar internasional acuan: ISO 45001:2018 (Fabian et al., 2024).

6. Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya adalah suatu proses yang dilakukan secara sistematis dalam hal mengenali sumber potensi risiko atau bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja, baik cedera, penyakit kerja, kerusakan pada peralatan, dan juga

gangguan pada lingkungan kerja yang dapat mempengaruhi aktivitas kerja (Muhammad & Susilowati, 2021). Tujuan dari identifikasi bahaya adalah agar mengetahui potensi bahaya sebelum terjadinya risiko kecelakaan kerja, menentukan langkah yang dapat dilakukan untuk mengendalikan risiko, meningkatkan keselamatan dan kesehatan pekerja, serta memenuhi regulasi K3 (Permatasari et al., 2025).

7. Analisis Risiko

Analisis risiko merupakan suatu proses di dalam menilai tingkatan pada risiko dari yang ada pada setiap bahaya yang telah diidentifikasi sebelumnya dengan mempertimbangkan *probablitiy* dan juga *severity* di suatu kejadian sehingga dapat ditentukan skala prioritas dalam pengendalian risiko (Lahay et al., 2022). Tujuan utama dilakukannya analisis risiko adalah untuk menilai tingkat bahaya yang muncul di suatu aktivitas kerja, menentukan skala prioritas pengendalian berdasarkan risiko yang ditimbulkan, membantu dalam hal pengambilan keputusan untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja, serta mendukung penerapan budaya K3 di lingkungan kerja (Afik, 2024).

8. Risk Assessment

Risk assessment merupakan sebuah proses yang sistematis di mana proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan juga mengevaluasi potensi serta risiko yang dapat terjadi sewaktu-waktu dan mengancam operasional dan keselamatan di suatu organisasi atau Perusahaan dengan cara menilai *likelihood* dan *severity* (Syahputri et al., 2025). Tujuan dari *risk assessment* sendiri adalah untuk menentukan tingkat risiko sehingga perusahaan dapat menetapkan tindakan pengendalian yang tepat guna mencegah kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja, kerugian aset, atau gangguan operasional. *Risk assessment* secara umum digunakan di dalam manajemen proyek, industri, kesehatan, energi, dan juga K3 di mana isi pada *risk assessment* mencakup identifikasi risiko, kategori risiko, analisis risiko, level risiko, mitigasi, *person in charge* (PIC), dan juga status terbaru (Rani et al., 2024). Berikut merupakan Tabel 2.6 yang berisi tabel matriks *risk assessment*:

Tabel 2. 6 Matriks *Risk Assessment*

	Severity				
	Insignificant 1	Minor 2	Significant 3	Major 4	Severe 5
Likelihood	5 Almost Certain	Medium 5	High 10	Very High 15	Extreme 20
	4 Likely	Medium 4	Medium 8	High 12	Very High 16
	3 Moderate	Low 3	Medium 6	Medium 9	High 12
	2 Unlikely	Very Low 2	Low 4	Medium 6	High 8
	1 Rare	Very Low 1	Very Low 2	Low 3	Medium 4

Sumber: *safetyculture.com* (2025)9. *Guide Words*

Guide words merupakan kata kunci yang digunakan pada metode analisis risiko, yaitu HAZOP di mana kata kunci ini dapat membantu dalam melakukan identifikasi terhadap potensi penyimpangan atau deviasi dari kondisi operasi yang normal di suatu sistem, proses, maupun peralatan yang digunakan (Purwanto et al., 2023). Beberapa *guide words* yang digunakan dalam metode HAZOP adalah, seperti *No/Not*, *More*, *Less*, *As well as*, *Part of*, *Reverse*, dan juga *Other than* sehingga metode HAZOP dapat memberikan kemungkinan terhadap penyimpangan yang nantinya dapat dianalisis penyebab, konsekuensi, serta langkah mitigasinya (Bastuti & TH, 2021). Tujuan dari *guide words* sendiri adalah membantu dalam mengidentifikasi deviasi, membantu menemukan penyebab bahaya, serta menentukan kontrol atau pengendalian yang diperlukan (Fatah et al., 2025). Berikut merupakan Tabel 2.7 yang berisi tabel *guide words* HAZOP:

Tabel 2. 7 *Guide Words*

<i>Guide Word</i>	Arti/Makna
<i>No/Not</i>	Tidak ada sama sekali/hilang
<i>More</i>	Lebih banyak dibanding normal
<i>Less</i>	Lebih sedikit dibanding normal
<i>As Well As</i>	Ada penambahan yang tidak diinginkan

<i>Part Of</i>	Hanya sebagian dari yang seharusnya
<i>Reverse</i>	Arah proses terbalik
<i>Other Than</i>	Ada hal yang sama sekali berbeda dari harapan

Sumber: *Norwegian University of Science and Technology* (2011)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo yang berlokasi di Desa Padokan, Tirtonirmolo, Kapanewon Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55181. Penelitian dilakukan dalam rangka mengidentifikasi dan menganalisis potensi bahaya yang terjadi di salah satu departmen atau stasiun kerja, yaitu Stasiun Ketel (*Boiler House*) di mana terdapat risiko atau potensi bahaya yang dapat dialami oleh pekerja sehingga diharapkan dapat meminimalisasi potensi bahaya yang terjadi serta kerugian bagi perusahaan.

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian yang dilakukan di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo adalah mengidentifikasi dan menganalisis potensi bahaya atau risiko yang dapat terjadi dan menimpa pekerja di Stasiun Ketel (*Boiler House*) menggunakan metode HAZOP. Selain itu, penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana penerapan K3 di Stasiun Ketel apakah sudah diterapkan dengan baik dan rekomendasi yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis *root cause* menggunakan bantuan metode FTA dan pengambilan keputusan menggunakan AHP sehingga dapat diberikan rekomendasi untuk perbaikan prioritas.

3.3 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari 2 data, yaitu data primer dan juga data sekunder. Berikut merupakan penjelasan mengenai sumber data yang digunakan:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung oleh peneliti dari sumber pertama melalui proses pengumpulan data yang dilakukan di lokasi penelitian dan tanpa perantara. Data primer dalam penelitian biasanya merupakan data yang diperoleh dari hasil observasi, wawancara, penyebaran kuesioner, dan

juga dokumentasi lokasi secara langsung di mana berkaitan dengan topik penelitian yang diangkat.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari sumber atau referensi penelitian sebelumnya atau yang dimiliki oleh instansi tempat dilakukannya penelitian dan bukan berasal dari hasil penelitian secara langsung. Data sekunder biasanya diperoleh dari dokumen instansi atau perusahaan tempat dilakukannya penelitian, laporan resmi, literatur, buku, jurnal, maupun arsip yang relevan dengan topik penelitian.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Berikut merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini:

1. Wawancara

Wawancara merupakan salah satu teknik dalam metode pengumpulan data penelitian yang bertujuan untuk memperoleh informasi atau data yang diperlukan sesuai dengan topik yang sedang dibahas (Ritonga, 2023). Dalam pengambilan data untuk tugas khusus di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo, maka peneliti melakukan wawancara dengan pembimbing lapangan dan juga pekerja di Stasiun Ketel di mana pengumpulan data dilakukan berdasarkan populasi.

2. Studi Literatur

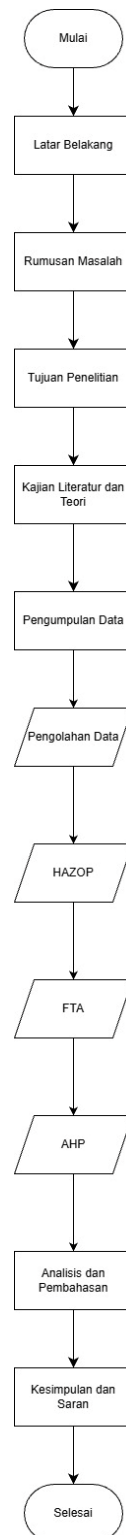
Studi literatur merupakan salah satu langkah yang dilakukan di dalam sebuah penelitian di mana peneliti akan mengumpulkan, membaca, memahami, serta menganalisis berbagai sumber yang relevan dengan penelitiannya, baik buku, jurnal, penelitian sebelumnya, dan sebagainya yang masih berkaitan dengan topik penelitian (Munib & Wulandari, 2021). Dalam tugas khusus ini, maka studi literatur yang dipakai berkaitan dengan metode yang digunakan, yaitu metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*), FTA (*Fault Tree Analysis*) dan AHP (*Analytical Hierarchy Process*) di mana sumber yang digunakan berasal dari jurnal atau artikel ilmiah yang relevan.

3. Observasi Lapangan

Observasi lapangan merupakan salah satu metode di dalam pengambilan data di mana peneliti mengamati secara langsung objek penelitian di lokasi yang dijadikan tempat pengambilan data agar peneliti dapat memperoleh gambaran langsung mengenai kondisi, fenomena, atau aktivitas yang sedang diteliti (Agustin, 2024). Observasi yang dilakukan untuk tugas khusus ini dilakukan secara langsung di Stasiun Ketel PT Madubaru (PG-PS) Madukismo, di mana peneliti melakukan pemantauan secara langsung aktivitas yang dilakukan oleh pekerja di sana dan juga melakukan dokumentasi untuk memperkuat bukti jika peneliti melakukan observasi langsung.

3.5 Alur Penelitian

Alur penelitian merupakan tahapan yang dilakukan oleh peneliti dalam menyelesaikan penelitiannya, dimulai dari awal penelitian sama kesimpulan. Alur penelitian digunakan sebagai acuan atau pedoman bagi peneliti dalam melakukan penelitiannya agar lebih terarah dan terstruktur. Berikut merupakan Gambar 3.1 yang berisi alur penelitian dalam penelitian ini:



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

1. Mulai

Peneliti memulai penelitian berdasarkan topik yang diangkat dan memilih tempat yang akan digunakan sebagai lokasi penelitian.

2. Latar Belakang

Peneliti melakukan identifikasi terhadap permasalahan yang dihadapi di lokasi penelitian dan memilih metode yang digunakan dalam memecahkan masalah di mana menjelaskan alasan dan urgensi dalam melakukan penelitian tersebut.

3. Rumusan Masalah

Peneliti melakukan perumusan terhadap permasalahan yang dihadapi dalam bentuk pertanyaan dan berkaitan dengan tujuan dari penelitian yang dilakukan.

4. Tujuan Penelitian

Peneliti akan melakukan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat sehingga memudahkan saat melakukan penelitian.

5. Kajian Literatur dan Teori

Peneliti mencari referensi yang berkaitan dengan topik penelitian yang diangkat, seperti jurnal yang relevan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir di mana jurnal yang digunakan minimal 10 jurnal internasional dan 5 jurnal nasional. Selain itu, diperlukan landasan konsep, definisi, serta teori yang relevan dengan topik dan metode penelitian yang digunakan

6. Pengumpulan Data

Peneliti melakukan pengumpulan data, baik data primer maupun sekunder guna mendukung penelitian yang dilakukan. Selain itu, data yang dikumpulkan berkaitan dengan metode yang dipilih.

7. Pengolahan Data

Peneliti melakukan pengolahan data yang telah diperoleh sebelumnya menggunakan metode yang dipilih. Dalam penelitian ini, pengolahan data menggunakan metode HAZOP di mana tujuannya untuk mengidentifikasi potensi bahaya atau risiko, FTA yang digunakan dalam identifikasi akar permasalahan (*root cause*), serta AHP untuk menentukan perbaikan prioritas berdasarkan hasil identifikasi di Stasiun Ketel PT Madubaru (PG-PS) Madukismo.

8. Analisis dan Pembahasan

Setelah data diolah, maka peneliti melakukan analisis terhadap data menggunakan metode yang dipilih serta melakukan pembahasan terhadap hasil pengolahan data tersebut sehingga dapat diberikan rekomendasi terhadap permasalahan yang diangkat.

9. Kesimpulan dan Saran

Peneliti memberikan kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditetapkan serta saran terhadap permasalahan yang diangkat berupa rekomendasi, dengan harapan dapat mengurangi permasalahan yang dihadapi di masa mendatang.

10. Selesai

Tahap ini menandakan jika peneliti telah menyelesaikan penelitiannya dan dapat melakukan pembuatan laporan dan juga presentasi dari hasil penelitiannya.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data akan dilakukan di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo di bagian Stasiun Ketel pada perioder bulan November-Desember 2025. Proses atau teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara wawancara dengan pihak Stasiun Ketel, seperti kepala dan juga karyawan serta dibantu juga oleh pembimbing lapangan yang ada di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Lalu, pengumpulan data juga dilakukan dengan cara melakukan observasi secara langsung di Stasiun Ketel dengan melihat atau mengamati proses yang terjadi di sana untuk dilakukan analisis terhadap risiko yang terjadi di sana. Selain itu, pengumpulan data juga dibantu dengan studi literatur untuk membantu peneliti dalam menerapkan metode yang digunakan. Metode yang digunakan dalam pengolahan data nantinya menggunakan HAZOP dan juga dibantu dengan AHP dalam menentukan keputusan perbaikan prioritas.

4.2 Profil Perusahaan

Berikut penjelasan mengenai profil perusahaan yang digunakan sebagai tempat dalam melakukan penelitian dan Gambar 4.1 yang merupakan logo dari perusahaan:



Gambar 4. 1 Logo Perusahaan PT Madubaru
(PG-PS) Madukismo
Sumber: madubaru.co.id

4.2.1 Sejarah Singkat

PT Madubaru (PG-PS) Madukismo, yang lebih dikenal sebagai PT Madukismo, merupakan salah satu pabrik di Indonesia yang bergerak dalam produksi gula pasir. Selain

memproduksi gula, perusahaan ini juga menghasilkan spiritus atau etil alkohol (C_2H_5OH/CH_3CH_2OH). Lokasi pabrik gula saat ini dulunya adalah tempat berdirinya Pabrik Gula Padokan di Desa Padokan, Tirtonirmolo, Kapanewon Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55181. Pabrik tersebut merupakan satu dari 17 pabrik gula peninggalan masa Pemerintahan Kolonial Belanda.

Namun, pabrik tersebut hancur pada Agresi Militer Belanda II pada 19 Desember 1948. Atas prakarsa atau inisiasi Sri Sultan Hamengkubuwana IX, yang menjabat sebagai Presiden Direktur pada saat itu, didirikanlah pabrik gula baru pada 14 Juni 1955 di lokasi bekas PG Padokan, dengan nama Pabrik-Pabrik Gula Madubaru PT Madukismo (P2G Madubaru, PT). Bersamaan dengan itu, dibangun pula pabrik alkohol sehingga P2G Madubaru memiliki dua fasilitas produksi. Pembangunan pabrik dimulai Februari 1955 dan melibatkan sekitar 2.000–3.000 pekerja harian dari wilayah Yogyakarta.

Pada masa tersebut, pekerja menerima upah sekitar Rp3–4 per hari, atau setara dengan harga gula Rp6/kg dan beras Rp3/kg. Akhirnya, pada 29 Mei 1958, pabrik gula dan pabrik alkohol Madukismo diresmikan oleh Presiden RI Ir. Soekarno dan Mohammad Hatta, beserta pejabat negara lainnya. Produksi gula dimulai pada 1958, sedangkan pabrik alkohol beroperasi satu tahun kemudian, yaitu pada 1959. Dalam pemilihan teknologi dan mesin produksi, P2G Madubaru menunjuk *Machine Fabriek Sangerhause* dari Jerman Timur sebagai kontraktor utama. Kapasitas awal pabrik adalah 1.500 ton tebu per hari (TTH), kemudian meningkat menjadi 2.500 TTH pada 1976, 3.300 TTH pada 1993, dan saat ini mencapai 3.500 TTH.

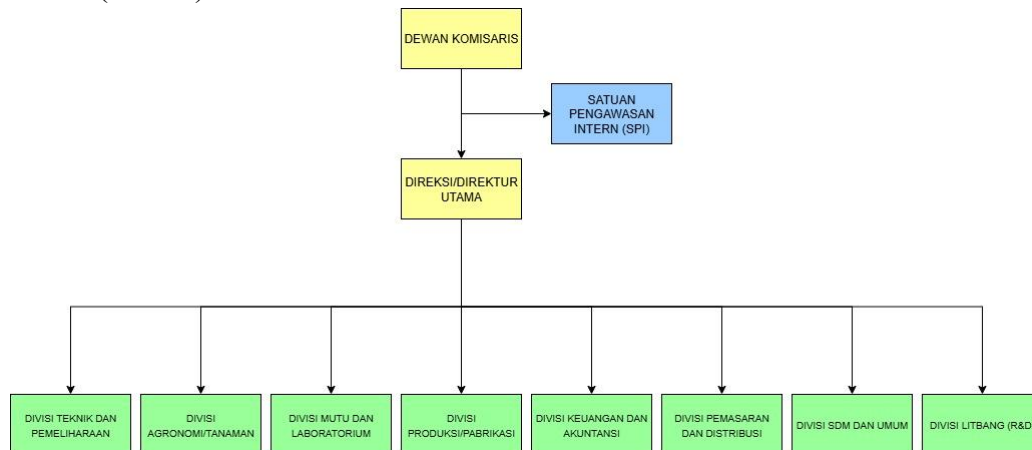
Produksi gula jenis SHS-1 (Superior High Sugar-1/gula kristal putih 1) kini mencapai sekitar 40.000 ton per tahun. Sementara itu, produksi alkohol mencapai kurang lebih 2,5 juta liter per tahun, spiritus sekitar 24.000 liter per hari, dan pupuk blotong dihasilkan sekitar 30 ton per tahun. Pada masa awal berdirinya tahun 1955, 75% saham perusahaan dimiliki oleh Sri Sultan Hamengkubuwana IX, sementara 35% sisanya dimiliki Pemerintah RI melalui Departemen Pertanian. Sejak 2004, kepemilikan berubah menjadi 65% milik Sri Sultan Hamengkubuwana X dan 35% milik pemerintah melalui BUMN pangan PT Rajawali Nusantara Indonesia (RNI/ID FOOD).

PT Madubaru telah mengalami beberapa kali perubahan pengelolaan. Pada 1955–1962 berstatus sebagai perusahaan swasta. Lalu, pada 1962–1966 diambil alih negara melalui BPU-PPN (Badan Pimpinan Umum Perusahaan Perkebunan Gula Negara). Selanjutnya, pada 1966–1984 kembali menjadi perusahaan swasta di bawah kepemimpinan Sri Sultan Hamengkubuwana IX. Pada 4 Maret 1984 hingga 24 Februari 2004, pengelolaan produksinya dijalankan melalui kontrak manajemen dengan PT RNI. Setelah 24 Februari 2004, PT Madubaru kembali berdiri sebagai perusahaan mandiri yang dikelola secara profesional. Saat ini, PG Madukismo memiliki empat rayon pengumpulan tebu, yaitu Bantul dan Gunung Kidul (Rayon 1), Kulon Progo (Rayon 2), Magelang dan Temanggung (Rayon 3), serta Purworejo dan Kebumen (Rayon 4). Area pabrik memiliki luas sekitar 276.000 m², dengan luas bangunan 51.000 m² dan berada pada ketinggian ±84 mdpl.

Selain memproduksi gula dan alkohol, sejak 17 April 1993 PT Madubaru memperluas layanan dengan membuka unit agrowisata dan meresmikan Gedung Aula Candhya oleh Sri Sultan Hamengkubuwana X. Perusahaan juga menyediakan fasilitas ekowisata, homestay, asrama, sewa gedung, wisma, apotek, farmasi, serta klinik pratama. Klinik ini telah melayani program Keluarga Berencana sejak 1975 dan pernah meraih nominasi tingkat nasional pada 2012. Selain itu, perusahaan rutin melestarikan tradisi budaya melalui perayaan Cembengan setiap musim giling perdana, selama tujuh hari tujuh malam, dengan menampilkan wayang, keroncong, dan berbagai seni rakyat lainnya. Dengan perjalanan panjang dari era kolonial hingga menjadi agroindustri mandiri, PT Madubaru tidak hanya berkontribusi pada ketahanan gula nasional, tetapi juga berperan dalam pemberdayaan masyarakat sekitar dan pelestarian budaya lokal.

4.2.1 Struktur Organisasi

Struktur organisasi merupakan sebuah sistem atau susunan yang terdapat di dalam sebuah organisasi, di mana sistem ini mengatur dan mengelompokkan pembagian tugas, wewenang, dan tanggung jawab antar anggota sehingga dapat mencapai tujuan tertentu (Hakim et al., 2022). Berikut merupakan Gambar 4.2 berupa struktur organisasi di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo:



Gambar 4. 2 Struktur Organisasi

4.2.2 Job Description

Job description merupakan sebuah penjabaran yang menjelaskan tentang rincian tugas, tanggung jawab, wewenang, dan juga kualifikasi yang diperlukan atau dibutuhkan untuk sebuah posisi atau jabatan di suatu organisasi (Ismail & Pusakaningwati, 2023). Berikut merupakan penjelasan *job description* di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo:

1. Dewan Komisaris

Dewan komisaris merupakan posisi tertinggi atau paling atas di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Secara umum, tugas dan tanggung jawab dewan komisaris di dalam lingkup perusahaan mencakup beberapa hal, yaitu meninjau pelaksanaan Rencana Jangka Panjang Perusahaan (RJPP), Rencana Kerja dan Anggaran Perusahaan (RKAP), sistem manajemen perusahaan, dan juga penerapan efektif *Good Corporate Governance* (GCG). Lalu, dewan komisaris membantu dalam hal membuat atau merumuskan kebijakan, serta mengusulkan auditor eksternal yang bertujuan untuk disahkan pada RUPS dan memantau tugasnya. Selain itu,

dewan komisaris juga bertugas dan bertanggung jawab dalam menangani pengangkatan dan pemberhentian direksi, melakukan pemantauan terhadap kondisi keuangan, melaporkan tugas dan kepemilikan saham, serta menjamin pelaksanaan pengelolaan dan kepatuhan terhadap hukum dan regulasi yang berlaku.

2. Direksi/Direktur Utama

Direksi/Direktur Utama merupakan posisi tertinggi yang ada di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo, setelah posisi dewan komisaris. Secara umum, direksi atau direktur utama berfungsi sebagai pengelola operasional secara keseluruhan, sesuai dengan kebijakan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Selain itu, tugas dan tanggung jawab utama direksi atau direktur utama adalah menentukan visi dan tujuan perusahaan serta strategi yang diambil untuk mencapai tujuan tersebut, menyusun rencana jangka panjang serta menyetujui rancangan anggaran perusahaan yang selanjutnya akan diajukan ke RUPS, melakukan manajemen atas seluruh kegiatan, termasuk pengambilan keputusan strategis dan kebijakan yang ditetapkan oleh dewan direksi, serta mengevaluasi hasil kinerja pabrik secara berkala, serta bertanggung jawab atas jalannya keseluruhan faktor produksi dan memastikan pelaksanaan yang strategis dan juga efektif.

3. Satuan Pengawasan Intern (SPI)

Satuan pengawasan intern (SPI) merupakan unit kerja yang bertugas dalam melakukan pengawasan, evaluasi, serta penjaminan terhadap mutu sistem pengendalian internal perusahaan. Posisi SPI berada di antara direksi/direktur dan divisi yang membawahinya. Beberapa tugas pokok yang dilakukan oleh SPI adalah seperti audit internal, pengawasan keuangan dan aset perusahaan, evaluasi sistem dan prosedur, pencegahan dan deteksi penyimpangan, serta pelaporan kepada direksi dan dewan komisaris.

4. Divisi Produksi/Pabrikasi

Divisi produksi atau kadang disebut pabrikasi merupakan salah satu divisi yang terdapat di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Divisi ini memiliki tanggung jawab dalam hal mengatur, memimpin, dan juga melaksanakan seluruh proses

produksi yang sedang dilakukan. Lalu, divisi ini juga bertanggung jawab dalam memeriksa bahan pembantu, menghitung rendemen tebu, serta menentukan jadwal penebangan tebu. Selain itu, divisi ini juga bertanggung jawab di dalam pelaksanaan pengawasan terhadap mutu dan kualitas gula yang dihasilkan.

5. Divisi Teknik dan Pemeliharaan

Divisi teknik dan pemeliharaan merupakan salah satu divisi yang terdapat di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Divisi ini memiliki tanggung jawab, terutama dalam hal pemeliharaan alat dan mesin. Beberapa tanggung jawab yang menjadi ranah divisi ini adalah pemeliharaan rutin di mana dilakukan inspeksi rutin, pelumasan, pembersihan, penggantian komponen yang sudah aus, serta kalibrasi untuk mencegah kerusakan pada mesin. Selain itu, divisi ini juga bertanggung jawab dalam merencanakan jadwal pemeliharaan terhadap mesin dan juga *upgrade* berdasarkan hasil dari analisis kinerja mesin.

6. Divisi Agronomi/Tanaman (Kebun)

Divisi agronomi/tanaman (kebun) merupakan salah satu divisi di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo yang memiliki peran penting dalam terpenuhinya bahan baku utama, yaitu tebu. Beberapa tugas dan tanggung jawab yang dimiliki divisi ini adalah, seperti melakukan penyusunan terhadap rencana kebutuhan awal tanaman, menyusun anggaran untuk bidang tanaman, tebang tebu, serta pengangkutan, kemudian membuat laporan secara berkala dan juga insidental mengenai proses pelaksanaan pekerjaan tanaman.

7. Divisi Mutu dan Laboratorium

Divisi mutu dan laboratorium merupakan salah satu divisi di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo yang berperan penting dalam hal memastikan kualitas produk, baik gula maupun alkohol, sehingga hasil yang diperoleh sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Beberapa tugas dan tanggung jawab divisi ini adalah pengawasan mutu dengan cara melakukan pemeriksaan dan juga analisis terhadap bahan baku yang menjadi bahan utama, yaitu tebu. Lalu, divisi ini juga melakukan pengawasan proses produksi di mana akan dilakukan pengambilan sampel secara

berkala pada setiap proses produksinya, mulai dari penggilingan sampai kristalisasi.

8. Divisi Keuangan dan Akuntansi

Divisi keuangan dan akuntansi merupakan salah satu divisi di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo yang memiliki peran penting di dalam mengatur seluruh aspek yang berkaitan dengan keuangan perusahaan. Divisi ini memiliki beberapa tugas dan tanggung jawab, seperti perencanaan dan penganggaran di mana divisi ini akan menyusun dan mengelola anggaran di dalam perusahaan secara menyeluruh, termasuk juga anggaran operasional dan juga investasi. Selain itu, divisi ini juga bertanggung jawab dalam pencatatan transaksi dan juga penyusunan laporan keuangan di mana pencatatan transaksi harus dilakukan secara menyeluruh dan laporan keuangan harus dilaporkan baik secara bulanan, kuartal, maupun tahunan sehingga dapat menjadi evaluasi kinerja oleh pihak eksternal, seperti bank dan pemegang saham.

9. Divisi Pemasaran dan Distribusi

Divisi pemasaran dan distribusi merupakan salah satu divisi yang terdapat di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo di mana divisi ini memainkan peran yang penting di dalam memastikan produk gula tersedia dan terdistribusi tepat waktu ke berbagai pelanggan atau konsumen, menjaga mutu dan citra merek Madukismo, serta memperluas jangkauan pasar. Selain itu, beberapa tugas dan tanggung jawab divisi ini adalah, seperti melakukan analisis pasar dengan cara melakukan riset pasar agar perusahaan mengetahui tren konsumen, perilaku pesaing, dan juga potensi pasar baru. Selain itu, divisi ini juga ikut terlibat dalam menentukan strategi penentuan harga yang kompetitif. Lalu, divisi ini juga bertanggung jawab dalam mengelola persediaan produk jadi yang ada di gudang serta bertanggung jawab dalam merencanakan rute dan jadwal pengiriman produk dari produsen (pabrik) ke gudang distributor atau langsung ke pelanggan atau konsumen.

10. Divisi Sumber Daya Manusia (SDM) dan Umum

Divisi SDM dan umum merupakan salah satu divisi di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo yang merupakan salah satu divisi penting dalam hal yang berkaitan

dengan tanggung jawab dalam mengelola aset terpenting bagi perusahaan, yaitu karyawan. Beberapa tugas dan tanggung jawab divisi ini adalah, seperti melakukan perekrutan dan seleksi tenaga kerja yang dibutuhkan, pengembangan dan pelatihan terhadap karyawan dengan cara Menyusun program pelatihan dan juga pengembangan karyawan untuk meningkatkan kompetensi, keterampilan, dan juga kinerja. Selain itu, divisi ini juga mengatur terkait penggajian karyawan serta pengelolaan aset dan fasilitas perusahaan.

11. Divisi Litbang (R&D)

Divisi litbang (R&D) merupakan salah satu divisi yang terdapat di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo di mana divisi ini memegang peran atau kendali strategis dalam menciptakan inovasi serta peningkatan efisiensi terhadap produk dan juga proses perusahaan. Beberapa tugas dan tanggung jawab divisi ini adalah riset dalam pengembangan produk-produk baru yang memiliki potensi, baik dari bahan baku yang sudah ada maupun turunannya. Lalu, divisi ini juga melakukan penelitian agar dapat mengoptimalkan proses produksi yang ada sehingga dapat lebih efisien, hemat energi, dan juga ramah lingkungan. Selain itu, divisi ini juga dapat melakukan sosialisasi terhadap hasil dari riset dan pengembangan yang telah dilakukan sehingga harapannya dapat terimplementasi dengan baik.

12. Divisi CSR (*Corporate Social Responsibility*)

Divisi CSR merupakan salah satu divisi yang terdapat di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo di mana divisi ini bertujuan untuk membangun hubungan yang harmonis dengan Masyarakat dan juga lingkungan sekitar pabrik. Divisi ini berfokus kepada suatu program, yaitu Program Kemitraan dan Bina Lingkungan (PKBL) yang merupakan bagian dari komitmen perusahaan terhadap tanggung jawab sosial. Beberapa tugas dan tanggung jawab divisi ini adalah menyediakan pinjaman lunak atau modal kerja bagi para pelaku UMKM yang bermitra dengan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Lalu, divisi ini juga melakukan pembinaan dan pelatihan terhadap para mitra dalam hal mengelola modal dan juga bagaimana melakukan pemasaran yang baik. Selain itu, divisi ini juga berperan dalam memberikan bantuan dalam hal pembangunan fasilitas umum, sarana ibadah,

maupun bantuan lainnya yang dibutuhkan oleh masyarakat serta berperan dalam mengadakan program-program yang dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat sekitar pabrik, seperti pendidikan dan juga kesehatan.

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Stasiun Ketel

Stasiun Ketel (*boiler house*) merupakan salah satu unit atau stasiun yang terletak di bagian produksi atau Pabrik Tengah. Stasiun ini menjadi salah satu stasiun yang penting dalam proses produksi di mana berperan dalam menghasilkan uap (*steam*) melalui ketel uap/*boiler*. Uap ini nantinya digunakan dalam proses produksi gula dan juga spiritus, yaitu dalam proses pemanasan nira, penguapan, pengeringan, dan juga penggerak turbin yang berfungsi sebagai pembangkit tenaga untuk mesin-mesin yang ada di pabrik. Bahan bakar utama yang digunakan di Stasiun Ketel adalah ampas tebu (*bagasse*) di mana pemanfaatan ampas tebu dinilai lebih efisien dan ramah lingkungan. Berikut merupakan alur proses dalam pengoperasian Stasiun Ketel:

1. Tahap Legalitas & Sertifikasi (Izin Disnaker)
 - Pemeriksaan Dokumen & Izin: Sebelum musim giling dimulai, perusahaan wajib mengajukan perizinan kepada Disnaker terkait kelayakan pakai bejana tekan (*boiler*).
 - Riksa Uji: Pihak berwenang melakukan inspeksi visual dan teknis untuk memastikan boiler aman digunakan. Berdasarkan wawancara, perizinan di PT Madubaru selalu disetujui tanpa penolakan.
2. Tahap Persiapan Teknis (*Pre-Heating*)
 - Pengecekan Steam Boiler: Melakukan pengecekan seluruh instrumen uap dan jalur pipa untuk memastikan tidak ada kebocoran atau sumbatan.
 - Proses Pemanasan (*Warming Up*) – 10 Hari: * Boiler tidak boleh langsung dipanaskan secara ekstrem. Pemanasan dilakukan bertahap selama kurang lebih 10 hari untuk menyesuaikan suhu dan tekanan secara perlahan agar material logam pada boiler tidak mengalami kerusakan mendadak (*thermal shock*).

- Penyesuaian Parameter: Selama 10 hari ini, operator memantau kenaikan suhu, tekanan uap, dan level air agar sesuai dengan standar operasional.
3. Tahap Pengujian Keamanan (*Safety Test*)
- *Slim Test* pada *Safety Valve*: Melakukan pengujian pada katup pengaman (*safety valve*).
 - *Slim test* bertujuan memastikan katup akan terbuka secara otomatis jika tekanan uap melebihi batas aman (mencegah ledakan). Ini adalah "benteng terakhir" keamanan boiler.
4. Tahap Operasi Penuh (Produksi Energi)
- Distribusi Uap: Setelah semua tes berhasil, uap dialirkan ke unit-unit produksi.
 - Output Utama: 1. Generator Listrik: Menghasilkan daya untuk seluruh pabrik. 2. Turbin Penggilingan: Menggerakkan mesin giling tebu. 3. Proses Evaporator: Digunakan untuk penguapan nira. 4. Pengeringan Gula: Tahap akhir penyelesaian produk gula.

Namun, di dalam proses atau aktivitas yang terjadi di Stasiun Ketel, terdapat bahaya atau risiko yang dapat terjadi sewaktu-waktu dan dapat menimpa para pekerja di sana. Beberapa risiko yang dapat terjadi adalah risiko tekanan dan ledakan, bahaya panas, kebakaran, mekanis, gas buang, kebisingan yang ditimbulkan, serta bahaya dari zat kimia. Dalam kurun waktu atau periode Januari-November 2025, setidaknya telah terjadi 4 kasus yang terjadi di sana yang disajikan dalam Tabel 4.1, sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Data Kasus di Stasiun Ketel Tahun 2025

Bulan	Jumlah
Januari	-
Februari	-
Maret	-
April	-
Mei	1
Juni	2
Juli	1
Agustus	-
September	-
Oktober	-
November	-

Oleh karena itu, diperlukan identifikasi bahaya serta penentuan solusi yang tepat agar kasus kecelakaan yang terjadi di Stasiun Ketel dapat diminimalkan, sehingga diharapkan tercapai kondisi *zero accident*. Dalam penelitian ini, digunakan dua metode yang saling berkaitan, yaitu metode HAZOP dan AHP. Metode HAZOP digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya yang mungkin terjadi di Stasiun Ketel, sehingga dapat diketahui risiko yang paling berbahaya dan memerlukan penanganan lebih lanjut. Sementara itu, metode AHP digunakan untuk menentukan prioritas serta memberikan rekomendasi perbaikan terhadap risiko yang perlu ditangani, sehingga diperoleh saran dan kesimpulan terbaik dalam upaya mitigasi risiko yang dapat terjadi sewaktu-waktu.

4.3.2 HAZOP (*Hazard and Operability Study*)

Hazard and Operability Study atau HAZOP merupakan teknik analisis risiko atau metode yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya dalam operabilitas suatu proses industri. Metode ini diterapkan dengan cara mengevaluasi penyimpangan (*deviation*) dari kondisi operasi standar melalui penggunaan *guide words*, seperti *no/not*, *more*, *less*, *other than*, dan *reverse* (Andivas et al., 2024).

Tujuan dari metode HAZOP sendiri adalah untuk mengidentifikasi bahaya, identifikasi masalah operabilitas, evaluasi pengaman, dan juga memberikan rekomendasi terhadap risiko yang teridentifikasi (Novitrie et al., 2023). Dalam studi ini, metode HAZOP diterapkan di Stasiun Ketel untuk mendeteksi penyimpangan teknis pada mesin dan prosedur kerja yang berisiko bagi keselamatan operator.

4.3.2.1 Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya merupakan tahapan yang dilakukan secara sistematis untuk mengetahui berbagai sumber risiko yang berpotensi memicu kecelakaan kerja. Proses ini mencakup deteksi dini terhadap ancaman yang dapat mengakibatkan cedera fisik, penyakit akibat kerja (PAK), kerusakan aset perusahaan, hingga penurunan lingkungan yang berisiko menghambat produktivitas operasional. (Muhammad & Susilowati, 2021).

Tujuan dari identifikasi bahaya adalah agar mengetahui potensi bahaya sebelum terjadinya risiko kecelakaan kerja, menentukan langkah yang dapat dilakukan untuk mengendalikan risiko, meningkatkan keselamatan dan kesehatan pekerja, serta memenuhi regulasi K3 (Permatasari et al., 2025). Pada Stasiun Ketel, identifikasi bahaya menjadi

sangat penting/krusial mengingat adanya potensi risiko fisik seperti panas ekstrem dan debu ampas yang dapat mengganggu kesehatan serta keselamatan para pekerja. Berikut merupakan Tabel 4.2 berupa hasil dari indentifikasi bahaya di Stasiun Ketel:

Tabel 4. 2 Identifikasi Bahaya di Stasiun Ketel

No	Node	Parameter	Guide Word(s)	Deviation	Penyebab	Akibat
1	Water Level (Drum Ketel)	Jumlah Air	Less (Kurang)	Volume air pengisi di bawah batas minimum	Masalah pasokan air dingin; pemantauan manual pada mesin EKM kurang teliti	Risiko Fatal: Potensi ledakan ketel; kerusakan pipa; ancaman nyawa pekerja
2	Furnace (Ruang Bakar)	Kualitas Bahan Bakar	Other Than (Lain dari)	Ampas tebu basah atau tercampur tanah	Penyimpanan kurang baik; material tanah terbawa	Tekanan uap tidak stabil; pengikisan dinding ketel; risiko percikan api keluar Turbin & generator terhambat; proses produksi terhenti; kelelahan mental operator
3	Steam Pressure (Output)	Tekanan	Less (Rendah)	Tekanan uap di bawah standar kebutuhan	Pembakaran tidak sempurna; bahan bakar basah	Dehidrasi; kelelahan (<i>fatigue</i>); gangguan pendengaran & pernapasan
4	Lingkungan Kerja	Suhu & Udara	More (Berlebih)	Panas ekstrem, bising, dan debu bertebaran	Kurangnya alat peredam panas; sirkulasi udara buruk	Luka bakar serius; terpapar percikan api/bahan panas; kecelakaan kerja fatal
5	Aktivitas Pekerja	Kepatuhan SOP	No / Less	Pekerja abai menggunakan APD lengkap	Kurangnya kesadaran/pemahaman SDM; kondisi cuaca saat bekerja terlalu panas	
6	Komponen Pengaman (Safety Valve)	Tekanan	No / Less	Katup pengaman gagal terbuka (saat tes/kondisi real)	Karat; kotoran debu/tanah; kegagalan saat <i>slim test</i>	Ledakan akibat tekanan berlebih yang tidak terbuang

No	Node	Parameter	Guide Word(s)	Deviation	Penyebab	Akibat
7	Prosedur Start-up	Waktu & Suhu	Less (Kurang)	Masa pemanasan kurang dari 10 hari	Desakan target produksi (ingin cepat beroperasi)	Kerusakan struktur ketel (<i>thermal shock</i>); risiko keretakan dinding

4.3.2.2 Risk Assessment

Risk assessment merupakan tahapan sistematis yang dilakukan untuk mengidentifikasi, menganalisis, serta mengevaluasi berbagai potensi ancaman yang dapat mengganggu stabilitas operasional dan keselamatan kerja. Proses ini dilakukan dengan mengukur dua parameter utama, yaitu tingkat kemungkinan terjadinya suatu peristiwa (*likelihood*) dan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan (*severity*) (Syahputri et al., 2025). Tujuan utama dari *risk assessment* adalah untuk mengukur level risiko secara akurat, sehingga perusahaan dapat menentukan strategi pengendalian yang efektif.

Hal ini penting untuk mencegah terjadinya insiden kerja, penyakit akibat kerja (PAK), penurunan aset, maupun hambatan operasional. Dalam penerapannya, proses ini diaplikasikan secara luas pada sektor industri, energi, dan K3 dengan cakupan elemen yang meliputi identifikasi, kategorisasi, analisis level risiko, strategi mitigasi, penentuan penanggung jawab (PIC), hingga pemantauan status terkini (Rani et al., 2024).

Hasil dari *risk assessment* ini berfungsi sebagai dasar informasi yang kemudian diolah melalui metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) di mana bertujuan untuk mengubah hasil analisis tersebut ke dalam bentuk skala prioritas. Hal ini sangat penting untuk membantu peneliti dalam menetapkan urutan prioritas perbaikan yang paling mendesak, sehingga langkah mitigasi yang diambil lebih efisien. Berikut merupakan Tabel 4.3 berupa hasil *risk assessment* di Stasiun Ketel:

Tabel 4. 3 Matriks *Risk Assessment*

		<i>Severity</i>				
		<i>Insignificant</i> 1	<i>Minor</i> 2	<i>Significant</i> 3	<i>Major</i> 4	<i>Severe</i> 5
<i>Likelihood</i>	5 Almost Certain	Medium 5	High 10	Very High 15	Extreme 20	Extreme 25
	4 Likely	Medium 4	Medium 8	High 12	Very High 16	Extreme 20
	3 Moderate	Low 3	Medium 6	Medium 9	High 12	Very High 15
	2 Unlikely	Very Low 2	Low 4	Medium 6	Medium 8	High 10
	1 Rare	Very Low 1	Very Low 2	Low 3	Medium 4	Medium 5

Tabel 4. 4 *Risk Assessment* di Stasiun Ketel

No	Node	Deviation	Likelihood	Severitiy	Skor	Kategori
1	Water Level (Drum Ketel)	Volume air pengisi di bawah batas minimum	2	5	10	High
2	Furnace (Ruang Bakar)	Ampas tebu basah atau tercampur tanah	4	3	12	High
3	Steam Pressure (Output)	Tekanan uap di bawah standar kebutuhan	4	3	12	High
4	Lingkungan Kerja	Panas ekstrem, bising, dan debu bertebaran	5	3	15	Very High
5	Aktivitas Pekerja	Pekerja abai menggunakan APD lengkap	3	4	12	High
6	Komponen Pengaman (Safety Valve)	Katup pengaman gagal terbuka (saat tes/kondisi real)	2	4	8	Medium
7	Prosedur Start-up	Masa pemanasan kurang dari 10 hari	1	5	5	Medium

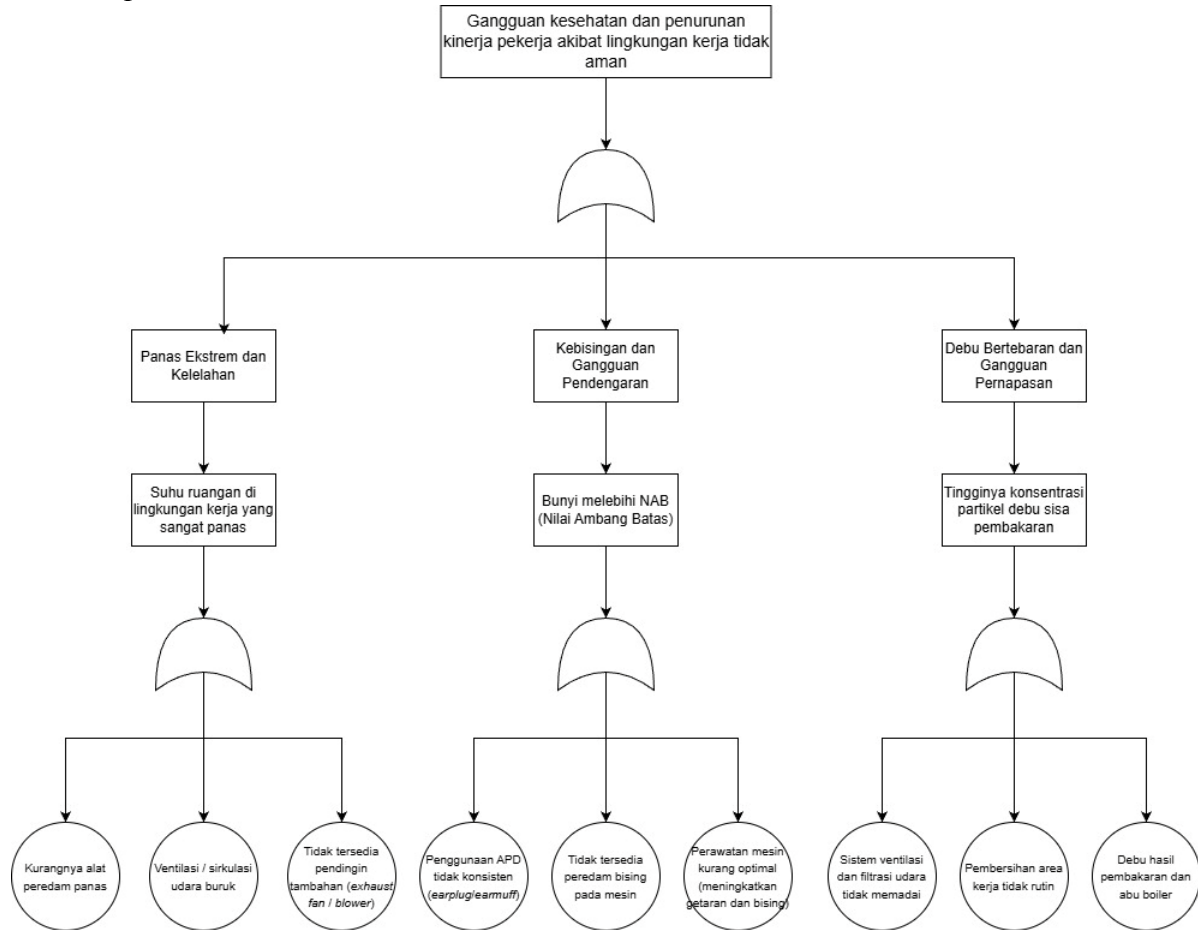
Berdasarkan hasil dari perhitungan *risk assessment* dan pengkategorian level risiko pada Tabel 4.4, maka *node* 4, yaitu lingkungan kerja dengan deviasi atau penyimpangan panas ekstrem, bising, dan debu bertebaran memperoleh skor 15 dengan kategori *very high*

sehingga menjadi prioritas perbaikan serta perlunya penanganan dan rekomendasi terbaik. Beberapa rekomendasi yang diberikan adalah *engineering control* seperti penyediaan peredam bising (*noise barrier*) di sekitar sumber kebisingan utama, *administrative control* seperti memberikan *briefing* K3 rutin terkait bahaya lingkungan kerja dan tanda-tanda kelelahan panas (*heat stress*), serta penyediaan dan kewajiban menggunakan APD khusus di lingkungan kerja Stasiun Ketel.

4.3.3 Fault Tree Analysis (FTA)

Setelah mengetahui potensi atau risiko yang menjadi *top event* berdasarkan hasil dari penilaian risiko (*risk assessment*), yaitu pada *node* lingkungan kerja dengan penyimpangan panas ekstrem, bising, dan debu yang bertebaran dengan skor 15 dan masuk kategori *very high*, maka perlu dilakukan analisis terhadap akar penyebab (*root cause*) menggunakan metode FTA. *Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan metode analisis risiko yang bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab (*root cause*) dari suatu kejadian yang tidak diinginkan (*top event*). Metode ini menggunakan pendekatan deduktif dari atas ke bawah (*top-down*) dengan menggambarkan keterkaitan sebab–akibat yang meliputi kegagalan sistem, kesalahan manusia, serta faktor perusahaan maupun lingkungan yang berpotensi menimbulkan kecelakaan atau kegagalan sistem (Saputra & Yuamita, 2023). Berikut merupakan Gambar 4.3 yang berisikan analisis terhadap akar

penyebab (*root cause*) pada risiko atau potensi bahaya berdasarkan hasil dari penilaian risiko *top event* di Stasiun Ketel:



Gambar 4. 3 *Fault Tree Analysis (FTA) Pada Top Event*

4.3.4 Analytical Hierarchy Process (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan metode pengambilan keputusan yang berfungsi menyederhanakan permasalahan yang rumit ke dalam bentuk kerangka hierarkis. Pendekatan ini memudahkan peneliti dalam mengevaluasi berbagai opsi guna menetapkan solusi yang paling optimal. (Aulia et al., 2024). Metode AHP memberikan kemudahan berupa kemampuan dalam menyederhanakan permasalahan yang kompleks melalui struktur hierarki yang sistematis. Selain itu, teknik ini memungkinkan penentuan bobot prioritas bagi setiap kriteria dan alternatif, serta dilengkapi dengan uji konsistensi untuk menjamin rasionalitas dan validitas keputusan yang diambil.

Berdasarkan hasil dari *risk assessment* di atas dan analisis *root cause*, maka *node* lingkungan kerja dengan deviasi atau penyimpangan panas ekstrem, bising, dan debu bertebaran memperoleh skor 15 dan dikategorikan *very high*. Oleh karena itu, diperlukan rekomendasi terbaik dengan bantuan AHP untuk menentukan alternatif dari setiap rekomendasi yang diberikan mengacu kepada 3 kriteria, yaitu efektivitas, biaya, finansial, dan kemudahan dalam mengimplementasikan rekomendasi tersebut di mana pada kriteria efektivitas, terdapat 3 sub-kriteria yang digunakan, yaitu penurunan bahaya, cakupan perlindungan, dan konsistensi. Berikut merupakan pengujian AHP dalam menentukan prioritas perbaikan di Stasiun Ketel:

1. Perbandingan Antar Kriteria dan Sub-Kriteria (*Pairwise Comparison*)

Pairwise comparison merupakan tahap awal dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang bertujuan untuk membandingkan dua elemen pada satu tingkat hierarki secara berpasangan berdasarkan tingkat kepentingannya terhadap elemen di atasnya. Perbandingan dilakukan menggunakan skala penilaian Saaty (1–9), di mana nilai 1 menunjukkan kedua elemen memiliki tingkat kepentingan yang sama, sedangkan nilai 9 menunjukkan satu elemen memiliki tingkat kepentingan yang mutlak lebih tinggi dibandingkan elemen lainnya. Hasil dari tahap ini adalah matriks perbandingan berpasangan.

Penentuan daftar alternatif perbaikan serta tingkat kepentingan dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dilakukan oleh *expert* yang memiliki kompetensi dan pengalaman langsung di bidang operasional dan keselamatan kerja, yaitu Bapak Iwan Budi selaku Kepala Stasiun Ketel dan Bapak Iwan Hartono selaku Pembimbing Lapangan yang juga menjabat sebagai Kepala Pabrik Tengah PT Madubaru (PG–PS) Madukismo. Kepala Stasiun Ketel memiliki pengalaman hampir 23 tahun dalam mengelola dan mengawasi operasional ketel, sehingga memahami secara mendalam potensi bahaya, deviasi operasional, serta kondisi aktual di lapangan. Sementara itu, Kepala Pabrik Tengah memiliki pengalaman hampir 15 tahun dalam pengelolaan proses produksi dan pengambilan keputusan manajerial, termasuk dalam penerapan kebijakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Keterlibatan kedua *expert* tersebut

menjadikan penentuan prioritas perbaikan bersifat objektif, aplikatif, dan sesuai dengan kondisi nyata di Stasiun Ketel. Berikut merupakan Gambar 4.4 hasil dari perbandingan antar kriteria dan sub-kriteria dalam penelitian ini:

PEMBOBOTAN ANTAR KRITERIA																			
No	Kriteria	Skala																Kriteria	
1	Efektivitas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Biaya
2	Efektivitas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kemudahan
3	Biaya	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kemudahan
PEMBOBOTAN ANTAR SUB-KRITERIA																			
No	Sub-Kriteria	Skala																Sub-Kriteria	
1	Penurunan Bahaya	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Konsistensi
2	Penurunan Bahaya	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Cakupan Perlindungan
3	Konsistensi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Cakupan Perlindungan
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP KRITERIA																			
No	Kriteria (Kemudahan)	Skala																Kriteria (Kemudahan)	
1	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Administratif
2	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD
3	Administratif	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP KRITERIA																			
No	Kriteria (Biaya)	Skala																Kriteria (Biaya)	
1	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Administratif
2	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD
3	Administratif	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB-KRITERIA																			
No	Sub-Kriteria (Penurunan Bahaya)	Skala																Sub-Kriteria (Penurunan Bahaya)	
1	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Administratif
2	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD
3	Administratif	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB-KRITERIA																			
No	Sub-Kriteria (Cakupan Perlindungan)	Skala																Sub-Kriteria (Cakupan Perlindungan)	
1	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Administratif
2	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD
3	Administratif	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB-KRITERIA																			
No	Sub-Kriteria (Konsistensi)	Skala																Sub-Kriteria (Konsistensi)	
1	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Administratif
2	Rekayasa Teknis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD
3	Administratif	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	APD

Gambar 4. 4 Kuesioner Perbandingan Antar Kriteria dan Sub-Kriteria

2. Pembobotan dan Uji Konsistensi

Pembobotan adalah tahap untuk menentukan bobot atau nilai prioritas dari setiap elemen yang telah dibandingkan dalam matriks *pairwise comparison*. Bobot diperoleh dengan cara menormalisasi matriks perbandingan berpasangan dan menghitung nilai rata-rata dari setiap baris matriks. Bobot ini menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing kriteria, subkriteria, atau alternatif dalam pengambilan keputusan. Berikut merupakan Gambar 4.5 hasil dari pembobotan dan uji konsistensi di dalam penelitian ini:

PEMBOBOTAN DAN UJI KONSISTENSI KRTERIA														
Kriteria	Efektivitas	Biaya	Kemudahan	Efektivitas	Biaya	Kemudahan	1	2	3	4 = 3/2	5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1- 1)	7	8 = 6/7
							Total Weight Matrix	eugen vector	Perkalian Matriks	Eugen Value	λ maks	CI	IR	CR
Efektivitas	1	3	3	0,6000	0,6667	0,5000	1,7667	0,5889	1,8222	3,0943	3,0539	0,0270	0,5800	0,0465
Biaya	1/3	1	2	0,2000	0,2222	0,3333	0,7556	0,2519	0,7667	3,0441				
Kemudahan	1/3	1/2	1	0,2000	0,1111	0,1667	0,4778	0,1593	0,4815	3,0233				
Total	1,67	4,50	6,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,07	9,16				
PEMBOBOTAN DAN UJI KONSISTENSI SUB-KRITERIA														
Sub Kriteria	Penurunan Bahaya	Cakupan Perlindungan	Konsistensi	Penurunan Bahaya	Cakupan Perlindungan	Konsistensi	1	2	3	4 = 3/2	5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1- 1)	7	8 = 6/7
							Total Weight Matrix	eugen vector	Perkalian Matriks	Eugen Value	λ maks	CI	IR	CR
Penurunan Bahaya	1	4	3	0,6316	0,5714	0,6667	1,8697	0,6232	1,8908	3,0340	3,0183	0,0092	0,5800	0,0158
Cakupan Perlindungan	1/4	1	1/2	0,1579	0,1429	0,1111	0,4119	0,1373	0,4128	3,0071				
Konsistensi	1/3	2	1	0,2105	0,2857	0,2222	0,7185	0,2395	0,7218	3,0140				
Total	1,58	7,00	4,50	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,03	9,06				

Gambar 4. 5 Pembobotan dan Uji Konsistensi

3. Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria

Tahap ini merupakan proses pengujian konsistensi hasil perbandingan alternatif berdasarkan masing-masing kriteria. Pada tahap ini, setiap alternatif dibandingkan secara berpasangan dengan alternatif lainnya berdasarkan satu kriteria tertentu. Selanjutnya dilakukan pembobotan dan uji konsistensi untuk memastikan bahwa penilaian alternatif terhadap kriteria tersebut konsisten dan dapat diterima. Berikut merupakan Gambar 4.6 hasil dari uji konsistensi alternatif terhadap kriteria di dalam penelitian ini:

MATRIKS DAN UJI KONSISTENSI ALTERNATIF TERHADAP KRITERIA																					
Kemudahan	Rekayasa Teknis	Administratif	APD	Rekayasa Teknis	Administratif	APD	1	2	3	4 = 3/2	5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7							
							Total Weight Matrix	eugen vector	Perkalian Matriks	Eugen Value	λ maks	CI	IR	CR							
							Rekayasa Teknis	1	1/3	1/3	0,1429	0,1818	0,1000	0,4247	0,1416	0,4277	3,0214	3,0538	0,0269	0,5800	0,0464
							Administratif	3	1	2	0,4286	0,5455	0,6000	1,5740	0,5247	1,6169	3,0817				
APD	3	1/2	1	0,4286	0,2727	0,3000	1,0013	0,3338	1,0208	3,0584											
Total	7,00	1,83	3,33	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,07	9,16											
Biaya	Rekayasa Teknis	Administratif	APD	Rekayasa Teknis	Administratif	APD	1	2	3	4 = 3/2	5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7							
							Total Weight Matrix	eugen vector	Perkalian Matriks	Eugen Value	λ maks	CI	IR	CR							
							Rekayasa Teknis	1	1/5	1/4	0,1000	0,1176	0,0769	0,2946	0,0982	0,2952	3,0069	3,0247	0,0123	0,5800	0,0213
							Administratif	5	1	2	0,5000	0,5882	0,6154	1,7036	0,5679	1,7267	3,0406				
APD	4	1/2	1	0,4000	0,2941	0,3077	1,0018	0,3339	1,0106	3,0264											
Total	10,00	1,70	3,25	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,03	9,07											

Gambar 4. 6 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria

4. Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria

Uji konsistensi alternatif terhadap subkriteria dilakukan apabila dalam struktur AHP terdapat subkriteria. Alternatif dibandingkan secara berpasangan berdasarkan setiap subkriteria yang telah ditentukan. Proses ini bertujuan untuk memperoleh bobot alternatif pada tingkat subkriteria serta memastikan konsistensi penilaian melalui perhitungan nilai CR. Berikut merupakan Gambar 4.7 hasil dari uji konsistensi alternatif terhadap sub-kriteria dalam penelitian ini:

MATRIKS DAN UJI KONSISTENSI ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA														
							1	2	3	4 = 3/2	5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7
Subkriteria Penurunan Bahaya	Rekayasa Teknis	Administra tif	APD	Rekayasa Teknis	Administra tif	APD	Total Weight Matrix	eugen vector	Perkalian Matriks	Eugen Value	$\lambda maks$	CI	IR	CR
Rekayasa Teknis	1	3	4	0,6316	0,6923	0,5000	1,8239	0,6080	1,9040	3,1318	3,0741	0,0435	0,5800	0,075
Administratif	1/3	1	3	0,2105	0,2308	0,3750	0,8163	0,2721	0,8346	3,0672				
APD	1/4	1/3	1	0,1579	0,0769	0,1250	0,3598	0,1199	0,3626	3,0234				
Total	1,58	4,33	8,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,10	9,22				
							1	2	3	4 = 3/2	5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7
Subkriteria Cakupan Perlindungan	Rekayasa Teknis	Administra tif	APD	Rekayasa Teknis	Administra tif	APD	Total Weight Matrix	eugen vector	Perkalian Matriks	Eugen Value	$\lambda maks$	CI	IR	CR
Rekayasa Teknis	1	2	3	0,5455	0,6000	0,4286	1,5740	0,5247	1,6169	3,0817	3,0538	0,0269	0,5800	0,0464
Administratif	1/2	1	3	0,2727	0,3000	0,4286	1,0013	0,3338	1,0208	3,0584				
APD	1/3	1/3	1	0,1818	0,1000	0,1429	0,4247	0,1416	0,4277	3,0214				
Total	1,83	3,33	7,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,07	9,16				
							1	2	3	4 = 3/2	5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7
Subkriteria Konsistensi	Rekayasa Teknis	Administra tif	APD	Rekayasa Teknis	Administra tif	APD	Total Weight Matrix	eugen vector	Perkalian Matriks	Eugen Value	$\lambda maks$	CI	IR	CR
Rekayasa Teknis	1	1/3	2	0,2222	0,2174	0,2500	0,6896	0,2299	0,6902	3,0026	3,0037	0,0018	0,5800	0,0032
Administratif	3	1	5	0,6667	0,6522	0,6250	1,9438	0,6479	1,9485	3,0071				
APD	1/2	1/5	1	0,1111	0,1304	0,1250	0,3665	0,1222	0,3667	3,0013				
Total	4,50	1,53	8,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,01	9,01				

Gambar 4. 7 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria

5. Pengambilan Keputusan

Pengambilan keputusan merupakan tahap akhir dalam metode AHP, di mana seluruh bobot yang diperoleh dari setiap tingkat hierarki digabungkan untuk memperoleh nilai prioritas dari setiap alternatif. Nilai prioritas diperoleh dengan mengalikan bobot kriteria, subkriteria, dan alternatif, kemudian menjumlahkannya. Alternatif dengan nilai prioritas global tertinggi dipilih sebagai alternatif terbaik atau rekomendasi utama dalam pengambilan keputusan. Berikut keputusan yang diambil di dalam penelitian ini:

Dari hasil pengambilan keputusan pada Gambar 4.8, maka alternatif yang

PENGAMBILAN KEPUTUSAN						
	Attribute					Alt. Weight Evaluation
	Biaya	Efektivitas			Kemudahan	
	0,25185	0,58889			0,15926	
Attribute weight		Penurunan Bahaya	Cakupan Perlindungan	Konsistensi		
		0,62322	0,13729	0,23949		
Alternatif						
Rekayasa Teknis	0,09819	0,60796	0,52468	0,22987	0,14156	0,345
Administratif	0,56787	0,27210	0,33377	0,64795	0,52468	0,445
APD	0,33394	0,11994	0,14156	0,12218	0,33377	0,210
						1,000

Gambar 4. 8 Pengambilan Keputusan

dipilih berdasarkan perhitungan dari *alternative weight evaluation* sebagai rekomendasi adalah pengendalian administratif dengan nilai 0,445. Hal ini didasari oleh pembobotan pada perbandingan berpasangan yang mengarah ke usulan perbaikan, yaitu pengendalian administratif.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 *Hazard and Operability Study (HAZOP)*

5.1.1 Identifikasi Bahaya

Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara dengan pihak di Stasiun Ketel mengenai risiko atau bahaya yang dapat atau pernah terjadi, terdapat 7 *node* yang diperoleh dalam penelitian ini. Pada *node water level* (drum ketel), deviasi terjadi pada jumlah air dingin yang kurang (*less*) sehingga dapat menyebabkan *overheating* pada pipa ketel yang berujung pada ledakan, kerusakan permanen pada ketel, dan ancaman langsung terhadap nyawa pekerja.

Pada *node furnace* (ruang bakar), deviasi terjadi pada kualitas bahan bakar yang berbeda (*other than*) di mana ampas tebu yang basah atau tercampur tanah sehingga kondisi bahan bakar menyimpang dari kondisi operasi normal. Dampak yang ditimbulkan antara lain pembakaran tidak stabil, pengikisan dinding ketel, serta potensi percikan api keluar dari ruang bakar yang meningkatkan risiko kebakaran dan cedera.

Pada *node steam pressure (output)*, deviasi terjadi pada tekanan yang kurang (*less*) di mana tekanan yang dihasilkan berada di bawah standar yang ditetapkan. Akibatnya, turbin dan generator tidak bekerja optimal, proses produksi terhambat, serta meningkatkan beban kerja dan tekanan mental operator. Kondisi ini dapat berdampak pada efisiensi dan keberlangsungan produksi.

Pada *node lingkungan kerja*, deviasi terjadi pada suhu dan udara yang meningkat dari batas normal (*more*) di mana terjadi panas ekstrem, kebisingan tinggi, dan debu berlebihan terjadi akibat kurangnya alat peredam panas dan sirkulasi udara yang buruk. Dampaknya adalah dehidrasi, kelelahan (*fatigue*), gangguan pendengaran, dan gangguan pernapasan, yang secara tidak langsung meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja (*human error*).

Pada *node aktivitas pekerja*, deviasi terjadi pada kepatuhan pada SOP yang kurang bahkan tidak dijalankan oleh beberapa pekerja (*no/less*) karena rendahnya kesadaran para pekerja terhadap K3. Hal ini dapat meningkatkan risiko luka bakar serius, paparan bahan

panas, hingga kecelakaan kerja fatal, terutama di area dengan potensi bahaya tinggi seperti stasiun ketel.

Pada *node* komponen pengamanan (*safety valve*), deviasi yang terjadi adalah pada saat kondisi tekanan yang tinggi namun tidak dapat terbuka (*no/less*) karena disebabkan oleh karat, kotoran debu atau tanah, serta kegagalan saat slim test. Jika *safety valve* tidak berfungsi, tekanan berlebih tidak dapat dilepaskan dan berpotensi menyebabkan ledakan ketel.

Pada *node* prosedur *start-up*, deviasi yang terjadi adalah pada waktu dan suhu yang kurang dari yang telah ditetapkan, yaitu ± 10 hari kibat tekanan target produksi dapat menyebabkan *thermal shock*. Dampak yang dapat terjadi adalah kerusakan pada struktur mesin ketel, keretakan dinding, dan penurunan umur pakai peralatan, serta meningkatkan risiko kegagalan operasi di kemudian hari.

5.1.2 Risk Assessment

Setelah melakukan identifikasi dan terhadap bahaya atau risiko yang terjadi di Stasiun Ketel, maka dilakukan pemberian skor dan level atau kategori pada risiko tersebut dengan cara mengalikan *likelihood* (L) dengan *severity* (S) di mana terdapat 6 kategori, yaitu *very low*, *low*, *medium*, *high*, *very high*, dan *extreme*. Berikut merupakan Tabel 5.1 yang berisi pemetaan pada risiko atau bahaya yang terdapat di Stasiun Ketel:

Tabel 5. 1 *Risk Assessment*

		<i>Severity</i>				
		<i>Insignificant 1</i>	<i>Minor 2</i>	<i>Significant 3</i>	<i>Major 4</i>	<i>Severe 5</i>
<i>Likelihood</i>	<i>5 Almost Certain</i>	Kerusakan struktur ketel (<i>thermal shock</i>); risiko keretakan dinding		Dehidrasi; kelelahan (<i>fatigue</i>); gangguan pendengaran & pernapasan		
	<i>4 Likely</i>			Tekanan uap tidak stabil; pengikisan		

			dinding ketel; risiko percikan api keluar dan Turbin & generator terhambat; proses produksi terhenti; kelelahan mental operator		
				Luka bakar serius; terpapar percikan api/bahan panas; kecelakaan kerja fatal	
				Ledakan akibat tekanan berlebih yang tidak terbuang	Risiko Fatal: Potensi ledakan ketel; kerusakan pipa; ancaman nyawa pekerja
3 <i>Moderate</i>					
2 <i>Unlikely</i>					
1 <i>Rare</i>					

Dari pemetaan pada Tabel 5.1, terdapat risiko atau bahaya yang dapat terjadi sewaktu-waktu berdasarkan 7 *node* yang diperoleh dari hasil identifikasi bahaya. Berdasarkan hasil pemetaan, pada kategori *very high* terdapat 1 potensi atau bahaya yang dapat terjadi pada *node* lingkungan kerja. Kemudian, pada kategori *high* terdapat 4 potensi atau bahaya yang dapat terjadi pada *node water level, furnace, steam pressure*, dan aktivitas pekerja. Lalu, pada kategori *medium* terdapat 2 potensi atau bahaya yang dapat terjadi pada *node safety*

valve dan prosedur *start-up*. Oleh karena itu, perlu adanya penanganan atau pengendalian prioritas terhadap risiko pada *node* lingkungan kerja karena berdasarkan hasil dari *risk assessment*, skor yang diperoleh sebesar 15 dan masuk kategori *very high*.

Berdasarkan hasil *risk assessment*, *node* lingkungan kerja memperoleh nilai risiko sebesar 15 yang termasuk dalam kategori *very high*, dengan nilai *likelihood* (L) = 5 dan *severity* (S) = 3. Nilai ini menunjukkan bahwa bahaya lingkungan kerja memiliki kemungkinan kejadian yang sangat tinggi dengan tingkat dampak yang cukup serius. Nilai *likelihood* (L) = 5 diberikan karena paparan panas ekstrem, kebisingan, dan debu bertebaran terjadi secara rutin dan berulang selama proses operasional berlangsung akibat karakteristik proses produksi serta belum optimalnya sistem ventilasi dan pengendalian yang diterapkan.

Sementara itu, nilai *severity* (S) = 3 menunjukkan bahwa dampak yang ditimbulkan tergolong signifikan, seperti dehidrasi dan kelelahan (*fatigue*), gangguan pendengaran, serta gangguan pernapasan. Dampak tersebut berpotensi menurunkan konsentrasi dan kinerja pekerja, sehingga meningkatkan risiko kesalahan dan kecelakaan kerja. Dengan mempertimbangkan tingginya frekuensi paparan dan dampak yang ditimbulkan, maka penilaian risiko sebesar 15 (*very high*) dinilai telah sesuai dan menjadikan *node* lingkungan kerja sebagai prioritas utama dalam penerapan pengendalian risiko sehingga perlu diberikan rekomendasi yang disesuaikan dengan kondisi perusahaan. Beberapa rekomendasi yang dapat diberikan adalah rekayasa teknis, pengendalian administratif, serta pengadaan APD.

5.2 Fault Tree Analysis (FTA)

5.2.1 Analisis Akar Penyebab (*Root Cause*)

Berdasarkan hasil identifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP, diketahui bahwa lingkungan kerja menjadi salah satu *node* dengan tingkat risiko yang tergolong tinggi dan masuk dalam kategori *very high*. Oleh karena itu, untuk menelusuri penyebab utama dari risiko tersebut, dilakukan analisis lanjutan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode FTA digunakan untuk mengkaji keterkaitan sebab dan akibat secara

sistematis, dimulai dari kejadian puncak (*top event*) hingga ke faktor penyebab paling dasar (*basic event*).

Pada analisis FTA ini, kejadian puncak (*top event*) yang ditetapkan adalah gangguan kesehatan serta penurunan kinerja pekerja yang disebabkan oleh kondisi lingkungan kerja yang tidak aman. Kejadian tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor utama yang saling berkaitan dan disusun dengan logika OR gate, yang menunjukkan bahwa keberadaan salah satu atau beberapa faktor tersebut sudah dapat memicu terjadinya kejadian puncak.

5.2.2 Panas Ekstrem dan Kelelahan Pekerja

Salah satu faktor dominan yang berkontribusi terhadap terjadinya *top event* adalah paparan panas ekstrem di lingkungan kerja. Berdasarkan hasil analisis FTA, kondisi panas ekstrem tersebut disebabkan oleh tingginya suhu ruangan, terutama pada area operasional yang berada dekat dengan sumber panas, seperti ketel uap. Adapun akar permasalahan yang memicu kondisi tersebut meliputi tidaknya ketersediaan alat peredam panas, buruknya sistem ventilasi atau sirkulasi udara, serta tidak adanya pendingin tambahan, seperti *exhaust fan* atau *blower*.

Kondisi lingkungan kerja dengan suhu tinggi berpotensi menimbulkan dehidrasi dan kelelahan (*fatigue*) pada pekerja. Kelelahan yang dialami pekerja dapat menurunkan tingkat konsentrasi, meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan kerja, serta memperbesar risiko kecelakaan kerja. Selain itu, paparan panas secara terus-menerus dalam jangka waktu yang panjang juga dapat berdampak pada penurunan produktivitas dan kenyamanan kerja.

5.2.3 Kebisingan dan Gangguan Pendengaran

Faktor selanjutnya yang turut berkontribusi terhadap terjadinya *top event* adalah paparan kebisingan yang melebihi Nilai Ambang Batas (NAB). Berdasarkan hasil analisis menggunakan diagram FTA, kondisi kebisingan berlebih tersebut disebabkan oleh beberapa akar permasalahan, antara lain penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang belum diterapkan secara konsisten, tidak tersedianya sistem peredam bising pada mesin, serta kegiatan perawatan mesin yang kurang optimal sehingga menimbulkan getaran dan tingkat kebisingan yang tinggi.

Paparan kebisingan yang berlangsung secara terus-menerus dapat mengakibatkan gangguan pendengaran, baik yang bersifat sementara maupun permanen. Selain itu, kebisingan juga berpotensi meningkatkan tingkat stres pekerja serta menghambat komunikasi antarpekerja, yang pada akhirnya dapat berdampak negatif terhadap keselamatan kerja dan kinerja pekerja secara keseluruhan.

5.2.4 Debu Bertebaran dan Gangguan Pernapasan

Faktor ketiga yang teridentifikasi dalam analisis FTA adalah keberadaan debu di lingkungan kerja, khususnya debu yang berasal dari sisa pembakaran abu *boiler*. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh tingginya konsentrasi partikel debu di udara pada area kerja. Berdasarkan hasil analisis, kondisi tersebut dipicu oleh beberapa akar permasalahan, antara lain sistem ventilasi dan filtrasi udara yang belum memadai, kegiatan pembersihan area kerja yang tidak dilakukan secara rutin, serta penanganan debu sisa pembakaran yang kurang optimal. Paparan debu dalam jangka waktu tertentu berpotensi menimbulkan gangguan pada sistem pernapasan, mulai dari iritasi saluran pernapasan hingga peningkatan risiko terjadinya penyakit akibat kerja. Selain itu, lingkungan kerja yang berdebu juga dapat menurunkan tingkat kenyamanan serta kualitas kinerja pekerja.

5.2.5 Rekomendasi Pengendalian

Hasil analisis FTA menunjukkan bahwa gangguan kesehatan dan penurunan kinerja pekerja tidak disebabkan oleh satu faktor saja, melainkan merupakan hasil dari kombinasi berbagai kelemahan teknis dan manajerial. Oleh karena itu, penerapan pengendalian risiko perlu dilakukan secara komprehensif dan terpadu. Berdasarkan hierarki pengendalian risiko K3, upaya pengendalian yang dapat diprioritaskan meliputi rekayasa teknis (*engineering control*) melalui peningkatan sistem ventilasi, sirkulasi udara, dan juga penyediaan peredam bising (*noise barrier*), pengendalian administratif melalui memberikan *briefing* K3 rutin terkait bahaya lingkungan kerja dan tanda-tanda kelelahan panas (*heat stress*), penjadwalan perawatan mesin serta pembersihan area kerja secara berkala, dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) secara konsisten untuk mengurangi paparan kebisingan dan debu. Penerapan langkah-langkah pengendalian tersebut diharapkan mampu menurunkan tingkat risiko lingkungan kerja, meningkatkan aspek

kesehatan dan keselamatan pekerja, serta mendukung tercapainya target *zero accident* di area kerja.

5.3 Analytical Hierarchy Process (AHP)

5.3.1 Pembobotan dan Uji Konsistensi

5.3.1.1 Pembobotan dan Uji Konsistensi Kriteria

Dalam pembobotan dan uji konsistensi terhadap kriteria AHP, terdapat 3 kriteria yang digunakan, yaitu efektivitas, biaya, dan kemudahan. Berdasarkan hasil pembobotan skor *pairwise comparison*, maka dilakukan perhitungan untuk memperoleh tingkat kepentingan yang relatif antar kriteria.

5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7
λ_{maks}	CI	IR	CR
3,0539	0,0270	0,5800	0,0465

Gambar 5. 1 Hasil Pembobotan dan Uji Konsistensi Kriteria

Berdasarkan hasil perhitungan pada Gambar 5.1, maka nilai λ maks (Lambda Maksimum) adalah 3,0539 yang menunjukkan tingkat konsistensi matriks perbandingan berpasangan di mana nilai tersebut masih sangat dekat dengan nilai ideal, sehingga dapat dikatakan penilaian responden relatif konsisten. Kemudian, pada nilai *consistency index* (CI) diperoleh nilai 0,027 di mana nilai tersebut menunjukkan tingkat inkonsistensi yang rendah sehingga perbandingan antar kriteria tidak menyimpang jauh. Lalu, untuk nilai *index random* (IR) yang digunakan adalah 0,58 karena kriteria yang digunakan berjumlah 3 ($n = 3$). Untuk nilai *consistency ratio* (CR) diperoleh nilai sebesar 0,0465 di mana jika $CR \leq 0,10$, maka perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dianggap konsisten dan dapat diterima.

5.3.1.2 Pembobotan dan Uji Konsistensi Sub-Kriteria

Dalam pembobotan dan uji konsistensi terhadap sub-kriteria AHP, terdapat 3 sub-kriteria yang digunakan, yaitu penurunan bahaya, cakupan perlindungan, dan konsistensi. Berdasarkan hasil pembobotan skor *pairwise comparison*, maka dilakukan perhitungan untuk memperoleh tingkat kepentingan yang relatif antar sub-kriteria.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Gambar 5.2, maka nilai λ maks (Lambda

5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7
λ maks	CI	IR	CR
3,0183	0,0092	0,5800	0,0158

Gambar 5. 2 Hasil Pembobotan dan Uji Konsistensi Sub-Kriteria Maksimum) adalah 3,0183 yang menunjukkan tingkat konsistensi matriks perbandingan berpasangan di mana nilai tersebut masih sangat dekat dengan nilai ideal, sehingga dapat dikatakan penilaian responden relatif konsisten. Kemudian, pada nilai *consistency index* (CI) diperoleh nilai 0,0092 di mana nilai tersebut menunjukkan tingkat inkonsistensi yang rendah sehingga perbandingan antar kriteria tidak menyimpang jauh. Lalu, untuk nilai *index random* (IR) yang digunakan adalah 0,58 karena kriteria yang digunakan berjumlah 3 ($n = 3$). Untuk nilai *consistency ratio* (CR) diperoleh nilai sebesar 0,0158 di mana jika $CR \leq 0,10$, maka perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dianggap konsisten dan dapat diterima.

5.3.2 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria

5.3.2.1 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria Kemudahan

Berikut ini merupakan hasil dari uji konsistensi alternatif kriteria kemudahan terhadap 3 alternatif, yaitu rekayasa teknis, administratif, dan APD:

5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7
λ maks	CI	IR	CR
3,0538	0,0269	0,5800	0,0464

Gambar 5. 3 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria Kemudahan

Berdasarkan hasil perhitungan pada gambar 5.3, maka nilai λ maks (Lambda Maksimum) adalah 3,0538 yang menunjukkan tingkat konsistensi matriks perbandingan berpasangan di mana nilai tersebut masih sangat dekat dengan nilai ideal, sehingga dapat dikatakan penilaian responden relatif konsisten. Kemudian, pada nilai *consistency index* (CI) diperoleh nilai 0,0296 di mana nilai tersebut menunjukkan tingkat inkonsistensi yang rendah sehingga perbandingan antar kriteria tidak menyimpang jauh. Lalu, untuk nilai *index random* (IR) yang digunakan adalah 0,58 karena kriteria yang digunakan berjumlah 3 ($n = 3$). Untuk nilai *consistency ratio* (CR) diperoleh nilai sebesar 0,0464 di mana jika $CR \leq 0,10$, maka perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dianggap konsisten dan dapat diterima.

5.3.2.2 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria Biaya

Berikut ini merupakan hasil dari uji konsistensi alternatif kriteria biaya terhadap 3 alternatif, yaitu rekayasa teknis, administratif, dan APD:

5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7
λ maks	CI	IR	CR
3,0247	0,0123	0,5800	0,0213

Gambar 5. 4 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Kriteria Biaya

Berdasarkan hasil perhitungan pada gambar 5.4, maka nilai λ maks (Lambda Maksimum) adalah 3,0247 yang menunjukkan tingkat konsistensi matriks perbandingan berpasangan di mana nilai tersebut masih sangat dekat dengan nilai ideal, sehingga dapat dikatakan penilaian responden relatif konsisten. Kemudian, pada nilai *consistency index* (CI) diperoleh nilai 0,0123 di mana nilai tersebut menunjukkan tingkat inkonsistensi yang rendah sehingga perbandingan antar kriteria tidak menyimpang jauh. Lalu, untuk nilai *index random* (IR) yang digunakan adalah 0,58 karena kriteria yang digunakan berjumlah 3 ($n = 3$). Untuk nilai *consistency ratio* (CR) diperoleh nilai sebesar 0,0213 di mana jika $CR \leq 0,10$, maka perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dianggap konsisten dan dapat diterima.

5.3.3 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria

5.3.3.1 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria Penurunan Bahaya

Berikut ini merupakan hasil dari uji konsistensi alternatif sub-kriteria penurunan bahaya terhadap 3 alternatif, yaitu rekayasa teknis, administratif, dan APD:

Berdasarkan hasil perhitungan pada Gambar 5.5, maka nilai λ maks (Lambda

$5 = \text{Sum } 4 / \text{Sum } 1$	$6 = (5 - \text{Sum } 1) / (\text{Sum } 1 - 1)$	7	$8 = 6/7$
$\lambda \text{ maks}$	CI	IR	CR
3,0741	0,0435	0,5800	0,075

Gambar 5. 5 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria Penurunan Bahaya Maksimum) adalah 3,0741 yang menunjukkan tingkat konsistensi matriks perbandingan berpasangan di mana nilai tersebut masih sangat dekat dengan nilai ideal, sehingga dapat dikatakan penilaian responden relatif konsisten. Kemudian, pada nilai *consistency index* (CI) diperoleh nilai 0,0435 di mana nilai tersebut menunjukkan tingkat inkonsistensi yang rendah sehingga perbandingan antar kriteria tidak menyimpang jauh. Lalu, untuk nilai *index random* (IR) yang digunakan adalah 0,58 karena kriteria yang digunakan berjumlah 3 ($n = 3$). Untuk nilai *consistency ratio* (CR) diperoleh nilai sebesar 0,0075 di mana jika $CR \leq 0,10$, maka perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dianggap konsisten dan dapat diterima.

5.2.3.2 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria Cakupan Perlindungan

Berikut ini merupakan hasil dari uji konsistensi alternatif sub-kriteria cakupan perlindungan terhadap 3 alternatif, yaitu rekayasa teknis, administratif, dan APD:

$5 = \text{Sum } 4 / \text{Sum } 1$	$6 = (5 - \text{Sum } 1) / (\text{Sum } 1 - 1)$	7	$8 = 6/7$
$\lambda \text{ maks}$	CI	IR	CR
3,0538	0,0269	0,5800	0,0464

Gambar 5. 6 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria Cakupan Perlindungan

Berdasarkan hasil perhitungan pada gambar 5.6, maka nilai λ maks (Lambda Maksimum) adalah 3,0538 yang menunjukkan tingkat konsistensi matriks perbandingan berpasangan di mana nilai tersebut masih sangat dekat dengan nilai ideal, sehingga dapat dikatakan penilaian responden relatif konsisten. Kemudian, pada nilai *consistency index* (CI) diperoleh nilai 0,0269 di mana nilai tersebut menunjukkan tingkat inkonsistensi yang rendah sehingga perbandingan antar kriteria tidak menyimpang jauh. Lalu, untuk nilai *index random* (IR) yang digunakan adalah 0,58 karena kriteria yang digunakan berjumlah 3 ($n = 3$). Untuk nilai *consistency ratio* (CR) diperoleh nilai sebesar 0,0464 di mana jika $CR \leq 0,10$, maka perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dianggap konsisten dan dapat diterima.

5.3.3.3 Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria Konsistensi

Berikut ini merupakan hasil dari uji konsistensi alternatif sub-kriteria konsistensi terhadap 3 alternatif, yaitu rekayasa teknis, administratif, dan APD:

Berdasarkan hasil perhitungan pada Gambar 5.7, maka nilai λ maks (Lambda

5 = Sum 4/Sum 1	6 = (5 - Sum 1)/(Sum 1 - 1)	7	8 = 6/7
λ maks	CI	IR	CR
3,0037	0,0018	0,5800	0,0032

Gambar 5. 7 Hasil Uji Konsistensi Alternatif Terhadap Sub-Kriteria Konsistensi Maksimum) adalah 3,0037 yang menunjukkan tingkat konsistensi matriks perbandingan berpasangan di mana nilai tersebut masih sangat dekat dengan nilai ideal, sehingga dapat dikatakan penilaian responden relatif konsisten. Kemudian, pada nilai *consistency index* (CI) diperoleh nilai 0,0018 di mana nilai tersebut menunjukkan tingkat inkonsistensi yang rendah sehingga perbandingan antar kriteria tidak menyimpang jauh. Lalu, untuk nilai *index random* (IR) yang digunakan adalah 0,58 karena kriteria yang digunakan berjumlah 3 ($n = 3$). Untuk nilai *consistency ratio* (CR) diperoleh nilai sebesar 0,0032 di mana jika $CR \leq 0,10$, maka perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dianggap konsisten dan dapat diterima.

5.3.4 Pengambilan Keputusan

Berikut merupakan hasil dari pengambilan keputusan AHP:

PENGAMBILAN KEPUTUSAN						
Attribute weight	Attribute					Alt. Weight Evaluation
	Biaya	Efektivitas			Kemudahan	
	0,25185	0,58889			0,15926	
		Penurunan Bahaya	Cakupan Perlindungan	Konsistensi		
		0,62322	0,13729	0,23949		
Alternatif						
Rekayasa Teknis	0,09819	0,60796	0,52468	0,22987	0,14156	0,345
Administratif	0,56787	0,27210	0,33377	0,64795	0,52468	0,445
APD	0,33394	0,11994	0,14156	0,12218	0,33377	0,210
1,000						

Gambar 5. 8 Pengambilan Keputusan

Berdasarkan hasil pada Gambar 5.8, pada pembobotan kriteria (*attribute weight*) menunjukkan masing-masing kepentingan kriteria, di mana efektivitas memperoleh nilai 0,58889; biaya memperoleh nilai 0,25185; dan kemudahan memperoleh nilai 0,15926 sehingga efektivitas menjadi kriteria paling dominan dalam pengambilan keputusan, jauh lebih penting dibandingkan biaya dan kemudahan karena keselamatan lebih diprioritaskan dibandingkan efisiensi biaya.

Pada kriteria efektivitas, terdapat 3 subkriteria, yaitu penurunan bahaya, cakupan perlindungan, dan konsistensi. Penurunan bahaya memperoleh nilai 0,62322; cakupan perlindungan memperoleh nilai 0,13729; dan konsistensi memperoleh nilai 0,23949 sehingga sub-kriteria penurunan bahaya menjadi faktor paling menentukan di mana menegaskan bahwa alternatif terbaik adalah yang paling mampu mengurangi tingkat risiko.

Kemudian, terdapat 3 alternatif yang diberikan sebagai rekomendasi terhadap risiko yang menjadi prioritas, yaitu rekayasa teknis, pengendalian administratif, dan juga APD. Rekayasa teknis kuat dalam hal aspek penurunan bahaya dan cakupan perlindungan, namun memiliki nilai yang relatif rendah pada biaya dan kemudahan sehingga nilai atau bobot yang diperoleh adalah 0,345. Pengendalian administratif sangat unggul dalam aspek biaya dan kemudahan di mana memiliki konsistensi penerapan yang baik. Namun, efektivitasnya tidak sebaik rekayasa tapi secara bobot kriteria biaya dan kemudahan tetap

memberikan kontribusi sehingga memperoleh nilai atau bobot tertinggi, yakni 0,445. Beberapa rekomendasi yang dapat diberikan dengan menggunakan pengendalian administratif adalah, seperti penyusunan SOP sederhana (internal), *briefing* K3 rutin (tanpa trainer luar), *checklist* harian & izin kerja, serta Poster / rambu K3 sederhana.

APD merupakan rekomendasi yang paling mudah dan juga relatif murah namun secara efektivitas dalam penurunan bahaya relatif rendah karena APD merupakan pengendalian tingkat akhir (*last line of defense*) sehingga bobot atau nilai yang diperoleh adalah 0,210. Oleh karena itu, maka diperoleh rekomendasi berupa pengendalian administratif sehingga dapat dijadikan prioritas untuk pengendalian risiko di lingkungan kerja stasiun ketel. Hal ini disebabkan oleh kombinasi biaya yang relatif rendah, kemudahan penerapan, serta konsistensi pelaksanaan, meskipun dari sisi teknis tidak seefektif rekayasa teknis. Namun demikian, hasil yang didapat bukan berarti mengabaikan pengendalian yang lain. Oleh karenanya, pendekatan berlapis (*hierarchy of control*) tetap disarankan namun dengan catatan bahwa pengendalian administratif sebagai fokus utama, didukung oleh rekayasa teknis dan penggunaan APD untuk mencapai target *zero accident*.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian:

1. Berdasarkan identifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP di Stasiun Ketel PT Madubaru (PG–PS) Madukismo, diperoleh 7 node risiko, yaitu *water level*, *furnace*, *steam pressure*, lingkungan kerja, aktivitas pekerja, *safety valve*, dan prosedur *start-up*. Deviasi yang terjadi meliputi kekurangan air drum ketel yang berisiko menyebabkan *overheating* dan ledakan, kualitas bahan bakar yang tidak sesuai, tekanan uap di bawah standar, serta kondisi lingkungan kerja dengan panas ekstrem, kebisingan, dan debu berlebih. Selain itu, rendahnya kepatuhan terhadap SOP, kegagalan fungsi *safety valve*, dan prosedur *start-up* yang tidak sesuai berpotensi menimbulkan kerusakan peralatan, kecelakaan kerja, hingga ancaman keselamatan pekerja. Hasil penilaian risiko menunjukkan bahwa lingkungan kerja merupakan node dengan tingkat risiko *very high*, sehingga dianalisis lebih lanjut menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Hasil FTA menunjukkan bahwa gangguan kesehatan dan penurunan kinerja pekerja dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu paparan panas ekstrem, kebisingan berlebih, dan debu, yang disebabkan oleh kelemahan teknis dan manajerial. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian risiko secara terintegrasi melalui rekayasa teknis, pengendalian administratif, dan penggunaan APD secara konsisten guna menurunkan risiko dan mendukung pencapaian *zero accident*.
2. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, penerapan K3 di Stasiun Ketel PT Madubaru (PG–PS) Madukismo telah dilaksanakan, namun belum berjalan optimal. SOP dan APD telah tersedia, tetapi pelaksanaannya di lapangan masih belum konsisten akibat rendahnya kesadaran dan kepatuhan pekerja. Selain itu, kondisi lingkungan kerja berupa panas ekstrem, kebisingan tinggi, dan debu berlebih berpotensi meningkatkan kelelahan, menurunkan konsentrasi, serta memperbesar risiko kecelakaan kerja. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan

kedisiplinan pekerja, pengawasan K3, serta penguatan penerapan prosedur secara berkelanjutan agar risiko kecelakaan dapat ditekan dan target *zero accident* dapat tercapai.

3. Berdasarkan identifikasi risiko menggunakan metode HAZOP, node lingkungan kerja ditetapkan sebagai fokus utama perbaikan karena memiliki deviasi kondisi melebihi batas normal (*more*), berupa paparan panas ekstrem, kebisingan tinggi, dan debu berlebih. Kondisi tersebut disebabkan oleh sistem peredam panas dan ventilasi yang belum optimal, serta berdampak pada dehidrasi, kelelahan (*fatigue*), gangguan pendengaran, dan gangguan pernapasan, yang berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan kerja akibat human error. Hasil penilaian risiko menunjukkan nilai 15 (*very high*) dengan *likelihood* 5 dan *severity* 3, menandakan frekuensi kejadian yang tinggi dengan dampak yang cukup serius. Analisis lanjutan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) menunjukkan bahwa gangguan kesehatan dan penurunan kinerja pekerja dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu panas ekstrem, kebisingan melebihi NAB, dan paparan debu, yang berasal dari kombinasi kelemahan teknis dan manajerial. Oleh karena itu, pengendalian risiko perlu dilakukan secara terintegrasi melalui rekayasa teknis, pengendalian administratif, dan penggunaan APD. Berdasarkan penentuan prioritas menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), pengendalian administratif menjadi alternatif paling prioritas dengan bobot 0,445 karena dinilai paling efektif, mudah diterapkan, dan sesuai dengan keterbatasan anggaran perusahaan. Rekomendasi perbaikan meliputi penguatan dan penegakan SOP, peningkatan pelatihan dan *safety briefing*, serta pengawasan kerja yang lebih ketat guna mendukung pencapaian target *zero accident* di Stasiun Ketel.

6.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat diberikan terhadap penelitian ini, baik penelitian selanjutnya maupun bagi perusahaan atau tempat dilakukannya pengambilan data:

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar metode yang telah digunakan dalam penelitian ini, yaitu HAZOP, FTA, dan AHP, dapat dikombinasikan dengan

metode analisis risiko lainnya, seperti *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) atau *Bow-Tie Analysis*. Penggabungan beberapa metode tersebut diharapkan mampu menghasilkan analisis risiko yang lebih menyeluruh dan mendalam, terutama dalam mengidentifikasi akar penyebab (*root cause*) kecelakaan kerja secara lebih sistematis dan terstruktur. Selain itu, penelitian selanjutnya juga diharapkan dapat memperluas fokus kajian dengan memasukkan aspek perilaku pekerja dan budaya keselamatan kerja (*safety culture*). Hal ini dapat dilakukan melalui penyebaran kuesioner, wawancara, atau metode survei lainnya untuk mengetahui tingkat pengetahuan, kesadaran, dan kepatuhan pekerja terhadap penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Dengan mempertimbangkan faktor teknis dan nonteknis secara bersamaan, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi pengendalian risiko yang lebih efektif dan berkelanjutan.

2. Untuk pihak perusahaan, disarankan agar lebih memprioritaskan penerapan pengendalian administratif, khususnya melalui penyusunan dan penerapan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang lebih jelas, sistematis, dan mudah dipahami oleh seluruh pekerja, terutama di area Stasiun Ketel. Selain itu, perusahaan perlu meningkatkan pelaksanaan pelatihan K3 dan *safety briefing* secara rutin dan berkelanjutan agar pekerja memiliki pemahaman yang lebih baik mengenai potensi bahaya di lingkungan kerja serta pentingnya kepatuhan terhadap prosedur keselamatan kerja. Selanjutnya, perusahaan diharapkan dapat memperkuat pengawasan pelaksanaan K3 di lapangan, misalnya dengan menunjuk petugas atau supervisor yang bertanggung jawab untuk memastikan penerapan SOP berjalan secara konsisten serta penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) sesuai ketentuan. Dengan peningkatan pengendalian administratif dan pengawasan yang optimal, diharapkan tingkat risiko kecelakaan kerja dapat diminimalkan dan budaya keselamatan kerja di Stasiun Ketel dapat terus ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afiq, M. (2024). Analisis Manajemen Risiko Pada Pelaksanaan Pembangunan Bangunan Hijau Di Kota Semarang. *JURNAL SYNTAX ADMIRATION*, 5(7).
- Agustin, D. (2024). Metode Pembelajaran Observasi Lapangan (Outdoor Study) Sebagai Konsep Pembelajaran Buku Ajar Interior Bangunan Komersial. *JAUR (JOURNAL OF ARCHITECTURE AND URBANISM RESEARCH)*, 8(1), 168–174. <https://doi.org/10.31289/jaur.v8i1.12984>
- Agustina, D., & Utari, D. (2024). Evaluasi penerapan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 50 Tahun 2012 di Perusahaan Manufaktur X Tahun 2024. *Human Error and Safety*, 1(2), 126–144. <https://doi.org/10.61511/hes.v1i2.2024.1416>
- Andivas, M., Ismail Kurnia, W., Nuvira Mada, P., Febryantri Wahono, N., & Hindarto Wibowo, A. (2024). Analysis of Work Accidents in Refurbish Cranes Using the HAZOP Method Approach. *Metode Jurnal Teknik Industri*, (10), 2024.
- Arizqi, F. S. (2023). The Risk Assessment Pada Pengoperasian Boiler TWA di Unit Boiler PPSDM MIGAS Cepu Menggunakan Metode HAZOP. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 13(2), 33–44. <https://doi.org/10.37525/sp/2023-2/468>
- Askar, A., Hidayat, & Sani, A. (2022). *HUBUNGAN IMPLEMENTASI PROGRAM K3 TERHADAP PRODUKTIVITAS KERJA PADA PEKERJA DI PT. INDUSTRI KAPAL INDONESIA*.
- Aulia, S., Al-Fa'th, N. R., Nugraha, D., Ilham, M. F. N., & Arbansyah, A. (2024). Penerapan Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) dalam Penentuan Nilai Akhir Mahasiswa. *Jurnal Informatika Dan Teknologi Pendidikan*, 4(2), 109–118. <https://doi.org/10.59395/jitp.v4i2.107>
- Bastuti, S., & TH, E. (2021). IDENTIFICATION OF POTENTIAL HAZARDS ON PRODUCTION MACHINES WITH HAZOPS AND FISHBONE DIAGRAM IN PT. SILINDER KONVERTER INTERNASIONAL. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 15(1), 17–25. <https://doi.org/10.24853/sintek.15.1.17-25>
- Daniallabib. (2024). ANALISIS RISIKO KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) MENGGUNAKAN METODE FAILURE METODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA). *JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI DAN INOVASI*, 2(1), 45–64. <https://doi.org/10.59024/jisi.v2i1.599>
- Daniallabib, & Apsari, A. E. (2024). ANALISIS RISIKO KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) MENGGUNAKAN METODE FAILURE METODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA). *JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI DAN INOVASI*, 2(1), 45–64. <https://doi.org/10.59024/jisi.v2i1.599>
- Fabian, A. I., Karjoko, L., & Najicha, F. U. (2024). Analisis Pengaturan Perlindungan Hukum Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Pada Pekerja Kurir Ekspedisi Ditinjau Dari Asas Keadilan Pancasila. *Terang: Jurnal Kajian Ilmu Sosial, Politik Dan Hukum*, 1(1), 224–235. <https://doi.org/10.62383/terang.v1i1.91>

- Fatah, M. A., Putra, F. E., & Heru, H. (2025). Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Dengan Metode Hazard And Operability Study (HAZOP) pada PT. Putra Agri Pas. *JUTIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(3), 2783–2789. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i3.46973>
- Febryanto, I. D., Berlianto, R., & Prihono. (2023). Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) Method in Selecting Warehouse Locations for Onlineshop Goods Storage (Case Study: Expedited Shipment of Finished Goods). *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, 6(2), 120–129. <https://doi.org/10.21070/prozima.v6i2.1578>
- Ghozali, S. A. A. L. P., & Putra, I. N. D. P. (2025). ANALISIS RISIKO KECELAKAAN KERJA PADA PROYEK GEDUNG BERTINGKAT MENGGUNAKAN METODE FTA. *JURNAL GRADASI TEKNIK SIPIL*, 9(1), 58–77.
- Hakim, A. N., Halawa, D. N., Perdhana, D. P., Novita, N. I., & Telaumbanua, O. (2022). Peran Struktur Organisasi Terhadap Produktivitas Perusahaan CV. Kreasi Mandiri. *Jurnal Peradaban Masyarakat*.
- Imamah, M. N., & Rochmoeljati, R. (2025). QUALITY CONTROL ANALYSIS OF SUGAR PRODUCTION PROCESS WITH FTA AND FMEA METHODS IN PT XYZ. In *Indonesian Interdisciplinary Journal of Sharia Economics (IJSE)* (Vol. 8, Number 3).
- Irawan, A., Kustiningsih, I., & Jakfar, S. (2022). *Comprehensive Analysis of Safety Risk Assessment HRSK: PT. “X” Indonesia with the Combination Method of HAZOP, LOPA and SIL*.
- Ismail, & Pusakaningwati, A. (2023). MANAJEMEN PERAWATAN PANEL DISTRIBUTION CONTROL DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DI PT. TUNG CIA TEKNOLOGY INDONESIA. In *JCI Jurnal Cakrawala Ilmiah* (Vol. 2, Number 12). <http://bajangjournal.com/index.php/JCI>
- Keerthivasan, K., & Ilangkumaran, M. (2024). *HAZARD IDENTIFICATION OF BOILER PLANT THROUGH FUZZY BASED HAZOP STUDY* (Vol. 12, Number 7). www.ijcrt.org
- Kosolsaksakul, P., & Ketsakorn, A. (2025). Application of Delphi technique and analytic hierarchy process to prioritize the occupational health and safety management system requirements. *IJOSH (International Journal of Occupational Safety and Health)*, 15(2), 182–191. <https://doi.org/10.3126/ijosh.v15i2>
- Lahay, F., Armini, N. K., Mardiana, D., & Mangundap, P. (2022). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja dengan Metode Hazard and Operability Study (Hazop) pada Proyek Pembangunan Jembatan Asa’an Pagimana. *Jurnal Kesmas Untika Luwuk : Public Health Journal*, 13(2), 81–90. <https://doi.org/10.51888/phj.v13i2.141>
- Luchmanandri, R., & Hendrasarie, N. (2023). *Analisis Risiko K3 dengan Metode Hazard and Operability Study (HAZOP) pada Conveyor Body Preparation pada Industri Keramik Mojokerto*. <http://jurnalkesehatan.unisla.ac.id/index.php/jev/index-129>
- Mubarak, A. M., Kirono, I., & Cahyadi, N. (2024). Analytical Hierarchy Process Method as a Solution to Fiber Optic Cable Supplier Quality. *JIMKES (Jurnal Ilmiah*

- Manajemen Kesatuan*, 12(5), 2149–2156.
<https://doi.org/10.37641/jimkes.v12i5.2532>
- Muhammad, I., & Susilowati, I. H. (2021). ANALISA MANAJEMEN RISIKO K3 DALAM INDUSTRI MANUFAKTUR DI INDONESIA: LITERATURE REVIEW. *PREPOTIF Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5(Universitas Indonesia), 335–343.
- Mulyana, Ig. J., Hartoyo, S. S., & Sianto, M. E. (2022). Defect Analysis of Printing Process in Offset Printing Industry by Using Failure Mode Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA). *Journal of Integrated System*, 5(2), 143–155.
<https://doi.org/10.28932/jis.v5i2.5241>
- Munib, A., & Wulandari, F. (2021). Studi Literatur: Efektivitas Model Kooperatif Tipe Course Review Horay Dalam Pembelajaran IPA Di Sekolah Dasar. *JURNAL PENDIDIKAN DASAR NUSANTARA*, 7(1), 160–172.
<https://doi.org/10.29407/jpdn.v7i1.16154>
- Novitrie, N. A., Rachmat, A. N., Dhani, M. R., & Devi, Y. N. (2023). Implementation of the Hazard and Operability Study (HAZOPS) Method in the Sedimentation Unit of the Gas Industry Wastewater Treatment Plant. *Sedimentation Unit of the Gas Industry Wastewater Treatment Plant. Journal of Research and Technology*, 9(2), 201–209.
- Panudju, A. T., Sitorus, H., Marfuah, U., Sudarwati, W., & Nurhasanah, N. (2024). Risk Mitigation of Air Knocker Using Fuzzy FMEA-AHP. *Jurnal Teknik Industri*, 26(2), 193–206. <https://doi.org/10.9744/jti.26.2.193-206>
- Permatasari, E. D., Handriyanto, C. F., Fanani, T. Al, & Nurika, G. (2025). REKOMENDASI PENGENDALIAN RISIKO DENGAN METODE HIRADC PADA INDUSTRI PENGOLAHAN TAHU TUNA DI JAWA TIMUR. *J-KESMAS: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(1), 55.
<https://doi.org/10.35329/jkesmas.v11i1.6099>
- Prayoga, M. H., Afiah, I. N., & Alisyahbana, T. (2024). ANALISIS PENERAPAN MANAJEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA DALAM MENINGKATKAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA DI PT. EPFM. *JAPSI (Jurnal Aplikasi Dan Pengembangan Sistem Industri)*, 2(Universitas Muslim Indonesia), 252–259.
- Prisnayanti, D. R., & Widowati, E. (2024). Implementation of the Occupational Safety and Health Management System at PT X. *Antigen : Jurnal Kesehatan Masyarakat Dan Ilmu Gizi*, 2(3), 179–191. <https://doi.org/10.57213/antigen.v2i3.330>
- Purwanto, E. B. I., Widada, D., & Tambunan, W. (2023). OHS Risk Analysis of Load in Port by HAZOP (Hazard Analysis and Operability Study Method) (Case Study: PT XYZ). *JOURNAL OF INDUSTRIAL AND MANUFACTURE ENGINEERING*, 7(2), 180–191. <https://doi.org/10.31289/jime.v7i2.9803>
- Pyakurel, A., & Adhikari, B. R. (2025). Tunnel safety evaluation in the Nepal Himalaya: a case study of utilising analytic hierarchy process (AHP) for comprehensive risk assessment. *Discover Civil Engineering*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00221-z>
- Rahma, R. A. A., & Hasanudin, A. (2023). Risk Assessment Analysis in Boiler System with Hazard and Operability Study (HAZOP). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*,

- (Universitas Darussalam Gontor), 213–220.
<https://doi.org/10.23917/jiti.v22i2.22875>
- Ramadhan, H. R., Parningotan, S., & Pangastuti, N. (2024). Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dengan menggunakan metode HAZOPS pada pekerjaan duckting di PT. Surya Marga Luhur. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 7(4), 2336–2347. <https://doi.org/10.31004/jutin.v7i4.36252>
- Rani, H. A., Syammaun, T., Azzahra, F., Ayob, A., Amlus, M. H., Zakirullah, & Aqsha, M. S. (2024). Risk Management Planning by Risk Register in Building Construction Project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1303(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1303/1/012034>
- Rayhan, M., Haslindah, A., & Idrus, I. (2023). PENGENDALIAN RISIKO KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA PADA MILL BOILER DI PT PERKEBUNAN NUSANTARA XIV DENGAN METODE HAZOP. *Journal Industrial Engineering and Management (JUST-ME)*, 4(02), 61–65. <https://doi.org/10.47398/justme.v18i02.50>
- Ritonga, S. (2023). REKAPITULASI RATA-RATA DATA HASIL WAWANCARA CALON MAHASISWA SEKOLAH TINGGI ILMU TARBIYAH AL BUKHARY LABUHANBATU TAHUN 2023.
- Riyadi, A., & Ratnasari, V. (2024). Risk Assessment and Mitigation in Workplace Safety at Energy Distribution Company PT XYZ. *JIMKES (Jurnal Ilmiah Manajemen Kesatuan)*, 13(1), 209–220. <https://doi.org/10.37641/jimkes.v13i1.3067>
- Saputra, F., & Mahaputra, M. R. (2022). Building Occupational Safety and Health (K3): Analysis of the Work Environment and Work Discipline. *Journal of Law Politic and Humanities (JLPH)*, (JLPH (Journal of Law Politic and Humanities)). <https://doi.org/10.38035/jlph.v2i3>
- Saputra, R. A., & Yuamita, F. (2023). ANALISIS PROGRAM KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA DENGAN PENDEKATAN FAULT TREE ANALYSIS PADA CV BESTONE INDONESIA. *JCI (Jurnal Cakrawala Ilmiah)*, (Universitas Teknologi Yogyakarta).
- Shini, R. Z., Malka, H., Kima, O., & Shohet, I. M. (2024). Analytical Hierarchy Process for Construction Safety Management and Resource Allocation. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(20), 1–26. <https://doi.org/10.3390/app14209265>
- Suprpto, G. P., & Donoriyanto, D. S. (2024). Analysis of Product Quality Control Using FTA (Fault Tree Analysis) Method. In *International Journal of Economics Development Research* (Vol. 5, Number 2).
- Suryadi, A., Islami, M. C. P., & Ramadhan, G. (2023). *Safety Assessment Approach of Hazard and Operability (HAZOP) In A Power Plant Sector*. 246–251. <https://doi.org/10.11594/nstp.2023.3635>
- Syahputri, K., Sugianto, & Rahma, T. I. F. (2025). RISK MANAGEMENT ANALYSIS AT PT IRA JAYA SATRIA USING THE RISK REGISTER METHOD. In *IJCSS* (Vol. 6, Number 1).