

Artikel Penelitian (Teknik Industri)

Pendekatan Berbasis Risiko untuk Penilaian Budaya Keselamatan Menggunakan Analisis Keandalan Manusia di Industri Pembangkit Listrik

Muhammad Taufiq Hidayata*, M. Ferdaus Noor Aulady

Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arief Rahman Hakim No.100, Klampis Ngasem, Surabaya, 60117, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 11 April 2026
Revisi Akhir: 12 Mei 2026
Diterbitkan Online: 22 Mei 2026

KATA KUNCI

Budaya Keselamatan
Keselamatan Kerja
Matriks Risiko
Pembangkit Listrik
Prioritas Risiko

KORESPONDENSI (*)

Phone: +62 895-1371-2812
E-mail: taufiqhidayat831@gmail.com

ABSTRAK

Industri pembangkit listrik merupakan sektor dengan tingkat risiko operasional yang tinggi akibat kompleksitas sistem, penggunaan material berbahaya, serta aktivitas operasional yang berlangsung secara kontinu. Namun, evaluasi kinerja keselamatan pada banyak organisasi masih didasarkan pada indikator frekuensi kejadian, yang belum mampu merepresentasikan tingkat risiko secara akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pendekatan berbasis risiko dalam penilaian *safety culture* melalui integrasi *Human Reliability Analysis* (HRA) dan *corporate risk matrix* guna meningkatkan akurasi penentuan prioritas risiko operasional. Data yang dianalisis berupa 16.555 temuan keselamatan yang dikumpulkan dari 16 unit pembangkit selama periode Semester II 2023 hingga Semester I 2025. Probabilitas kesalahan manusia (*Human Error Probability* / HEP) dihitung menggunakan metode *Accident Sequence Evaluation Program* (ASEP) dan dikoreksi dengan pendekatan *Human and Organizational Reliability Analysis in Accident Management* (HORAAM) untuk mengakomodasi faktor organisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas penanganan material berbahaya serta *traffic/material handling* memiliki nilai HEP tertinggi sebesar 0,14, diikuti oleh *unsafe operation* sebesar 0,13. Berdasarkan evaluasi matriks risiko, kategori tersebut termasuk dalam tingkat risiko tinggi dengan nilai risiko mencapai 20, sedangkan kategori lainnya berada pada tingkat risiko sedang hingga tinggi. Temuan *housekeeping* mendominasi jumlah data, namun hanya berada pada tingkat risiko sedang, yang menunjukkan bahwa frekuensi tinggi tidak selalu mencerminkan risiko tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi HRA dengan *risk matrix* mampu menghasilkan pendekatan analisis risiko yang lebih akurat, sistematis, dan mendukung pengembangan manajemen keselamatan yang bersifat proaktif.

PENDAHULUAN

Industri pembangkit listrik merupakan salah satu sektor dengan tingkat risiko operasional yang tinggi karena melibatkan penggunaan peralatan berenergi tinggi, material berbahaya, serta proses produksi yang berlangsung secara kontinu. Kegagalan dalam sistem operasional tidak hanya berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja, tetapi juga dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan, kerugian finansial, serta gangguan terhadap keberlangsungan operasi. Oleh karena itu, pengelolaan keselamatan kerja yang efektif menjadi aspek penting dalam menjaga keandalan sistem dan kinerja organisasi.

Dalam perspektif keselamatan industri, kecelakaan kerja tidak semata-mata disebabkan oleh kegagalan teknis, tetapi juga dipengaruhi oleh interaksi antara kesalahan manusia (*human error*) dan kelemahan sistem organisasi. Konsep ini dijelaskan dalam model *Swiss Cheese*, yang menunjukkan bahwa kecelakaan terjadi akibat kegagalan berlapis pada sistem pertahanan organisasi. Seiring dengan perkembangan paradigma keselamatan, pendekatan manajemen keselamatan telah

mengalami pergeseran dari pendekatan reaktif menuju pendekatan proaktif yang menekankan identifikasi risiko sebelum terjadinya kecelakaan [1].

Perkembangan transformasi digital di industri pembangkit listrik juga meningkatkan urgensi penerapan pendekatan keselamatan berbasis risiko. Digitalisasi sistem operasi, integrasi sensor real-time, otomatisasi proses, serta penggunaan centralized monitoring system menyebabkan interaksi manusia, sistem menjadi semakin kompleks. Kondisi tersebut meningkatkan kebutuhan terhadap metode evaluasi keselamatan yang tidak hanya mampu mengukur frekuensi kejadian, tetapi juga mampu memetakan probabilitas kesalahan manusia dan pengaruh faktor organisasi secara lebih akurat. Oleh karena itu, pendekatan berbasis Human Reliability Analysis menjadi semakin relevan dalam mendukung sistem manajemen keselamatan modern pada industri pembangkitan energi.

Meskipun ketersediaan data keselamatan operasional semakin meningkat, banyak organisasi masih mengandalkan indikator berbasis frekuensi dalam mengevaluasi kinerja keselamatan. Pendekatan ini memiliki keterbatasan karena tidak mampu merepresentasikan tingkat risiko secara komprehensif, di mana kejadian dengan frekuensi tinggi belum tentu memiliki dampak yang signifikan, dan sebaliknya kejadian dengan frekuensi rendah dapat memiliki konsekuensi yang sangat besar. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan berbasis risiko yang mempertimbangkan kombinasi antara kemungkinan terjadinya kejadian (*likelihood*) dan tingkat keparahan dampak (*severity*).

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam evaluasi risiko adalah *risk matrix*, yang menyediakan kerangka sistematis untuk mengkategorikan tingkat risiko berdasarkan interaksi antara *likelihood* dan *severity*. Namun demikian, sebagian besar penerapan *risk matrix* masih bergantung pada penilaian kualitatif, khususnya dalam menentukan nilai kemungkinan, sehingga berpotensi menghasilkan subjektivitas dalam penilaian risiko. Kondisi ini menunjukkan perlunya pendekatan kuantitatif yang lebih akurat dalam mengestimasi probabilitas terjadinya kesalahan dalam sistem operasional. Pendekatan *Human Reliability Analysis* (HRA) memberikan solusi melalui estimasi *Human Error Probability* (HEP), yang memungkinkan pengukuran probabilitas kesalahan manusia secara kuantitatif dalam kondisi operasional tertentu. Integrasi HRA dengan metode evaluasi risiko seperti *risk matrix* berpotensi meningkatkan akurasi dalam penentuan prioritas risiko, khususnya pada sistem industri yang kompleks seperti pembangkit listrik [2].

Metode ASEP dipilih dalam penelitian ini karena memiliki karakteristik yang lebih sederhana, efisien, dan praktis dibandingkan metode Human Reliability Analysis (HRA) lain seperti THERP maupun SPAR-H, khususnya dalam pengolahan data keselamatan operasional berskala besar. THERP memiliki struktur analisis yang sangat rinci namun membutuhkan pemodelan task analysis yang kompleks dan waktu evaluasi yang panjang, sehingga kurang fleksibel untuk analisis ribuan data observasi keselamatan. Sementara itu, SPAR-H lebih banyak digunakan pada evaluasi tugas operator dalam sistem kendali spesifik dan membutuhkan detail parameter ergonomi serta kognitif yang tidak seluruhnya tersedia pada data safety findings organisasi. ASEP dipilih karena mampu menghasilkan estimasi Human Error Probability (HEP) secara kuantitatif melalui pendekatan yang lebih adaptif terhadap sistem industri berisiko tinggi dengan kompleksitas operasional yang beragam.

Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan metode HORAAM untuk mengoreksi nilai HEP awal karena reliabilitas manusia dalam sistem pembangkit listrik tidak hanya dipengaruhi oleh aspek teknis pekerjaan, tetapi juga oleh faktor organisasi seperti kualitas pengawasan, koordinasi kerja, tekanan waktu, komunikasi keselamatan, dan efektivitas pengambilan keputusan. Pendekatan HORAAM memungkinkan analisis risiko menjadi lebih representatif karena mempertimbangkan interaksi antara manusia, organisasi, dan kondisi operasional secara simultan. Integrasi ASEP dan HORAAM dinilai lebih sesuai untuk mendukung pendekatan risk-based safety assessment dibandingkan metode HRA konvensional yang cenderung berfokus pada kesalahan individu secara parsial.

Di sisi lain, data temuan keselamatan (*safety findings*) yang dikumpulkan melalui sistem observasi keselamatan dalam organisasi umumnya masih digunakan sebatas sebagai alat pemantauan, dan belum dimanfaatkan secara optimal untuk analisis risiko yang terstruktur. Padahal, data tersebut dapat memberikan informasi penting terkait pola deviasi operasional serta potensi risiko laten dalam sistem.

Berdasarkan uraian tersebut, terdapat kesenjangan dalam penelitian terkait integrasi antara data temuan keselamatan skala besar, pendekatan *Human Reliability Analysis*, dan evaluasi risiko menggunakan *corporate risk matrix*, khususnya pada industri pembangkit listrik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pendekatan berbasis risiko

(*risk-based approach*) dalam penilaian *safety culture* dengan mengintegrasikan analisis keandalan manusia dan *risk matrix* untuk menghasilkan prioritas risiko operasional yang lebih akurat dan terstruktur.

KAJIAN PUSTAKA

Budaya Keselamatan (Safety Culture)

Budaya keselamatan didasarkan pada tiga komponen utama yakni perilaku, organisasi, dan psikologis. Terdapat konsensus yang menunjukkan bahwa faktor organisasi dan kontekstual penting dalam definisi budaya keselamatan. Komponen psikologis bertujuan untuk menganalisis sikap dan persepsi individu dan kelompok. Komponen perilaku mengevaluasi faktor eksternal (seperti penggunaan perlengkapan pelindung diri, mengikuti prosedur operasional, dll) yang berlaku bagi individu di lapangan dan perilaku yang dapat diamati. Terakhir, komponen organisasi mencakup analisis operasi bisnis melalui kebijakan, prosedur, dan struktur yang ada [3].

Budaya keselamatan tidak hanya dipengaruhi oleh kepatuhan terhadap prosedur, tetapi juga oleh struktur organisasi dan sistem pertahanan berlapis yang mencegah terjadinya kecelakaan. [4] menjelaskan melalui Swiss Cheese Model bahwa kecelakaan terjadi akibat kombinasi kegagalan laten dalam sistem organisasi dan kegagalan aktif di level operator. Hal ini menunjukkan bahwa budaya keselamatan harus dibangun secara sistemik, bukan sekadar individual.

Dekker (2014) menekankan bahwa pendekatan keselamatan modern perlu bergeser dari paradigma Safety-I yang reaktif menjadi Safety-II yang proaktif, dengan fokus pada bagaimana sistem berhasil beroperasi dalam kondisi normal maupun abnormal. Sejalan dengan itu, Hollnagel (2014) menyatakan bahwa keselamatan bukan hanya ketiadaan kecelakaan, tetapi kemampuan sistem untuk beradaptasi terhadap variabilitas operasional.

Dalam konteks sektor energi, Muhammad dkk., 2025 menemukan bahwa sistem manajemen K3 yang kuat secara signifikan meningkatkan perilaku aman pekerja dan memperkuat budaya keselamatan organisasi [5].

Berdasarkan berbagai literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa budaya keselamatan merupakan konstruksi multidimensi yang melibatkan aspek manusia, organisasi, dan sistem manajemen. Oleh karena itu, pendekatan kuantitatif yang mampu mengintegrasikan faktor manusia dan organisasi menjadi penting dalam membangun budaya Zero Accident secara berkelanjutan.

Analisis ASEP (Accident Sequence Evaluation Program)

Accident Sequence Evaluation Program (ASEP) merupakan metode Human Reliability Analysis (HRA) yang dikembangkan oleh Sandia National Laboratories dan U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) pada tahun 1987 sebagai turunan dari metode Technique for Human Error Rate Prediction (THERP). Tujuan utama ASEP adalah untuk memberikan pendekatan kuantitatif yang sederhana, efisien, dan konservatif dalam memperkirakan kemungkinan kesalahan manusia (Human Error Probability/HEP) dalam sistem industri berisiko tinggi, seperti pembangkit listrik tenaga nuklir maupun pembangkit energi konvensional.

Metode ini digunakan untuk menganalisis urutan kejadian kecelakaan (*accident sequences*) dan mengidentifikasi Human Failure Events (HFEs), yaitu tindakan manusia yang berpotensi menyebabkan kegagalan sistem. Pendekatan ASEP berfokus pada pemahaman hubungan antara perilaku operator, kondisi kerja, dan efek dari keputusan atau tindakan yang diambil selama proses operasi atau darurat.

Safitri dkk., 2023 menjelaskan bahwa metode Human Reliability Analysis (HRA) seperti THERP dan ASEP dirancang untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi probabilitas kesalahan manusia dalam sistem berisiko tinggi ASEP merupakan penyederhanaan dari THERP yang lebih efisien untuk estimasi cepat Human Error Probability (HEP) [6].

Wang dan Zhao (2020) menunjukkan bahwa model HRA yang awalnya dikembangkan untuk industri nuklir tetap relevan dan dapat diadaptasi pada sistem non-nuklir dengan karakteristik kompleks, termasuk pembangkit energi modern. Hal ini memperkuat justifikasi penerapan ASEP dalam konteks PT XY.

Hollnagel (1998) juga menekankan bahwa reliabilitas manusia tidak dapat dilepaskan dari konteks kognitif dan situasional, sehingga pendekatan berbasis event tree dan fault tree menjadi penting dalam memetakan jalur kegagalan sistem secara komprehensif.

Dengan demikian, ASEP merupakan metode HRA yang valid dan adaptif untuk menghitung probabilitas kesalahan manusia dalam sistem pembangkitan energi. Integrasi FTA dan ETA memungkinkan identifikasi jalur kegagalan yang sistematis dan menjadi dasar kuantifikasi HEP_awal dalam penelitian ini.

Analisis HORAAM (Human and Organizational Reliability Analysis in Accident Management)

Metode HORAAM dikembangkan oleh Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) dan Institute for Nuclear Safety and Protection (IPSN) sebagai bagian dari Level 2 Probabilistic Safety Assessment (PSA-2) di Prancis. Metode ini digunakan untuk menilai reliabilitas manusia dan organisasi selama proses manajemen kecelakaan yang kompleks, terutama dalam situasi krisis seperti kehilangan sistem pendingin, pelelehan inti reaktor (core meltdown), atau kecelakaan multi-unit [7].

Rasmussen (1997) menjelaskan bahwa dalam sistem berisiko tinggi, kecelakaan sering kali terjadi akibat migrasi keputusan organisasi menuju batas keselamatan operasional. Oleh karena itu, analisis reliabilitas manusia perlu mempertimbangkan konteks organisasi dan tekanan sistemik.

Fauchille dkk. menunjukkan bahwa penerapan HORAAM dalam evaluasi kecelakaan Fukushima mengidentifikasi bahwa faktor informasi, koordinasi, dan tekanan waktu berperan signifikan dalam kegagalan manajemen krisis.

Jung dkk. (2021) juga menemukan bahwa dalam industri kimia, faktor organisasi dan pengambilan keputusan kolektif memiliki pengaruh dominan terhadap terjadinya kecelakaan besar.

Dapat disimpulkan bahwa reliabilitas manusia dalam situasi krisis tidak hanya ditentukan oleh kemampuan individu, tetapi juga oleh efektivitas koordinasi organisasi. Oleh karena itu, HORAAM menjadi metode yang relevan untuk mengoreksi HEP_awal berdasarkan pengaruh faktor organisasi.

Tujuan HORAAM adalah mengukur Human Error Probability (HEP) dengan mempertimbangkan aspek organizational decision-making dan coordination reliability, yaitu bagaimana manusia dan organisasi mengambil keputusan di bawah tekanan, informasi yang terbatas, dan kondisi lingkungan ekstrem. Pendekatan ini berfokus pada keputusan tim krisis (crisis management team) yang berinteraksi secara dinamis dengan kondisi teknis dan sosial saat kecelakaan berlangsung [8].

Integrasi Kuantifikasi ASEP dan HORAAM

Sitanggang dkk., (2025) menyatakan bahwa pendekatan HRA modern perlu menggabungkan analisis teknis dan organisasi agar menghasilkan estimasi risiko yang lebih realistis [9]. Vaezi dkk. (2023) menunjukkan bahwa integrasi dimensi resilience dalam risk matrix meningkatkan sensitivitas analisis terhadap kondisi sistemik.

Guo dkk. (2022) membuktikan bahwa risk matrix yang mengintegrasikan faktor perilaku menghasilkan pemetaan risiko yang lebih representatif dibanding pendekatan konvensional.

Integrasi metode Accident Sequence Evaluation Program (ASEP) dan Human and Organizational Reliability Analysis in Accident Management (HORAAM) dilakukan untuk memperoleh nilai probabilitas kesalahan manusia (Human Error Probability / HEP) yang lebih representatif, karena mencakup aspek teknis dan aspek organisasi secara bersamaan. ASEP digunakan untuk menghitung HEP awal berdasarkan karakteristik tugas operator dan kondisi kerja (melalui NER dan PSF), sedangkan HORAAM digunakan untuk mengoreksi nilai tersebut melalui faktor pengambilan keputusan organisasi dan kondisi situasional yang diwakili oleh Influence Factors (IFs). Hasil akhir berupa HEP_final menjadi komponen utama dalam penyusunan Human–Organizational Risk Matrix.

Matriks Risiko (Risk Matrix)

Menurut Pedoman Perencanaan Manajemen Risiko Terintegrasi PT XYZ, Matriks Risiko (Risk Matrix) adalah alat visual yang digunakan untuk menilai tingkat risiko berdasarkan dua dimensi utama, yaitu:

1. Tingkat Kemungkinan (Likelihood/Probability) – seberapa besar kemungkinan suatu peristiwa risiko terjadi, dan
2. Tingkat Dampak (Impact/Consequence) – seberapa besar pengaruh atau konsekuensi yang ditimbulkan apabila risiko tersebut terjadi.

Risk Matrix digunakan untuk memetakan risiko ke dalam zona prioritas pengendalian, yang membantu manajemen dalam mengambil keputusan mitigasi. Pendekatan ini juga sejalan dengan ISO 31000:2018 dan Enterprise Risk Management Framework (ERM), di mana penilaian risiko merupakan tahap penting dalam proses manajemen risiko korporasi.

METODOLOGI

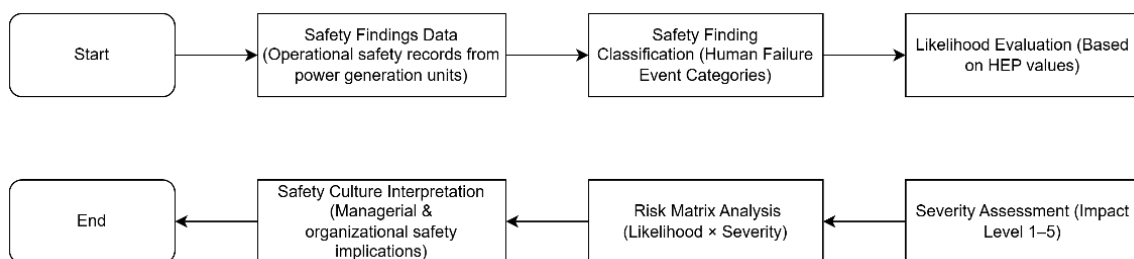
Desain Penelitian

Studi ini mengadopsi pendekatan penilaian risiko kuantitatif untuk mengevaluasi risiko keselamatan kerja berdasarkan temuan keselamatan operasional yang tercatat di fasilitas pembangkit listrik. Tujuan analisis ini adalah untuk mengubah sejumlah besar data observasi keselamatan menjadi keluaran prioritas risiko terstruktur yang dapat mendukung pengambilan keputusan manajemen keselamatan berbasis bukti.

Pendekatan metodologis mengikuti urutan analitis terstruktur yang dimulai dengan pengumpulan data temuan keselamatan, diikuti oleh klasifikasi temuan keselamatan, evaluasi kemungkinan, penilaian tingkat keparahan, analisis matriks risiko, dan interpretasi budaya keselamatan. Kerangka kerja terstruktur ini memastikan ketertelusuran dari pengamatan keselamatan mentah hingga hasil prioritas risiko akhir. Dalam lingkungan industri berisiko tinggi seperti fasilitas pembangkit listrik, evaluasi sistematis data keselamatan sangat penting karena penyimpangan operasional sering kali merupakan indikator awal kerentanan sistem.

Kerangka Penelitian

Kerangka analitis yang digunakan dalam penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 1, yang menggambarkan tahapan berurutan dari evaluasi risiko yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Analisis dimulai dengan pengumpulan data temuan keselamatan yang diperoleh dari sistem pelaporan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) perusahaan. Temuan keselamatan tersebut kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori operasional untuk memfasilitasi evaluasi sistematis.

Kemungkinan setiap risiko operasional kemudian dievaluasi menggunakan Probabilitas Kesalahan Manusia (Human Error Probability/HEP), diikuti dengan penilaian tingkat keparahan berdasarkan potensi konsekuensi kecelakaan. Kombinasi nilai kemungkinan dan tingkat keparahan kemudian dievaluasi menggunakan kerangka matriks risiko perusahaan untuk menentukan tingkat prioritas risiko. Terakhir, hasil evaluasi risiko diinterpretasikan dari perspektif budaya keselamatan untuk mengidentifikasi peluang peningkatan keselamatan organisasi.

Pengumpulan Data

Temuan keselamatan diperoleh dari sistem pelaporan Kesehatan dan Keselamatan Kerja organisasi, yang mencatat pengamatan keselamatan yang diidentifikasi selama kegiatan operasional.

Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan dan wawancara terstruktur dengan petugas keselamatan dan personel operasional. Data sekunder diperoleh dari laporan keselamatan internal, dokumentasi operasional, dan catatan kinerja keselamatan.

Data temuan keselamatan merupakan sumber informasi keselamatan yang penting karena data tersebut menangkap sinyal awal penyimpangan operasional.

Klasifikasi Temuan Keselamatan

Setelah tahap pengumpulan data, temuan keselamatan diklasifikasikan ke dalam sepuluh kategori Kejadian Kegagalan Manusia (Human Failure Event/HFE) yang mewakili berbagai jenis penyimpangan operasional dan kondisi keselamatan organisasi.

Pendekatan klasifikasi mengikuti prinsip analisis keandalan manusia yang mengkategorikan penyimpangan operasional berdasarkan perilaku manusia dan kondisi operasional kontekstual [10].

Proses klasifikasi 16.555 temuan keselamatan dilakukan melalui beberapa tahapan untuk menjaga konsistensi kategorisasi data. Tahap pertama dilakukan proses data cleaning untuk menghilangkan data duplikat, temuan tidak lengkap, dan inkonsistensi penulisan kategori observasi. Tahap kedua dilakukan standarisasi terminologi temuan keselamatan berdasarkan pedoman internal Health, Safety, and Environment (HSE) perusahaan sehingga setiap jenis temuan memiliki definisi operasional yang seragam.

Selanjutnya, setiap temuan dipetakan ke dalam kategori Human Failure Event (HFE) menggunakan teknik content classification berbasis kata kunci operasional dan deskripsi aktivitas kerja. Proses klasifikasi dilakukan oleh tim evaluator keselamatan yang terdiri dari personel HSE dan supervisor operasional untuk memastikan kesesuaian konteks operasional. Untuk menjaga reliabilitas klasifikasi, dilakukan cross-check antar evaluator terhadap sampel data secara berkala hingga diperoleh konsistensi kategorisasi. Pendekatan ini memungkinkan setiap temuan keselamatan ditempatkan pada kategori operasional yang sesuai sehingga analisis probabilitas risiko dapat dilakukan secara lebih sistematis dan representatif.

Tabel 1. Kategori Peristiwa Kegagalan Manusia

| No. | Kategori HFE |
|-----|---|
| 1 | Kelalaian dalam pemeliharaan rumah tangga |
| 2 | Kelalaian pemeliharaan |
| 3 | Penanganan lalu lintas/material |
| 4 | Pelatihan/supervisi |
| 5 | Penutupan/pengamanan yang tidak tepat |
| 6 | Ketidakpatuhan APD |
| 7 | Rambu/penghalang darurat |
| 8 | Penanganan Bahan Kimia/Bahan Berbahaya |
| 9 | Ketidakpatuhan terhadap prosedur |
| 10 | Pengoperasian yang tidak aman |

Kategori-kategori ini memungkinkan analisis sistematis terhadap temuan keselamatan operasional di berbagai unit pembangkit dan memungkinkan identifikasi pola risiko operasional yang dominan.

Evaluasi Kemungkinan

Nilai kemungkinan dalam penelitian ini mewakili probabilitas bahwa penyimpangan operasional tertentu dapat menyebabkan kecelakaan.

Berbeda dengan pendekatan matriks risiko konvensional yang hanya bergantung pada data frekuensi, penelitian ini memperoleh nilai kemungkinan dari Probabilitas Kesalahan Manusia (Human Error Probability/HEP) yang didapatkan dari analisis keandalan manusia.

Dalam pendekatan HORAAM, faktor organisasi dievaluasi melalui tujuh Influence Factors (IFs) yang memengaruhi reliabilitas manusia dalam kondisi operasional. Faktor-faktor tersebut meliputi: (1) kualitas informasi kerja, yaitu tingkat kejelasan dan kelengkapan informasi operasional yang diterima operator; (2) tekanan waktu pengambilan keputusan, yaitu keterbatasan waktu saat operator harus mengambil tindakan; (3) kompleksitas pengambilan keputusan, yaitu tingkat kesulitan dalam menentukan tindakan yang tepat pada kondisi abnormal; (4) kompleksitas skenario operasional, yaitu tingkat variasi dan ketidakpastian kondisi operasi; (5) keterlibatan organisasi dan efektivitas koordinasi, yang mencerminkan kualitas komunikasi antarunit dan dukungan manajerial; (6) kondisi kerja fisik, seperti kebisingan, temperatur, dan kondisi lingkungan kerja; serta (7) tingkat kesulitan operator, yang berkaitan dengan beban kerja, pengalaman, dan kemampuan teknis personel. Ketujuh faktor tersebut dinilai menggunakan pendekatan expert judgement untuk menghasilkan koefisien organisasi (Ko) yang digunakan dalam koreksi nilai HEP awal menjadi HEP final.

Tabel 2. Klasifikasi Kemungkinan Berdasarkan HEP

| Tingkat Kemungkinan | Rentang HEP |
|---------------------|-------------------|
| Sangat Jarang | HEP < 0,01 |
| Jarang | 0,01 ≤ HEP < 0,05 |
| Kadang-kadang | 0,05 ≤ HEP < 0,10 |
| Sering | 0,10 ≤ HEP < 0,20 |
| Sangat Sering | HEP ≥ 0,20 |

Klasifikasi ini memungkinkan transformasi hasil keandalan manusia yang bersifat probabilistik menjadi tingkat kemungkinan risiko operasional.

Penilaian Tingkat Keparahan

Penilaian tingkat keparahan dilakukan melalui pertimbangan ahli yang melibatkan tiga profesional keselamatan dengan pengalaman lebih dari sepuluh tahun dalam manajemen keselamatan pembangkit listrik. Para ahli mengevaluasi potensi konsekuensi dari setiap penyimpangan operasional berdasarkan kemungkinan dampak pada keselamatan pekerja, keberlangsungan operasional, kondisi lingkungan, dan kerugian finansial.

Tingkat keparahan ditentukan melalui penilaian ahli yang melibatkan para profesional keselamatan dan personel operasional yang berpengalaman dalam manajemen keselamatan industri.

Menurut pedoman manajemen risiko terpadu, evaluasi risiko dilakukan dengan menggabungkan dua parameter utama: kemungkinan dan dampak. Kemungkinan mewakili probabilitas terjadinya risiko, sedangkan dampak mewakili tingkat keparahan konsekuensi jika risiko terjadi. Oleh karena itu, tingkat dampak digunakan untuk mewakili besarnya potensi kerusakan pada proses operasional, kinerja keselamatan, dan tujuan organisasi.

Klasifikasi tingkat keparahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel X.

Tabel 3. Klasifikasi Tingkat Keparahan (Tingkat Dampak)

| Skor Dampak | Kategori | Keterangan |
|-------------|---------------|---|
| 1 | Sangat Rendah | Dampak finansial dan operasionalnya sangat kecil dan dapat diabaikan. |
| 2 | Rendah | Gangguan kecil terhadap proses operasional atau target kerja. |
| 3 | Sedang | Gangguan sedang yang memengaruhi kinerja unit atau proyek. |
| 4 | Tinggi | Gangguan signifikan yang membutuhkan intervensi manajerial besar-besaran. |
| 5 | Sangat Tinggi | Kerugian besar, penghentian operasional, atau potensi korban jiwa. |

Klasifikasi ini memungkinkan evaluasi konsekuensi operasional berdasarkan potensi tingkat keparahannya. Tingkat keparahan tertinggi mewakili hasil yang bersifat bencana seperti kecelakaan fatal atau gangguan operasional besar.

Analisis Matriks Risiko

Setelah nilai kemungkinan dan tingkat keparahan ditentukan, setiap kategori operasional dievaluasi menggunakan matriks risiko perusahaan 5×5 .

Besarnya risiko dihitung menggunakan persamaan (1):

$$\text{Risiko} = \text{Kemungkinan} \times \text{Tingkat Keparahannya} \quad (1)$$

Matriks risiko memberikan visualisasi terstruktur dari besarnya risiko operasional dengan menggabungkan kemungkinan dan tingkat keparahan konsekuensi. Cox [25] menjelaskan bahwa matriks risiko banyak digunakan dalam penilaian risiko industri karena menyediakan metode praktis untuk memprioritaskan risiko keselamatan.

Interpretasi Budaya Keselamatan

Tahap akhir analisis melibatkan interpretasi hasil evaluasi matriks risiko dari perspektif budaya keselamatan. Budaya keselamatan mengacu pada nilai-nilai, sikap, dan perilaku bersama yang memengaruhi bagaimana risiko keselamatan dipahami dan dikelola dalam suatu organisasi.

Dengan menafsirkan hasil matriks risiko dalam konteks budaya keselamatan, organisasi dapat mengidentifikasi kelemahan sistemik dan merancang program peningkatan keselamatan yang ditargetkan untuk mengatasi aspek teknis dan organisasi dari manajemen keselamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil analisis risiko keselamatan berdasarkan kerangka metodologi yang dijelaskan pada bagian sebelumnya. Analisis dimulai dengan tinjauan umum data temuan keselamatan yang dikumpulkan dari unit operasional dan dilanjutkan dengan klasifikasi temuan keselamatan ke dalam kategori Kejadian Kegagalan Manusia (Human Failure Event/HFE). Kemungkinan penyimpangan operasional kemudian dievaluasi menggunakan nilai Probabilitas Kesalahan Manusia (Human Error Probability/HEP) yang diperoleh dari proses analisis keandalan manusia. Nilai HEP ini kemudian dikonversi menjadi tingkat kemungkinan dan dikombinasikan dengan penilaian tingkat keparahan untuk membangun matriks risiko perusahaan. Terakhir, hasil evaluasi risiko diinterpretasikan dari perspektif budaya keselamatan untuk mengidentifikasi faktor-faktor organisasi utama yang memengaruhi kinerja keselamatan operasional.

Gambaran Umum Data Temuan Keamanan

Analisis temuan keselamatan operasional memberikan dasar penting untuk memahami kondisi risiko dalam sistem industri yang kompleks. Temuan keselamatan merupakan indikator awal penyimpangan operasional yang dapat menyebabkan kecelakaan jika tidak dikelola dengan baik. Menurut Rasmussen, penyimpangan operasional yang diamati dalam sistem sosio-teknis dapat bertindak sebagai sinyal peringatan dini kerentanan sistem dan harus dianalisis secara sistematis untuk mencegah kecelakaan [11].

Dalam studi ini, total 16.555 temuan keselamatan dianalisis. Temuan keselamatan ini dikumpulkan dari 16 unit pembangkit listrik selama periode Semester II 2023 hingga Semester I 2025 melalui sistem pelaporan Kesehatan dan Keselamatan Kerja perusahaan.

Temuan keselamatan terdiri dari beberapa jenis pengamatan keselamatan yang dicatat selama kegiatan operasional, termasuk tindakan tidak aman, kondisi tidak aman, dan penyimpangan prosedur. Pengamatan ini memberikan wawasan penting tentang perilaku operasional dan praktik keselamatan kerja di dalam organisasi.

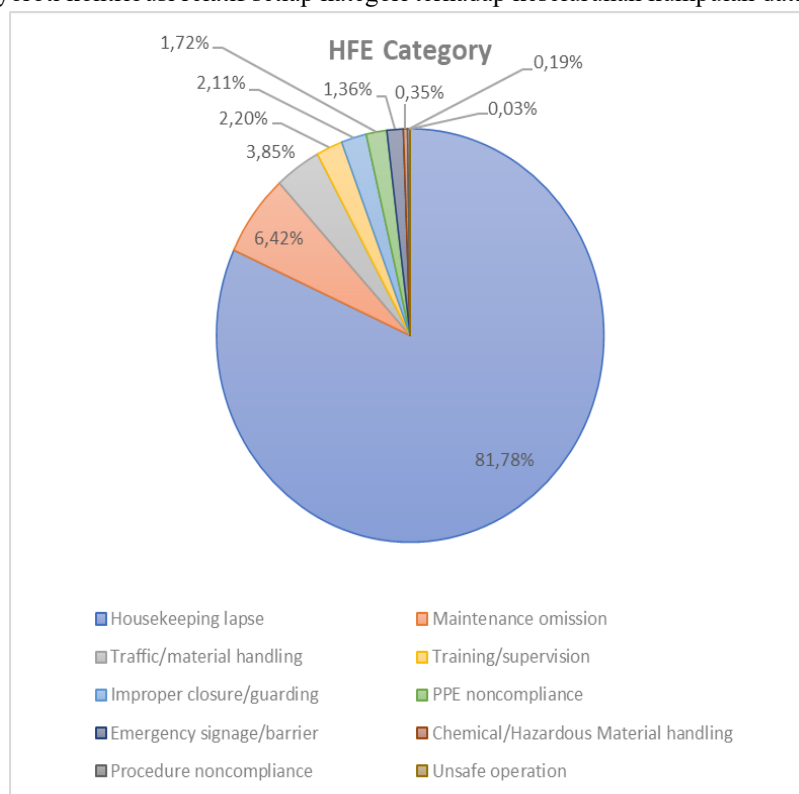
Ketersediaan dataset keselamatan yang besar memungkinkan organisasi untuk melakukan analisis keselamatan secara sistematis. Menurut Hollnagel, menganalisis variabilitas kinerja operasional memungkinkan organisasi untuk memahami bagaimana keselamatan muncul dari aktivitas kerja sehari-hari daripada hanya berfokus pada kecelakaan [16]. Distribusi temuan keselamatan dalam penelitian ini dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi Temuan Keselamatan Berdasarkan Kejadian Kegagalan Manusia (Human Failure Event/HFE)

| Kategori | Frekuensi |
|---|-----------|
| Kelalaian dalam pemeliharaan rumah tangga | 10.799 |
| Kelalaian pemeliharaan | 848 |
| Penanganan lalu lintas/material | 508 |
| Pelatihan/supervisi | 290 |
| Penutupan/pengamanan yang tidak tepat | 278 |
| Ketidakpatuhan APD | 227 |
| Rambu/penghalang darurat | 180 |
| Penanganan Bahan Kimia/Berbahaya | 46 |
| Ketidakpatuhan terhadap prosedur | 25 |
| Pengoperasian yang tidak aman | 4 |

Dominasi temuan yang berkaitan dengan kebersihan menunjukkan bahwa sebagian besar pengamatan keselamatan berasal dari kondisi tempat kerja yang mudah terlihat. Namun, temuan ini mungkin tidak mewakili risiko operasional yang paling kritis karena biasanya melibatkan bahaya berenergi rendah dan konsekuensi kecelakaan yang terbatas. Oleh karena itu, mengandalkan frekuensi pengamatan saja dapat menyebabkan interpretasi yang menyesatkan tentang kinerja keselamatan operasional. Pola ini juga dapat mencerminkan karakteristik pelaporan dalam sistem pengamatan keselamatan, di mana kondisi yang mudah diamati seperti masalah kebersihan dilaporkan lebih sering daripada penyimpangan operasional yang kompleks yang melibatkan pengoperasian peralatan, penanganan bahan berbahaya, atau ketidakpatuhan prosedur.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang distribusi temuan keselamatan di seluruh kategori Kejadian Kegagalan Manusia (Human Failure Event/HFE), proporsi setiap kategori diilustrasikan pada Gambar X. Visualisasi ini membantu mengidentifikasi jenis penyimpangan operasional dominan yang dilaporkan dalam sistem pengamatan keselamatan dan menyoroti kontribusi relatif setiap kategori terhadap keseluruhan kumpulan data.



Gambar 2. Distribusi Temuan Keselamatan di Seluruh Kategori Kejadian Kegagalan Manusia (Human Failure Event/HFE)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, temuan terkait kebersihan mewakili proporsi terbesar dari pengamatan keselamatan, yaitu sekitar 81,78% dari total temuan yang tercatat. Ini diikuti oleh kelalaian pemeliharaan (6,42%) dan aktivitas lalu lintas atau penanganan material (3,85%). Kategori lain, termasuk masalah pelatihan dan pengawasan, penutupan atau pengamanan yang tidak tepat, ketidakpatuhan APD, masalah rambu atau penghalang darurat, penanganan bahan kimia atau bahan berbahaya, ketidakpatuhan prosedur, dan pengoperasian yang tidak aman memberikan kontribusi proporsi yang relatif lebih kecil terhadap keseluruhan data.

Klasifikasi Temuan Keselamatan

Setelah tahap pengumpulan data, temuan keselamatan diklasifikasikan ke dalam sepuluh kategori Kejadian Kegagalan Manusia (Human Failure Event/HFE) untuk memungkinkan analisis sistematis penyimpangan operasional seperti pada Tabel 4 Kategori Kejadian Kegagalan Manusia.

Klasifikasi Peristiwa Kegagalan Manusia banyak digunakan dalam analisis keandalan manusia untuk mengidentifikasi kondisi operasional yang dapat berkontribusi pada kesalahan manusia dalam sistem industri yang kompleks. Menurut Swain dan Guttmann, mengkategorikan penyimpangan operasional yang berhubungan dengan manusia memungkinkan para peneliti untuk mengevaluasi keandalan kinerja manusia dan mengidentifikasi potensi sumber kesalahan manusia [6]. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa sebagian besar temuan keselamatan berkaitan dengan kondisi kebersihan tempat kerja. Temuan ini biasanya meliputi masalah seperti penyimpanan material yang tidak tepat, area kerja yang berantakan, atau terhalangnya jalur akses.

Meskipun masalah yang berkaitan dengan kebersihan mendominasi catatan pelaporan keselamatan, masalah tersebut sering kali mewakili risiko dengan tingkat keparahan yang relatif rendah dibandingkan dengan aktivitas operasional yang melibatkan peralatan berat atau bahan berbahaya.

Penelitian Tanto juga menunjukkan bahwa masalah kebersihan sering muncul dalam sistem pelaporan keselamatan karena mudah diamati selama inspeksi rutin dan pengamatan keselamatan. [12] Oleh karena itu, tingginya frekuensi temuan pemeliharaan harus ditafsirkan dengan hati-hati dan dievaluasi bersama dengan tingkat keparahan untuk menentukan besarnya risiko operasional yang sebenarnya.

Evaluasi Kemungkinan Berdasarkan Probabilitas Kesalahan Manusia (HEP)

Kemungkinan risiko operasional dalam penelitian ini dievaluasi menggunakan Probabilitas Kesalahan Manusia (Human Error Probability/HEP) yang diperoleh dari proses analisis keandalan manusia. Probabilitas Kesalahan Manusia mewakili probabilitas bahwa tindakan manusia gagal selama aktivitas operasional dalam kondisi teknis dan organisasi tertentu.

Nilai HEP yang digunakan dalam analisis ini diperoleh dari analisis keandalan manusia berbasis ASEP yang dilakukan pada tahap sebelumnya dari penelitian ini. Estimasi HEP dilakukan melalui integrasi Accident Sequence Evaluation Program (ASEP) dan Human and Organizational Reliability Analysis in Accident Management (HORAAM). ASEP digunakan untuk menghitung probabilitas awal kesalahan manusia berdasarkan karakteristik tugas operasional, sedangkan HORAAM digunakan untuk menggabungkan faktor pengaruh organisasi yang memengaruhi pengambilan keputusan manusia dan kondisi operasional.

Dalam pendekatan ASEP, probabilitas kesalahan manusia awal (HEP_{awal}) dihitung menggunakan formulasi berikut:

$$HEP_{awal} = NER \times \prod PSF_i \quad (2)$$

di mana NER (Nominal Error Rate) mewakili probabilitas dasar kesalahan manusia yang diperoleh dari basis data THERP, sedangkan PSF (Performance Shaping Factors) mewakili faktor penyesuaian yang terkait dengan kondisi operasional seperti kompleksitas tugas, tekanan waktu, pengalaman operator, dan kondisi kerja.

Dalam studi ini, beberapa Faktor Keselamatan Kerja (PSF) dievaluasi berdasarkan pengamatan operasional dan penilaian ahli dari para profesional keselamatan yang bekerja di fasilitas pembangkit listrik. PSF yang dipertimbangkan meliputi kompleksitas tugas, tekanan waktu, pengalaman operator, kondisi kerja, kejelasan prosedur, dan efektivitas pengawasan. Setiap faktor diberi nilai bobot berdasarkan pedoman analisis keandalan manusia ASEP untuk mencerminkan lingkungan operasional tempat tugas-tugas tersebut dilakukan.

Evaluasi tersebut menghasilkan pengali PSF, yang menunjukkan pengaruh operasional moderat terhadap kinerja manusia selama pelaksanaan tugas. Faktor-faktor ini dimasukkan ke dalam perhitungan Probabilitas Kesalahan Manusia awal (HEP_awal) untuk mendapatkan estimasi probabilitas kesalahan manusia yang lebih realistis dalam kondisi operasional sebenarnya.

Berdasarkan perhitungan ini, nilai HEP awal yang diperoleh untuk setiap kategori Kejadian Kegagalan Manusia disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Probabilitas Kesalahan Manusia Awal (HEP_awal)

| Kategori HFE | NER | PSF | HEP_Awal |
|---|----------|--------|----------|
| Penanganan Bahan Kimia/Berbahaya | 0,03 | 2.2261 | 0,07 |
| Penanganan material lalu lintas | 0,03 | 2.1441 | 0,06 |
| Pengoperasian yang tidak aman | 0,03 | 20.000 | 0,06 |
| Pengawasan pelatihan | 0,01 | 2.0172 | 0,02 |
| Ketidakpatuhan terhadap prosedur | 0,01 | 1.4080 | 0,01 |
| Ketidakpatuhan APD | 0,01 | 1.2731 | 0,01 |
| Penghalang rambu darurat | 0,01 | 1.2728 | 0,01 |
| Kelalaian pemeliharaan | 0,01 | 1.1751 | 0,01 |
| Kelalaian dalam pemeliharaan rumah tangga | 0,01 | 1.1309 | 0,01 |
| Pengamanan penutupan yang tidak tepat | 0,003162 | 1.8543 | 0,01 |

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas penanganan bahan kimia dan operasi lalu lintas/penanganan material menunjukkan probabilitas kesalahan manusia awal tertinggi, yang mengindikasikan bahwa aktivitas operasional ini memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap kesalahan manusia karena kompleksitas tugas dan bahaya operasional. Namun, keandalan operasional tidak hanya ditentukan oleh karakteristik tugas teknis. Faktor-faktor organisasi seperti kualitas pengambilan keputusan, ketersediaan informasi, pengawasan, dan kondisi kerja juga memengaruhi kinerja manusia.

Untuk menggabungkan pengaruh organisasi ini, nilai HEP awal dikoreksi menggunakan metode HORAAM, yang mengevaluasi tujuh Faktor Pengaruh (IF) organisasi termasuk kualitas informasi, waktu pengambilan keputusan, kesulitan pengambilan keputusan, kompleksitas skenario, keterlibatan organisasi, kondisi kerja fisik, dan kesulitan operator. Setiap faktor pengaruh dinilai dan diberi bobot untuk menghasilkan koefisien koreksi organisasi (K_o). Dalam penelitian ini, koefisien organisasi yang dihasilkan adalah K_o = 2,15.

Oleh karena itu, probabilitas kesalahan manusia akhir dihitung menggunakan hubungan berikut:

$$HEP_{final} = HEP_{awal} \times K_o \quad (3)$$

Proses koreksi ini memungkinkan analisis untuk menangkap baik keandalan teknis manusia maupun efek amplifikasi organisasi, menghasilkan estimasi probabilitas kesalahan manusia operasional yang lebih realistis. Nilai HEP_final yang dihasilkan disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Probabilitas Kesalahan Manusia Akhir (HEP_final)

| Kategori HFE | HEP Awal | HEP Final |
|--|----------|-----------|
| Penanganan Bahan Kimia/Bahan Berbahaya | 0,07 | 0,14 |
| Penanganan material lalu lintas | 0,06 | 0,14 |
| Pengoperasian yang tidak aman | 0,06 | 0,13 |
| Pengawasan pelatihan | 0,02 | 0,04 |
| Ketidakpatuhan terhadap prosedur | 0,01 | 0,03 |
| Ketidakpatuhan APD | 0,01 | 0,03 |

| Kategori HFE | HEP Awal | HEP Final |
|---|----------|-----------|
| Penghalang rambu darurat | 0,01 | 0,03 |
| Kelalaian pemeliharaan | 0,01 | 0,03 |
| Kelalaian dalam pemeliharaan rumah tangga | 0,01 | 0,02 |
| Pengamanan penutupan yang tidak tepat | 0,01 | 0,01 |

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penanganan bahan kimia dan aktivitas lalu lintas/penanganan material memiliki nilai HEP_final tertinggi (0,14), diikuti oleh operasi yang tidak aman (0,13). Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas operasional yang melibatkan bahan berbahaya dan pergerakan peralatan lebih rentan terhadap kesalahan manusia dalam kondisi operasional.

Peningkatan dari HEP_awal ke HEP_final di sebagian besar kategori menunjukkan bahwa faktor organisasi secara signifikan memengaruhi probabilitas kesalahan manusia, terutama dalam lingkungan operasional dengan persyaratan pengambilan keputusan dan koordinasi yang kompleks.

Setelah menghitung nilai HEP_final, probabilitas dikonversi menjadi tingkat kemungkinan yang digunakan dalam evaluasi matriks risiko mengacu pada Tabel 7 Klasifikasi Kemungkinan Berdasarkan HEP. Konversi ini mengikuti pendekatan pemetaan probabilistik-kualitatif yang umum digunakan dalam kerangka kerja manajemen risiko.

Tabel 7. Konversi HEP_final ke Tingkat Kemungkinan

| Kategori HFE | HEP Final | Tingkat Kemungkinan |
|---|-----------|---------------------|
| Penanganan Bahan Kimia/Bahan Berbahaya | 0,14 | 4 |
| Penanganan material lalu lintas | 0,14 | 4 |
| Pengoperasian yang tidak aman | 0,13 | 4 |
| Pengawasan pelatihan | 0,04 | 3 |
| Ketidakpatuhan terhadap prosedur | 0,03 | 3 |
| Ketidakpatuhan APD | 0,03 | 3 |
| Penghalang rambu darurat | 0,03 | 3 |
| Kelalaian pemeliharaan | 0,03 | 3 |
| Kelalaian dalam pemeliharaan rumah tangga | 0,02 | 3 |
| Pengamanan penutupan yang tidak tepat | 0,01 | 2 |

Hasil konversi menunjukkan bahwa penanganan bahan kimia, penanganan lalu lintas/material, dan aktivitas operasional yang tidak aman termasuk dalam kategori "Kemungkinan Besar", yang mewakili probabilitas penyimpangan operasional yang relatif tinggi. Hasil ini menyoroti area operasional kritis yang memerlukan intervensi manajemen keselamatan yang diprioritaskan.

Oleh karena itu, integrasi ASEP dan HORAAM memungkinkan transformasi hasil analisis keandalan manusia menjadi indikator risiko operasional yang dapat langsung dimasukkan ke dalam kerangka matriks risiko.

Penilaian Tingkat Keparahan

Penilaian tingkat keparahan mengevaluasi potensi konsekuensi yang mungkin terjadi jika penyimpangan operasional menyebabkan kecelakaan. Tingkat keparahan mencerminkan besarnya dampak terhadap keselamatan operasional, kinerja organisasi, dan keberlanjutan operasional.

Dalam penelitian ini, penilaian tingkat keparahan mengikuti skala dampak yang digunakan dalam kerangka manajemen risiko terpadu yang diterapkan dalam organisasi. Skala tingkat keparahan berkisar dari 1 (dampak sangat rendah) hingga 5 (dampak sangat tinggi) seperti pada tabel 3. Klasifikasi Tingkat Keparahan (Tingkat Dampak).

Evaluasi tingkat keparahan mempertimbangkan beberapa konsekuensi potensial termasuk cedera pekerja, gangguan operasional, dampak lingkungan, dan kerugian finansial.

Analisis Matriks Risiko

Setelah menentukan nilai kemungkinan dan tingkat keparahan, setiap kategori operasional dievaluasi menggunakan matriks risiko perusahaan 5x5.

Analisis matriks risiko menyediakan kerangka kerja terstruktur untuk memvisualisasikan besarnya risiko operasional. Menurut Cox, matriks risiko banyak digunakan dalam manajemen risiko industri karena memungkinkan organisasi untuk mengkategorikan risiko ke dalam berbagai tingkat prioritas untuk tindakan mitigasi. [13]

Tabel 8. Klasifikasi Risiko Berdasarkan HEP Akhir

| NO | Tipe HFE | HEP Akhir | Kemungkinan | Dampak | Nilai Risiko | Tingkat Risiko |
|----|---|-----------|-------------------|-------------------|--------------|----------------------|
| 1 | Penanganan material lalu lintas | 0,13 | Sering (4) | Sangat Tinggi (5) | 20 | Tinggi |
| 2 | Pengoperasian yang tidak aman | 0,13 | Sering (4) | Sangat Tinggi (5) | 20 | Tinggi |
| 3 | Penanganan bahan kimia B3 | 0,15 | Sering (4) | Tinggi (4) | 16 | Sedang hingga Tinggi |
| 4 | Ketidakpatuhan terhadap prosedur | 0,03 | Kadang-kadang (3) | Tinggi (4) | 12 | Sedang hingga Tinggi |
| 5 | Ketidakpatuhan APD | 0,03 | Kadang-kadang (3) | Tinggi (4) | 12 | Sedang hingga Tinggi |
| 6 | Penghalang rambu darurat | 0,03 | Kadang-kadang (3) | Tinggi (4) | 12 | Sedang hingga Tinggi |
| 7 | Kelalaian pemeliharaan | 0,03 | Kadang-kadang (3) | Tinggi (4) | 12 | Sedang hingga Tinggi |
| 8 | Pengamanan penutupan yang tidak tepat | 0,01 | Kadang-kadang (3) | Tinggi (4) | 12 | Sedang hingga Tinggi |
| 9 | Pengawasan pelatihan | 0,04 | Kadang-kadang (3) | Sedang (3) | 9 | Sedang |
| 10 | Kelalaian dalam pemeliharaan rumah tangga | 0,02 | Kadang-kadang (3) | Sedang (3) | 9 | Sedang |

Tabel 8 menunjukkan bahwa lalu lintas/penanganan material dan operasi yang tidak aman termasuk dalam kategori risiko Tinggi, sedangkan penanganan bahan kimia/Bahan Berbahaya diklasifikasikan sebagai risiko Sedang hingga Tinggi karena tingkat keparahan konsekuensinya yang tinggi. Temuan ini memperkuat kritik terhadap pendekatan manajemen keselamatan berbasis frekuensi, yang mungkin meremehkan skenario frekuensi rendah tetapi berdampak tinggi [14].

Temuan serupa dilaporkan oleh Zulkifly & Ranjan (2024) yang menemukan bahwa sistem pengamatan keselamatan perilaku sering menghasilkan laporan keselamatan frekuensi tinggi yang terkait dengan risiko tingkat keparahan yang relatif rendah. Studi mereka menyoroti bahwa mengandalkan semata-mata pada frekuensi pengamatan dapat menyebabkan interpretasi yang bias terhadap kinerja keselamatan operasional [15].

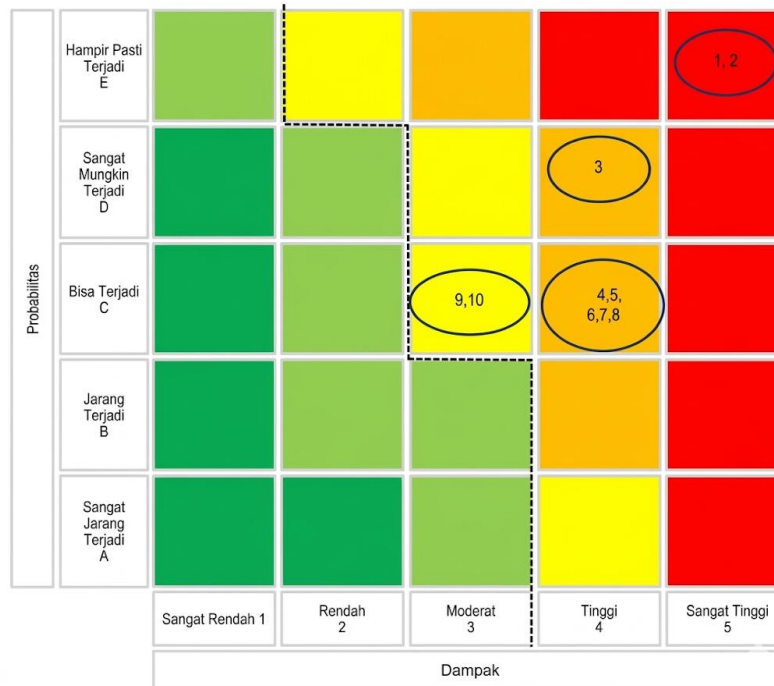
Hasil penelitian ini mendukung argumen tersebut, karena pengamatan terkait kebersihan mewakili proporsi terbesar dari temuan keselamatan tetapi tidak muncul di antara kategori operasional berisiko tertinggi dalam evaluasi matriks risiko. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi pelaporan yang tinggi tidak selalu berkorelasi dengan risiko operasional yang tinggi.

Nilai HEP yang tinggi pada aktivitas penanganan material berbahaya, traffic/material handling, dan unsafe operation menunjukkan bahwa risiko operasional tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik teknis pekerjaan, tetapi juga mencerminkan kondisi budaya keselamatan dalam organisasi. Aktivitas tersebut umumnya memiliki tekanan kerja tinggi, kebutuhan koordinasi yang kompleks, serta ketergantungan terhadap kepatuhan prosedur kerja secara ketat. Dalam kondisi operasional pembangkit listrik yang berlangsung kontinu, tekanan terhadap produktivitas dan kecepatan penyelesaian pekerjaan berpotensi meningkatkan peluang terjadinya penyimpangan prosedur maupun pengambilan keputusan yang kurang optimal.

Selain itu, tingginya nilai HEP pada kategori tersebut juga mengindikasikan bahwa kualitas komunikasi keselamatan, efektivitas pengawasan, dan konsistensi implementasi prosedur kerja masih menjadi faktor kritis dalam membangun budaya keselamatan yang kuat. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis risiko mampu memberikan gambaran yang lebih representatif terhadap kondisi safety culture dibandingkan indikator frekuensi semata, karena mampu mengidentifikasi area operasional dengan tingkat kerentanan sistemik yang tinggi meskipun jumlah temuannya relatif kecil.

Oleh karena itu, mengintegrasikan Analisis Keandalan Manusia dengan evaluasi matriks risiko memberikan pendekatan yang lebih komprehensif untuk mengidentifikasi bahaya operasional kritis dengan mempertimbangkan secara bersamaan baik kemungkinan terjadinya maupun tingkat keparahan konsekuensinya.

Distribusi risiko secara keseluruhan dalam kerangka matriks 5x5 diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Matriks Risiko

Gambar 2 secara visual menunjukkan pergeseran prioritas ketika probabilitas dan tingkat keparahan dievaluasi secara bersamaan. Integrasi ini memungkinkan pengambilan keputusan manajerial yang terstruktur berdasarkan paparan probabilistik, bukan hanya berdasarkan jumlah insiden saja.

Interpretasi Budaya Keselamatan

Hasil analisis matriks risiko memberikan wawasan penting mengenai hubungan antara risiko operasional dan budaya keselamatan organisasi.

Budaya keselamatan mengacu pada nilai-nilai, keyakinan, dan perilaku bersama yang memengaruhi bagaimana risiko keselamatan dipahami dan dikelola dalam suatu organisasi. Cooper menjelaskan bahwa budaya keselamatan secara signifikan mempengaruhi kinerja keselamatan karena komitmen kepemimpinan, kualitas komunikasi, dan partisipasi karyawan mempengaruhi perilaku keselamatan di tempat kerja [16].

Temuan studi ini mengungkapkan bahwa temuan keselamatan frekuensi tinggi tidak selalu sesuai dengan kategori risiko tertinggi. Misalnya, masalah yang berkaitan dengan kebersihan mewakili proporsi terbesar dari temuan keselamatan tetapi umumnya memiliki tingkat keparahan yang lebih rendah.

Temuan ini menunjukkan bahwa sistem pengamatan keselamatan dapat dipengaruhi oleh pola pelaporan perilaku, di mana kondisi yang mudah diamati seperti masalah kebersihan dilaporkan lebih sering daripada risiko operasional kompleks yang melibatkan pengoperasian peralatan, penanganan bahan berbahaya, atau kepatuhan prosedur. Pola ini menunjukkan

bahwa meskipun sistem pengamatan keselamatan efektif dalam mengidentifikasi kondisi tempat kerja yang terlihat, sistem tersebut mungkin tidak sepenuhnya menangkap risiko operasional laten yang terkait dengan interaksi sosio-teknis yang kompleks. Oleh karena itu, mengintegrasikan pendekatan analitis berbasis risiko dengan sistem pengamatan keselamatan sangat penting untuk memastikan bahwa keputusan manajemen keselamatan dipandu tidak hanya oleh frekuensi pengamatan tetapi juga oleh potensi keparahan dan kemungkinan bahaya operasional.

Pengamatan ini mendukung argumen yang diajukan oleh Reason bahwa kecelakaan jarang terjadi karena satu tindakan tidak aman saja, melainkan muncul dari berbagai kegagalan yang saling berinteraksi dalam sistem teknis dan organisasi [17].

Oleh karena itu, organisasi tidak boleh hanya mengandalkan indikator keselamatan berbasis frekuensi, tetapi harus mengadopsi pendekatan berbasis risiko untuk memprioritaskan inisiatif peningkatan keselamatan.

Memperkuat budaya keselamatan tidak hanya membutuhkan peningkatan keselamatan teknis, tetapi juga inisiatif organisasi seperti komitmen kepemimpinan, program pelatihan keselamatan, dan komunikasi keselamatan yang berkelanjutan.

Menurut Guldenmund, organisasi dengan budaya keselamatan yang kuat cenderung menunjukkan tingkat kesadaran keselamatan yang lebih tinggi dan perilaku pelaporan bahaya yang proaktif di antara para pekerja [18].

Dengan mengintegrasikan temuan keselamatan operasional dengan analisis matriks risiko, organisasi dapat lebih memahami hubungan antara perilaku operasional, keandalan manusia, dan pengembangan budaya keselamatan.

Implikasi Manajerial

Temuan studi ini memberikan beberapa implikasi praktis untuk manajemen keselamatan di fasilitas pembangkit listrik. Pertama, organisasi harus memprioritaskan strategi mitigasi risiko untuk aktivitas operasional yang melibatkan pergerakan peralatan dan penanganan bahan berbahaya, yang menunjukkan tingkat risiko tertinggi dalam analisis ini.

Kedua, program pelatihan keselamatan harus berfokus pada peningkatan keandalan manusia selama tugas operasional kritis, khususnya dalam aktivitas yang membutuhkan koordinasi dan pengambilan keputusan yang kompleks. Program pelatihan yang tepat sasaran dapat meningkatkan kesadaran operator terhadap potensi kesalahan manusia dan memperkuat kepatuhan terhadap prosedur operasional.

Ketiga, praktik pengawasan harus diperkuat untuk memastikan penerapan prosedur keselamatan yang konsisten dan pemantauan kegiatan operasional yang efektif. Pengawasan yang kuat memainkan peran penting dalam mengurangi perilaku operasional yang tidak aman dan meningkatkan kinerja keselamatan secara keseluruhan.

Terakhir, organisasi harus melengkapi sistem pengamatan keselamatan dengan analisis berbasis risiko untuk memastikan bahwa keputusan manajemen keselamatan tidak hanya didorong oleh frekuensi pengamatan, tetapi juga mempertimbangkan potensi tingkat keparahan konsekuensi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan pendekatan berbasis risiko (*risk-based approach*) dalam analisis keselamatan operasional mampu memberikan representasi yang lebih akurat terhadap tingkat risiko dibandingkan pendekatan berbasis frekuensi semata. Hasil analisis terhadap data temuan keselamatan menunjukkan bahwa kategori dengan frekuensi tinggi, seperti *housekeeping lapse*, tidak selalu memiliki tingkat risiko yang tinggi, sedangkan aktivitas seperti *traffic/material handling*, *unsafe operation*, dan penanganan material berbahaya justru memiliki tingkat risiko yang lebih signifikan berdasarkan kombinasi antara kemungkinan (*likelihood*) dan dampak (*severity*).

Integrasi *Human Reliability Analysis* melalui estimasi *Human Error Probability* (HEP) dengan *corporate risk matrix* terbukti mampu meningkatkan akurasi dalam penentuan prioritas risiko operasional. Pendekatan ini tidak hanya mempertimbangkan aspek teknis, tetapi juga mengakomodasi pengaruh faktor organisasi terhadap kemungkinan terjadinya kesalahan manusia. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa budaya keselamatan (*safety culture*) memiliki peran penting dalam membentuk kinerja keselamatan, terutama melalui aspek pengawasan, pelatihan, komunikasi, dan kepatuhan terhadap prosedur operasional.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan metode analisis keselamatan yang lebih komprehensif dan terstruktur, serta mendukung pergeseran dari pendekatan reaktif menuju manajemen keselamatan yang proaktif. Penerapan pendekatan ini diharapkan dapat membantu organisasi dalam menentukan prioritas pengendalian risiko secara lebih efektif, khususnya pada aktivitas operasional dengan tingkat risiko tinggi di industri pembangkit listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Anwar, "TINJAUAN LITERATUR TENTANG PENGARUH STRES KERJA TERHADAP KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA DI LINGKUNGAN INDUSTRI," *Ecohealth: Jurnal Inovasi Kesehatan Lingkungan dan Keselamatan Kerja*, vol. 1, no. 1, hlm. 1–6, Mei 2024.
- [2] N. S. Ulfah, H. N. Amrullah, D. R. Widiana, dan A. Thohir, "Analisis Human Error Probability pada Pekerjaan Scaffolding Menggunakan Metode CREAM," *Journal of Safety, Health, and Environmental Engineering*, vol. 2, no. 2, hlm. 33–40, Des 2024, doi: 10.35991/jshee.v2i2.47.
- [3] B. S. P, M. Irwanti, dan F. Lestari, *Komunikasi Risiko dan Promosi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3): Untuk Meningkatkan Kematangan Budaya Keselamatan (Safety Culture) di Pelbagai Industri - Jejak Pustaka*. Jejak Pustaka.
- [4] T. Shabani, S. Jerie, dan T. Shabani, "A comprehensive review of the Swiss cheese model in risk management," *Saf. Extreme Environ.*, vol. 6, no. 1, hlm. 43–57, Mar 2024, doi: 10.1007/s42797-023-00091-7.
- [5] K. B. Muhammad, A. Asran, N. Sulistyanungtyas, M. Syahrir, dan R. Rahman, "Gambaran Implementasi Audit Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) PT Cahaya Teknik Elektrikal," *JHQD*, vol. 5, no. 1, hlm. 1–11, Apr 2025, doi: 10.51577/jhqd.v5i1.748.
- [6] D. M. Safitri, N. P. G. G. P. Mahadevi, dan S. Adisuwiryo, "Minimasi Human Error pada Operator Produksi Alat Kesehatan Menggunakan Pendekatan THERP-HAZOP," *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 12, no. 2, hlm. 213–228, Okt 2023, doi: 10.26593/jrsi.v12i2.5477.213-228.
- [7] H. D. Januwariska, R. H. Sitorus, dan D. A. Wahyudi, "PENGARUH VALIDITAS SOAL TERHADAP KEAKURATAN HASIL PENILAIAN," *Jurnal Inovasi Pendidikan PEDAGOGI*, vol. 1, no. 2, hlm. 75–82, Nov 2025.
- [8] A. D. Puspita dan A. D. Fretes, "Penilaian Keandalan Manusia Menggunakan Pendekatan Sherpa dan Heart pada Aktivitas Operasi Crane Kontainer. (Studi Kasus PT Petikemas Surabaya) | IQTISHADequity jurnal MANAJEMEN," Agu 2023, Diakses: 12 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://e-journal.umaha.ac.id/index.php/iqtisad/article/view/11888>
- [9] L. P. Sitanggang, P. A. Gultom, D. Silalahi, dan T. Limbong, "INTEGRASI HUMAN RESOURCE ANALYTICS DAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN UNTUK MENINGKATKAN AKURASI PERENCANAAN DAN PENGEMBANGAN SDM DI ORGANISASI MODERN," *Seminar Nasional Manajemen dan Akuntansi*, hlm. 335–347, Okt 2025.
- [10] C. Fajar, D. Dewanti, dan M. R. F. Amrozi, "Penerapan Metode Human Factor Analysis and Classification System (HFACS) untuk Mengidentifikasi Kecelakaan pada Angkutan Pariwisata," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, hlm. 257–268, Jun 2025.
- [11] S. Hamidya, E. Susilowati, N. A. Putri, dan N. Ulfah, "EVALUATION OF UNSAFE ACTIONS, UNSAFE CONDITIONS, AND POSITIVE OBSERVATIONS AT A FUEL TERMINAL USING THE BEHAVIOR BASED SAFETY OBSERVATION APPROACH," *Jurnal Kesehatan dan Keselamatan Kerja Universitas Halu Oleo*, vol. 6, no. 3, Nov 2025, Diakses: 12 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://jk3.uho.ac.id/index.php/journal/article/view/140>
- [12] T. Tanto, S. Aima, A. N. P. Kurniawan, dan A. N. A. Fadillah, "FAKTOR-FAKTOR YANG BERHUBUNGAN DENGAN BUDAYA KESELAMATAN DI INDONESIA," *Medical Nurse Journal*, hlm. 21–31, Des 2025, doi: 10.65344/menu.v2i2.150.
- [13] J. M. Faradillah, M. M. Rachmadhani, D. R. Kadang, F. Mahmud, dan I. Amri, "ANALISIS DAN EVALUASI MANAJEMEN RISIKO PADA USAHA LAUNDRY RUMAHAN MENGGUNAKAN METODE LIKELIHOOD DAN CONSEQUENCE RISK MATRIKS," *Industrial Engineering Journal – System*, vol. 2, no. 02, hlm. 54–66, Apr 2024, doi: 10.33506/system.v2i02.3579.
- [14] D. Waliyan, M. Yusuf, M. T. Toha, E. Ibrahim, S. Komar, dan R. W. Putra, "Integrasi Strategi Berbasis Akar Penyebab dan Perbaikan Berkelanjutan untuk Menurunkan Risiko Kerja dan Meningkatkan Efisiensi Pengelolaan Lingkungan Tambang Secara Sistemik," *Jurnal Penelitian Kesehatan "SUARA FORIKES" (Journal of Health Research "Forikes Voice")*, vol. 16, no. 4, hlm. 956–964, Des 2025, doi: 10.33846/sf16417.
- [15] S. S. Zulkifly dan M. Z. Ranjan, "PENGUATKUASAAN PEMATUHAN PERUNDANGAN BERKAITAN KESELAMATAN DAN KESIHATAN PEKERJAAN DI SEKTOR PEMBINAAN (Enforcement of Occupational Safety and Health related Legal's Compliances in Construction Sector)," *UUM Journal of Legal Studies*, vol. 15, no. 1, hlm. 361–383, Jan 2024, doi: 10.32890/uumjls2024.15.1.15.
- [16] A. Stevianingrum dan D. Erwandi, "FAKTOR-FAKTOR DOMINAN BUDAYA KESELAMATAN DI SEKTOR TAMBANG BATUBARA : KAJIAN LITERATUR," *PREPOTIF*, vol. 6, no. 2, hlm. 1018–1026, Jun 2022, doi: 10.31004/prepotif.v6i2.4177.

- [17] F. Deliani dan M. Wirawan, “Analisis Insiden Alat Angkut Material pada Area Hauling dengan Menggunakan Metode Bowtie di PT . XYZ Periode 2018-2020,” *National Journal of Occupational Health and Safety*, vol. 2, no. 2, Des 2021, doi: 10.59230/njohs.v2i2.5832.
- [18] P. G. P. Anwar, A. R. Malik, dan A. A. Karim, “Peningkatan Budaya Keselamatan Laboratorium Terpadu Kampus X,” *Journal of Industrial Innovation and Safety Engineering*, vol. 1, no. 2, hlm. 83–91, Jul 2023, doi: 10.35718/jinseng.v1i2.796.