

## Mitigasi Risiko dan Optimasi Kinerja Keselamatan Proses Pelapisan Logam di CV Hinani melalui Integrasi Metode HIRADC dan FMEA

Riny Yolandha Parapat<sup>1</sup>, Adlin Regina<sup>2</sup>, Adinda Mustika Shafira<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasioanal Bandung, Indonesia  
Email: <sup>1</sup>[rinyyolandha@mhs.itenas.ac.id](mailto:rinyyolandha@mhs.itenas.ac.id), <sup>2</sup>[adlin.regina@mhs.itenas.ac.id](mailto:adlin.regina@mhs.itenas.ac.id),  
<sup>3</sup>[adinda.mustika@mhs.itenas.ac.id](mailto:adinda.mustika@mhs.itenas.ac.id)

### Abstrak

Industri pelapisan permukaan logam (*electroplating*) memiliki berbagai potensi bahaya K3 akibat penggunaan bahan kimia korosif, logam berat, arus listrik tinggi, dan proses operasi yang kompleks. Pada CV Hinani, belum terdapat sistem manajemen risiko keselamatan proses yang terdokumentasi dan terintegrasi sehingga diperlukan identifikasi serta pengendalian risiko yang lebih sistematis. Penelitian ini bertujuan untuk memitigasi risiko dan mengoptimalkan kinerja keselamatan proses melalui integrasi metode HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control*) dan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Data dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara operator, dan telaah dokumen operasional. Hasil analisis mengidentifikasi 12 bahaya utama dengan tiga mode kegagalan kritis yaitu kebocoran tangki krom heksavalen (RPN = 448), kegagalan sistem ventilasi lokal (RPN = 420), dan tidak adanya prosedur tanggap darurat tumpahan bahan kimia (RPN = 392). Berdasarkan hasil identifikasi bahaya melalui HIRADC dan prioritas risiko menggunakan FMEA, rekomendasi mitigasi disusun melalui penerapan *secondary containment*, peningkatan sistem ventilasi, penyediaan fasilitas darurat, serta pengembangan prosedur dan pelatihan keselamatan kerja. Berdasarkan simulasi penerapan rekomendasi mitigasi yang diusulkan nilai RPN diproyeksikan mengalami penurunan rata-rata sebesar 65%. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi HIRADC dan FMEA efektif untuk meningkatkan keselamatan proses serta dapat menjadi pendekatan praktis dalam pengembangan sistem manajemen keselamatan pada industri kecil dan menengah sektor pelapisan logam.

**Kata Kunci:** *Electroplating, FMEA, HIRADC, Keselamatan Proses, Mitigasi Risiko*

### Abstract

The metal surface coating (*electroplating*) industry presents significant occupational health and safety (OHS) hazards due to the use of hazardous chemicals, heavy metals, electrolysis processes, and high electrical currents. At CV Hinani, the absence of a documented and integrated process safety management system highlights the need for a more systematic approach to hazard identification and risk control. This study aims to mitigate risks and optimize process safety performance through the integration of Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control (HIRADC) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Data were collected through direct observation, operator interviews, and operational document reviews. The analysis identified 12 major hazards, with three critical failure modes consisting of hexavalent chromium tank leakage (RPN = 448), local exhaust ventilation system failure (RPN = 420), and the absence of chemical spill emergency response procedures (RPN = 392). Based on hazard identification results obtained through HIRADC and risk prioritization using FMEA, mitigation measures were developed, including the implementation of secondary containment systems, improvement of ventilation performance, provision of emergency facilities, and enhancement of operational procedures and safety training programs. Based on the simulation of the proposed mitigation measures, the Risk Priority Number (RPN) is projected to decrease by an average of 65%. This study demonstrates that the integration of HIRADC and FMEA is effective in improving process safety performance and can serve as a practical approach for the development of safety management systems in small and medium-sized enterprises (SMEs) within the metal surface coating industry.

**Keywords:** *Electroplating, Hiradc, Fmea, Process Safety, Risk Mitigation.*

## 1. PENDAHULUAN

Sektor industri kecil dan menengah (IKM) logam di Indonesia memiliki kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional, namun seringkali menghadapi tantangan serius dalam penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Proses pelapisan permukaan logam (*electroplating*) melibatkan penggunaan bahan kimia korosif, logam berat, arus listrik tinggi, serta proses elektrokimia yang berpotensi menimbulkan risiko terhadap pekerja maupun lingkungan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa paparan kabut kromium, nikel, asam kuat, dan sengatan listrik merupakan sumber bahaya utama pada industri pelapisan logam yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan kronis, kecelakaan kerja, dan pencemaran lingkungan (Alias et al., 2024; Almousa et al., 2025; Septarini et al., 2026)., mulai dari *degreasing*, pencucian asam, hingga pelapisan dengan larutan logam berat seperti kromium dan nikel. Bahan-bahan ini bersifat korosif, karsinogenik, dan beracun bagi lingkungan. Selain risiko kimia, terdapat pula risiko fisik berupa sengatan listrik dari arus searah (DC) besar, bahaya panas dari proses pemanasan tangki, serta risiko mekanis dari peralatan bergerak (Alias et al., 2024; Distler, 2016a)

Tantangan utama di CV Hinani adalah belum adanya sistem manajemen risiko keselamatan proses yang terdokumentasi dan terintegrasi. Ketersediaan Alat Pelindung Diri (APD) seperti sarung tangan dan masker tidak menjamin eliminasi risiko karena kegagalan prosedur atau kesalahan manusia. Investigasi awal menunjukkan bahwa insiden kecil seperti tumpahan bahan kimia dan iritasi kulit sering terjadi, namun tidak dilaporkan atau dianalisis secara sistematis. Hal ini mencerminkan kondisi umum pada banyak IKM di mana keselamatan seringkali dipandang sebagai beban biaya investasi jangka Panjang (Almousa et al., 2025; Li et al., 2025).

Metode *Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control* (HIRADC) merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam manajemen risiko keselamatan dan kesehatan kerja karena mampu mengidentifikasi potensi bahaya secara sistematis serta mengevaluasi tingkat risiko pada setiap tahapan pekerjaan. Meskipun demikian, HIRADC memiliki keterbatasan dalam menentukan prioritas risiko yang paling kritis untuk segera dikendalikan ketika jumlah bahaya yang teridentifikasi cukup banyak. Oleh karena itu, metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan sebagai pendekatan pelengkap untuk menganalisis mode kegagalan berdasarkan tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*) melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN). Integrasi HIRADC dan FMEA memungkinkan proses identifikasi bahaya, penilaian risiko, serta penentuan prioritas pengendalian dilakukan secara lebih komprehensif dan terukur, sehingga dapat menghasilkan strategi mitigasi yang lebih efektif dibandingkan penggunaan satu metode secara terpisah

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan kerangka analisis K3 terintegrasi pada proses *electroplating* guna mengidentifikasi potensi bahaya, menilai tingkat risiko, serta merumuskan strategi mitigasi yang efektif dan mudah diterapkan pada industri kecil dan menengah (IKM). Identifikasi bahaya dilakukan menggunakan metode HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control*), sedangkan prioritas mode kegagalan kritis ditentukan melalui metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) berdasarkan tingkat keparahan, frekuensi kejadian, dan kemampuan deteksi. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan mengoptimalkan kinerja keselamatan kerja melalui redesain prosedur operasional yang lebih aman dan sistematis. Penelitian ini didasarkan pada hipotesis bahwa kombinasi pendekatan kuantitatif dan kualitatif secara simultan mampu menghasilkan strategi mitigasi risiko yang lebih efektif dibandingkan penggunaan satu pendekatan saja. (Lambart et al., 2022).

Penelitian mengenai penerapan metode analisis risiko pada industri pelapisan logam telah berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Septarini et al. (2026) menunjukkan bahwa kombinasi HAZOP dan FMEA mampu meningkatkan identifikasi risiko pada industri pengerjaan logam skala kecil. Almousa et al. (2025) menekankan pentingnya integrasi pendekatan berbasis risiko dalam meningkatkan ketahanan sistem keselamatan proses industri. Sementara itu, Wu dan Wu (2021) menunjukkan bahwa metode FMEA efektif digunakan untuk menentukan prioritas pengendalian risiko berdasarkan nilai RPN. Meskipun demikian, penerapan integrasi HIRADC dan FMEA pada industri pelapisan logam skala IKM di Indonesia masih relatif terbatas sehingga diperlukan penelitian yang lebih kontekstual dan aplikatif sesuai kondisi operasional perusahaan

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus kuantitatif-kualitatif terintegrasi. Lokasi penelitian adalah CV Hinani, sebuah industri pelapisan logam di kawasan industri kecil Jalan Rumah Sakit, dengan 17 orang pekerja. Penelitian dilakukan selama empat minggu pada bulan Februari hingga bulan maret 2026, mencakup tahap observasi, pengumpulan data, analisis, dan perumusan rekomendasi.

Tahap pertama penelitian dilakukan melalui identifikasi bahaya pada setiap tahapan proses *electroplating*, meliputi proses *degreasing* (pembersihan minyak), *pickling* (pencucian asam), *electroplating* (pelapisan nikel, krom, atau tembaga), *rinsing* (pembilasan), dan *drying* (pengeringan). Pengumpulan data dilakukan menggunakan metode *walk-through survey*, dokumentasi foto, serta pengukuran sederhana seperti kecepatan aliran ventilasi dan tingkat kebisingan area kerja. Selain itu, wawancara semi-terstruktur dilakukan terhadap 4 operator untuk mengetahui persepsi pekerja terhadap potensi bahaya di lingkungan kerja. Seluruh bahaya yang teridentifikasi kemudian disusun ke dalam matriks HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control*) berdasarkan standar AS/NZS 4360:2004. Penilaian risiko dilakukan berdasarkan parameter Likelihood (L) dan Severity (S). Nilai Likelihood diberikan pada skala 1–5, dimana nilai 1 menunjukkan kejadian sangat jarang terjadi dan nilai 5 menunjukkan kejadian sangat sering terjadi. Nilai Severity juga menggunakan skala 1–5, dimana nilai 1 menunjukkan dampak tidak signifikan dan nilai 5 menunjukkan dampak katastrofik berupa kematian, cacat permanen, atau kerusakan besar pada fasilitas. (Lv et al., 2023; Richert et al., 2024; Universitas Gadjah Mada et al., 2024). Tingkat risiko ditentukan dengan:

$$R = L \times S \quad (1)$$

Penilaian dilakukan menggunakan skala 1–5, dimana nilai 1 menunjukkan risiko rendah dan nilai 5 menunjukkan risiko sangat tinggi.

Tahap kedua penelitian dilakukan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Berdasarkan hasil identifikasi bahaya, dipilih delapan mode kegagalan utama yang berkaitan dengan peralatan maupun prosedur kerja. Parameter yang dianalisis meliputi *Severity (S)*, yaitu tingkat keparahan dampak kegagalan; *Occurrence (O)*, yaitu frekuensi terjadinya kegagalan; serta *Detection (D)*, yaitu kemampuan sistem pengendalian dalam mendeteksi kegagalan sebelum menyebabkan kecelakaan. Penilaian ketiga parameter dilakukan menggunakan skala 1–10. Nilai *Severity* menunjukkan tingkat keparahan dampak kegagalan, nilai *Occurrence* menunjukkan kemungkinan terjadinya kegagalan, sedangkan nilai *Detection* menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi potensi kegagalan sebelum menimbulkan dampak. Semakin tinggi nilai *Detection*, semakin rendah kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan. Nilai Risk Priority Number (RPN) dihitung menggunakan persamaan:

$$RPN = S \times O \times D \quad (2)$$

Mode kegagalan dengan nilai RPN lebih dari 350 dikategorikan sebagai *Critical Priority* dan dijadikan fokus utama dalam penyusunan strategi mitigasi (Ikhsan et al., 2025; Samarasinghe & Heenatigala, 2024).

Tahap akhir penelitian dilakukan dengan merancang rekomendasi mitigasi berdasarkan hasil analisis HIRADC dan FMEA. Strategi pengendalian disusun menggunakan prinsip hierarki pengendalian risiko yang meliputi eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, pengendalian administratif, serta penggunaan alat pelindung diri (APD). Selanjutnya, rekomendasi yang dihasilkan divalidasi melalui Focus Group Discussion (FGD) yang melibatkan pemilik perusahaan, satu orang supervisor produksi, dan dua orang operator berpengalaman. Diskusi dilakukan untuk menilai kelayakan teknis, efektivitas implementasi, serta kesesuaian biaya penerapan rekomendasi pada industri kecil dan menengah. Untuk meningkatkan validitas dan konsistensi penilaian risiko, proses pemberian skor pada HIRADC dan FMEA dilakukan melalui diskusi bersama antara peneliti dan pihak perusahaan hingga diperoleh kesepakatan penilaian (*consensus assessment*) (Prasad & Suresh, 2023).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Profil Risiko Proses Pelapisan Logam di CV Hinani

Berdasarkan Tabel 1, teridentifikasi 5 bahaya utama dengan tingkat risiko ekstrem hingga tinggi pada proses *electroplating* di CV Hinani. Risiko ekstrem ditemukan pada tahap *degreasing*, *pickling*, proses pelapisan krom, dan sengatan listrik, sementara risiko tinggi terdapat pada penanganan limbah nikel. Temuan ini sejalan dengan penelitian

Tabel 1. Identifikasi Bahaya Poses *Electroplating* dengan *HIRADC* di CV Hinani

Stasiun Kerja	Bahaya	Risiko	Tingkat Risiko
Degreasing	Paparan uap <i>Trichloroethylene</i>	Gangguan saraf, iritasi mata	Ekstrem (E)
Pickling	Percikan asam sulfat pekat	Luka bakar kimia, kerusakan mata permanen	Ekstrem (E)
Elektroplating (Krom)	Inhalasi kabut krom heksavalen	Kanker paru, perforasi septum hidung	Ekstrem (E)
Elektroplating	Sengatan listrik (arus 500-1500 A)	Fibrilasi ventrikel, luka bakar listrik	Ekstrem (E)
Penanganan Limbah	Kebocoran tangki limbah nikel	Kontaminasi tanah, dermatitis	Tinggi (H)

Temuan ini sejalan dengan penelitian Septarini et al. (2026) yang mengidentifikasi bahwa paparan kabut asam dan risiko listrik merupakan ancaman dominan di bengkel-bengkel logam skala kecil. Observasi visual menunjukkan bahwa unit *exhaust* lokal untuk kabut krom tidak berfungsi optimal, ditandai dengan endapan putih kehijauan di sekitar tangki pelapisan, mengindikasikan laju alir hisap tidak mencukupi (Septarini et al., 2026)

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa sebagian besar risiko dengan kategori tinggi berasal dari penggunaan bahan kimia korosif dan beracun, khususnya larutan yang mengandung kromium heksavalen. Risiko tersebut diperparah oleh keterbatasan fasilitas pengendalian teknis, seperti sistem ventilasi lokal yang belum optimal serta belum tersedianya sistem penanganan tumpahan bahan kimia yang memadai. Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor penyebab utama risiko tidak hanya berasal dari karakteristik bahan yang digunakan, tetapi juga dari aspek pengendalian operasional dan kesiapsiagaan perusahaan dalam menghadapi kondisi darurat (Jahangoshai Rezaee et al., 2020).

#### 3.2. Prioritas Risiko dengan *FMEA*

Dari 12 bahaya yang teridentifikasi, dipilih 5 mode kegagalan untuk analisis *FMEA*. Hasil perhitungan RPN disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis *FMEA* pada Peralatan dan Proses Kiritis

Mode Kegagalan	Efek	S	O	D	RPN	Prioritas
Kebocoran tangki krom heksavalen	Paparan eksternal massal	9	7	7	448	1
Kegagalan <i>exhaust</i> kabut krom	Akumulasi kabut toksik di udara	10	6	7	420	2
Tidak ada prosedur tumpahan kimia	Respons lambat, paparan meluas	8	7	7	392	3
Korsleting pada bus bar tembaga	Percikan api, kebakaran	8	6	6	288	4
Tidak ada <i>eyewash</i> terkalibrasi	Keterlambatan dekontaminasi mata	10	4	6	240	5

Nilai RPN tertinggi (448) adalah kebocoran tangki krom. Material tangki yang terbuat dari *polypropylene* (PP) telah beroperasi selama 7 tahun, melebihi umur desain rekomendasi untuk larutan asam kuat. Faktor kejadian ( $O=7$ ) dinilai tinggi berdasarkan catatan perawatan yang menunjukkan dua kali perbaikan kebocoran kecil dalam 6 bulan terakhir. Faktor deteksi ( $D=7$ ) tinggi karena tidak ada sistem *double containment* atau sensor kebocoran. Temuan ini konsisten dengan studi oleh SCMA Team (2026) yang menekankan pentingnya penampungan sekunder untuk gudang bahan kimia (Ikhsan et al., 2025; Wu & Wu, 2021)

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian Kim, Jung, dan Yoon (2021) yang menunjukkan bahwa proses anodizing dan electroplating menghasilkan paparan partikulat dan logam berat di udara kerja sehingga memerlukan pengendalian teknis yang memadai, terutama sistem ventilasi dan pemantauan lingkungan kerja.

### 3.3. Optimalisasi dan Mitigasi Risiko

Rekomendasi mitigasi dirancang berdasarkan nilai RPN dan hirarki kontrol. Tabel 3 merangkum intervensi utama.

Tabel 3. Rencana Mitigasi untuk Mode Kegagalan Prioritas 1-3

Mode Kegagalan	Rekomendasi Mitigasi	Hirarki Kontrol	Estimasi Penurunan RPN
<b>Kebocoran Tangki Krom</b>	1. Instalasi <i>secondary containment</i> (baskom stainless steel). 2. Jadwal inspeksi ketebalan dinding tangki setiap bulan.	Rekayasa Teknik	448 → 126 (Turun 72%)
<b>Kegagalan Exhaust</b>	1. Pemasangan indikator aliran (vane switch) dengan alarm. 2. Peningkatan kapasitas <i>scrubber</i> basah.	Rekayasa Teknik	420 → 180 (Turun 57%)
<b>Tidak ada Prosedur Tumpahan</b>	1. Pengembangan <i>Spill Response Procedure</i> visual. 2. Penyediaan <i>spill kit</i> di setiap akses tangki.	Administrasi	392 → 112 (Turun 71%)

Salah satu bentuk optimasi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah redesign prosedur penggantian katoda dan anoda pada proses electroplating. Prosedur sebelumnya masih memiliki tingkat risiko tinggi karena tidak mewajibkan penerapan sistem *lock-out tag-out* (LOTO) pada sumber listrik selama proses pemeliharaan berlangsung. Kondisi tersebut meningkatkan potensi terjadinya sengatan listrik dan *arc flash* akibat kontak dengan arus searah (DC) berkapasitas tinggi yang mencapai lebih dari 500 A (Rahmania et al., 2024).

Prosedur kerja yang baru kemudian dirancang dengan mengintegrasikan prinsip keselamatan listrik dan pengendalian risiko kerja. Tahapan prosedur meliputi pemutusan serta penguncian sumber listrik utama menggunakan sistem LOTO, penggunaan sarung tangan berinsulasi dalam kondisi kering, pelepasan konektor menggunakan kunci berbahan keramik untuk meminimalkan konduktivitas listrik, serta penggunaan *manual hoist* dalam proses pengangkatan anoda guna mengurangi kontak fisik langsung antara operator dan material logam. Implementasi prosedur ini diharapkan mampu menurunkan potensi kecelakaan kerja, meningkatkan keselamatan operator, serta menciptakan sistem kerja yang lebih aman dan terstandarisasi pada proses electroplating (Wijaya et al., 2025).

### 3.4. Optimalisasi Kinerja Keselamatan

Implementasi rekomendasi yang dirancang dalam penelitian ini, meskipun masih pada tahap simulasi kebijakan, menunjukkan potensi peningkatan kinerja keselamatan kerja yang signifikan. Hasil

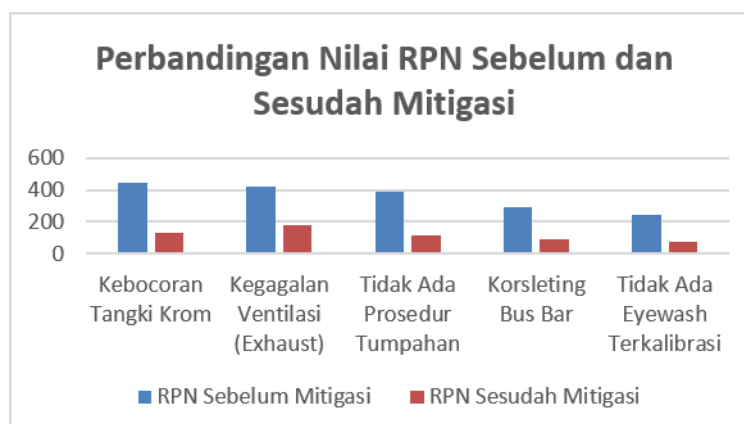
analisis menunjukkan bahwa rata-rata nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada lima risiko prioritas tertinggi mengalami penurunan dari 357,6 menjadi 125,4 atau turun sebete setelah penerapan tindakan mitigasi yang diusulkan. Penurunan tersebut mengindikasikan bahwa strategi pengendalian yang dirancang mampu mengurangi tingkat keparahan, kemungkinan kejadian, maupun kegagalan deteksi terhadap potensi bahaya pada proses electroplating.

Selain peningkatan dari aspek teknis, perubahan positif juga terlihat pada aspek budaya keselamatan kerja. Pelaksanaan pelatihan tanggap darurat berbasis skenario berhasil meningkatkan tingkat kesiapan pekerja dalam menghadapi kondisi darurat. Hasil *post-test* menggunakan kuesioner pengetahuan tanggap darurat menunjukkan peningkatan skor kesiapan pekerja dari 45% menjadi 82%. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan pelatihan yang aplikatif dan berbasis simulasi mampu meningkatkan pemahaman serta respons pekerja terhadap potensi kecelakaan kerja di area produksi (Angafor et al., 2023).

Meskipun demikian, implementasi rekomendasi masih menghadapi beberapa tantangan, terutama terkait keterbatasan biaya investasi pada skala industri kecil dan menengah (IKM). Biaya awal untuk pemasangan *wet scrubber* dan *secondary containment* diperkirakan mencapai Rp 45 juta, sehingga dinilai cukup besar bagi kapasitas finansial perusahaan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan strategi implementasi secara bertahap agar pengendalian risiko tetap dapat diterapkan tanpa mengganggu stabilitas operasional perusahaan.

Tahap pertama difokuskan pada program berbiaya rendah, seperti pengembangan prosedur kerja, pelatihan keselamatan, dan pengadaan *spill kit* dengan estimasi biaya sekitar Rp 5 juta. Tahap kedua yang direncanakan dalam jangka waktu 6–12 bulan meliputi instalasi indikator aliran dan baskom penampung dengan estimasi biaya sekitar Rp 25 juta. Selanjutnya, tahap ketiga dalam jangka panjang (>12 bulan) diarahkan pada peningkatan sistem ventilasi melalui pemasangan *wet scrubber*. Strategi bertahap ini memungkinkan CV Hinani meningkatkan standar keselamatan kerja secara progresif sekaligus menjaga efisiensi biaya operasional dan kepatuhan terhadap regulasi keselamatan kerja, termasuk Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018.

Evaluasi efektivitas strategi mitigasi dilakukan melalui perbandingan nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebelum dan sesudah penerapan tindakan pengendalian pada lima risiko prioritas tertinggi (Wu & Wu, 2021). Analisis ini menunjukkan tingkat penurunan risiko pada proses electroplating di CV Hinani setelah implementasi rekomendasi mitigasi. Penurunan nilai RPN setelah mitigasi mencerminkan berkurangnya potensi bahaya melalui peningkatan sistem pengendalian, penyempurnaan prosedur kerja, serta peningkatan kemampuan deteksi terhadap potensi kegagalan. Perbandingan nilai RPN sebelum dan sesudah mitigasi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan Nilai RPN Sebelum dan Sesudah Mitigasi

Hasil penelitian ini memperkuat bahwa pendekatan analisis risiko terintegrasi antara HIRADC dan FMEA tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga efektif dalam mendukung pengambilan keputusan pengendalian risiko di industri electroplating. Penggunaan HIRADC secara mandiri umumnya menghasilkan daftar risiko yang cukup banyak sehingga sulit menentukan prioritas pengendalian secara

spesifik. Namun, integrasi dengan metode FMEA memungkinkan perusahaan memfokuskan sumber daya dan tindakan mitigasi pada beberapa risiko paling kritis (*vital few*) berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN), sejalan dengan prinsip Pareto dalam manajemen risiko dan kualitas (Wu & Wu, 2021).

Pendekatan ini juga menunjukkan bahwa pengendalian keselamatan proses memiliki hubungan yang erat dengan peningkatan kualitas produk. Pada industri pelapisan logam, ketidakstabilan proses operasi tidak hanya meningkatkan potensi kecelakaan kerja, tetapi juga dapat menyebabkan cacat produk seperti *white rust* dan *black spot*. Defect tersebut umumnya dipengaruhi oleh kondisi proses yang tidak terkendali, seperti ketidakseimbangan parameter listrik, kontaminasi larutan, maupun prosedur operasional yang tidak konsisten. Oleh karena itu, optimalisasi sistem keselamatan kerja secara tidak langsung turut mendukung stabilitas proses produksi dan peningkatan kualitas hasil pelapisan logam. Dengan demikian, implementasi manajemen risiko K3 yang terintegrasi dapat memberikan manfaat ganda, yaitu meningkatkan perlindungan pekerja sekaligus memperbaiki performa operasional perusahaan.

Meskipun hasil analisis menunjukkan potensi penurunan risiko yang signifikan, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena rekomendasi mitigasi belum diterapkan secara langsung pada kondisi operasional perusahaan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas aktual dari rekomendasi yang diusulkan melalui implementasi dan pemantauan jangka panjang.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengintegrasikan metode HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control*) dan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) untuk mengidentifikasi bahaya, menilai risiko, dan menentukan prioritas pengendalian pada proses *electroplating* di CV Hinani. Hasil analisis menunjukkan bahwa kebocoran tangki krom heksavalen, kegagalan sistem ventilasi lokal, dan tidak tersedianya prosedur tanggap darurat merupakan risiko dengan prioritas tertinggi. Integrasi kedua metode tersebut memberikan pendekatan yang sistematis dalam mendukung pengambilan keputusan terkait pengendalian risiko keselamatan kerja. Berdasarkan simulasi penerapan rekomendasi mitigasi yang diusulkan, nilai *Risk Priority Number* (RPN) diproyeksikan mengalami penurunan rata-rata sebesar 65%. Namun, hasil tersebut masih bersifat estimasi karena rekomendasi belum diimplementasikan dan dievaluasi secara langsung pada kondisi operasional perusahaan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk menguji efektivitas rekomendasi yang diusulkan serta mengevaluasi penerapannya dalam jangka panjang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alias, J., Alang, N. A., Ahmad, A. H., & Abd Razak, N. A. (2024). Emerging progress of chemical-based coating for the corrosion protection of magnesium alloys: A review. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 38(8), 1125–1160. <https://doi.org/10.1080/01694243.2023.2252632>
- Almousa, A. A., Hoseyni, S. M., & Cordiner, J. (2025). Incorporating resilience into HAZOP to enhance process safety in industrial facilities. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 96, 105630. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2025.105630>
- Angafor, G. N., Yevseyeva, I., & Maglaras, L. (2023). Scenario-based incident response training: Lessons learnt from conducting an experiential learning virtual incident response tabletop exercise. *Information & Computer Security*, 31(4), 404–426. <https://doi.org/10.1108/ICS-05-2022-0085>
- Ikhsan, R., Nur, M., Isnaini Hadiyul Umam, M., & Rika. (2025). ANALISIS POTENSI BAHAYA KERJA MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE & EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN PROCESS DECISION PROGRAM CHART (PDPC). *JURNAL PERANGKAT LUNAK*, 7(1), 87–100. <https://doi.org/10.32520/jupel.v7i1.3987>
- Jahangoshai Rezaee, M., Yousefi, S., Eshkevari, M., Valipour, M., & Saberi, M. (2020). Risk analysis of health, safety and environment in chemical industry integrating linguistic FMEA, fuzzy

- inference system and fuzzy DEA. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34(1), 201–218. <https://doi.org/10.1007/s00477-019-01754-3>
- Lambart, A.-L., Xepapadeas, A. B., Koos, B., Li, P., & Spintzyk, S. (2022). Rinsing postprocessing procedure of a 3D-printed orthodontic appliance material: Impact of alternative post-rinsing solutions on the roughness, flexural strength and cytotoxicity. *Dental Materials*, 38(8), 1344–1353. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.06.010>
- Li, M., Huang, Q., Zhu, Z., Han, X., Dai, Y., Wang, H., & Zhong, Z. (2025). A Janus-gas diffusion electrode with suitable hydrophilicity and aerophilicity for highly efficient H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> electrosynthesis. *Process Safety and Environmental Protection*, 193, 1114–1124. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.11.124>
- Lv, X., Fu, J., Zhu, X., Zhang, H., Shao, Y., Zhang, H., & Zhu, J. (2023). A latened catalytic strategy for low cure thermoset powder coating by post-dry-blending technique. *Progress in Organic Coatings*, 185, 107922. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107922>
- Prasad, M., & Suresh, L. (2023). Another side of industrial growth in India: Environmental damage from industrial accidents. *Safety Science*, 164, 106152. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106152>
- Rahmania, A., Muzakky, A. I., & Phuspa, S. M. (2024). Implementasi Lock Out dan Tag Out Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan di PLTU Tanjung Awar-Awar Tuban. *Jurnal Keselamatan Kesehatan Kerja Dan Lingkungan*, 5(2), 131–140. <https://doi.org/10.25077/jk31.5.2.131-140.2024>
- Richert, M., Dudek, M., & Sala, D. (2024). Surface Quality as a Factor Affecting the Functionality of Products Manufactured with Metal and 3D Printing Technologies. *Materials*, 17(21), 5371. <https://doi.org/10.3390/ma17215371>
- Samarasinghe, H., & Heenatigala, S. (2024). *Insights from the Field: A Comprehensive Analysis of Industrial Accidents in Plants and Strategies for Enhanced Workplace Safety* (Version 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2403.05539>
- Septarini, I. R., Sembiring, A. C., Ginting, P. J., Putri, W. F., & Jaya, I. K. (2026). Enhancing Occupational Safety through Risk-Based Assessment: A Comparative Study of HAZOP and FMEA Methods in Metalworking SME. In S. Afrianti & B. Pratomo (Eds.), *Proceedings of the 1st International Conference of Technology, Innovation, Design & Enterprise (ICTIDE 2025)* (Vol. 291, pp. 66–70). Atlantis Press International BV. [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-998-8\\_10](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-998-8_10)
- Universitas Gadjah Mada, Abbas, M. M. S., Herawati, D., & Universitas Gadjah Mada. (2024). Analysis of Occupational Health and Safety Risk using Hiradc Method in Medical Record Installation at Nganjuk Hospital. *Journal of Health Policy and Management*, 09(03), 297–308. <https://doi.org/10.26911/thejhpm.2024.09.03.01>
- Wijaya, M. R., Liku, J. E. A., & Pongky, P. (2025). PENILAIAN RISIKO PEKERJAAN PEMELIHARAAN GARDU LISTRIK PADA PT PLN NUSA DAYA DI BALIKPAPAN. *IDENTIFIKASI*, 11(4), 1076–1084. <https://doi.org/10.36277/identifikasi.v11i4.782>
- Wu, X., & Wu, J. (2021). The Risk Priority Number Evaluation of FMEA Analysis Based on Random Uncertainty and Fuzzy Uncertainty. *Complexity*, 2021(1), 8817667. <https://doi.org/10.1155/2021/8817667>