

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerangka Teori atau Konsep

Kerangka konsep merupakan gambaran sistematis yang menjelaskan alur pemikiran penelitian dalam menganalisis risiko kerja pada proses *electroplating* dan *Non-Destructive Testing (NDT)* menggunakan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)*. Kerangka konsep ini disusun untuk menunjukkan hubungan antara variabel yang diteliti serta tahapan analisis yang dilakukan secara terstruktur.

Penelitian ini diawali dengan identifikasi aktivitas kerja pada proses *electroplating* dan *NDT*, yang memiliki karakteristik bahaya yang berbeda. Proses *electroplating* didominasi oleh bahaya kimia dan listrik, sedangkan proses *NDT* memiliki potensi bahaya fisik seperti radiasi serta faktor kesalahan manusia (*human error*).

Selanjutnya, dilakukan proses *identifikasi bahaya* untuk mengidentifikasi seluruh potensi bahaya yang terdapat pada setiap aktivitas kerja. Tahapan ini mencakup identifikasi jenis bahaya berdasarkan sumbernya, seperti bahaya kimia, fisik, mekanik, ergonomi, dan listrik.

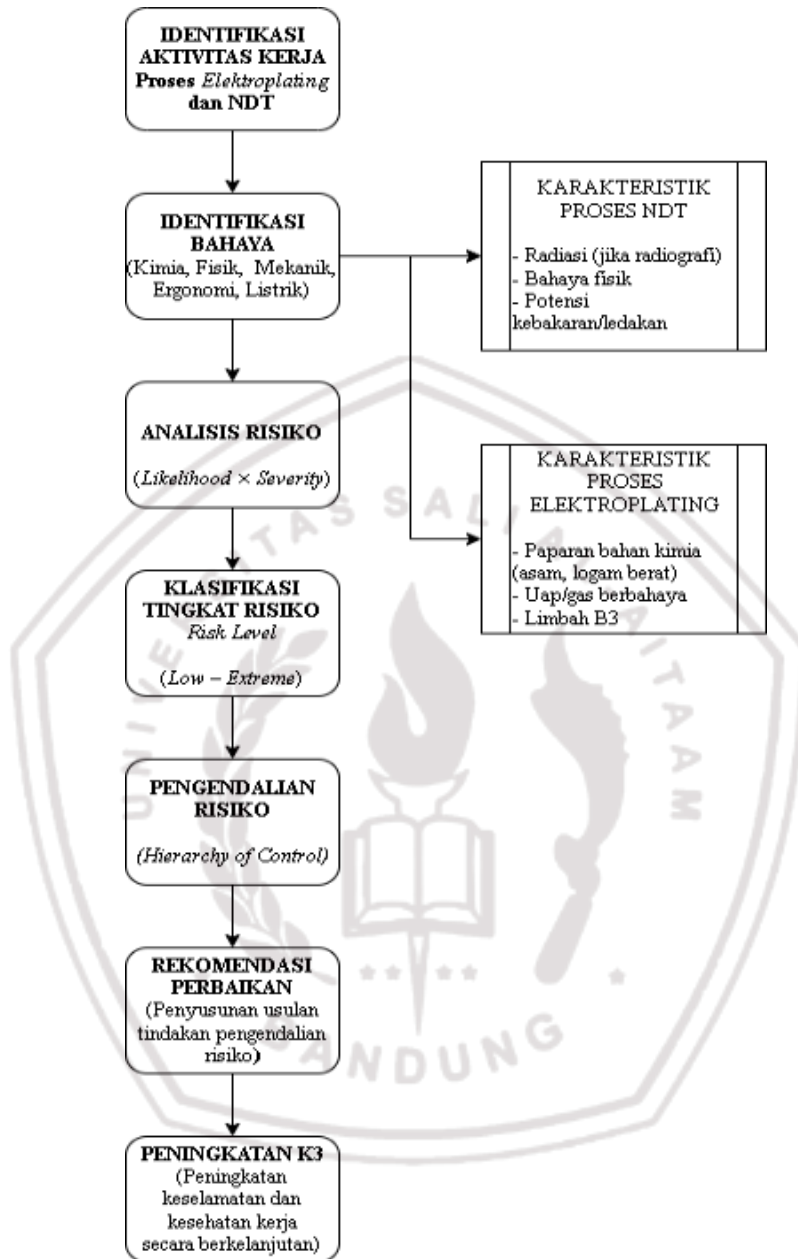
Setelah potensi bahaya diidentifikasi, dilakukan tahap *penilaian risiko* untuk menilai tingkat risiko dari masing-masing bahaya berdasarkan parameter *likelihood* dan *severity*. Hasil dari penilaian ini akan menghasilkan tingkat risiko yang diklasifikasikan ke dalam kategori rendah, sedang, tinggi, dan ekstrem.

Tahap selanjutnya adalah *pengendalian risiko*, yaitu menentukan langkah pengendalian risiko berdasarkan prinsip *hierarchy of control*, yang meliputi eliminasi, substitusi, *engineering control* (pengendalian

teknis/rekayasa), *administrative control* (pengendalian administratif), dan penggunaan *personal protective equipment* (*alat pelindung diri/PPE*).

Hasil akhir dari penelitian ini adalah berupa rekomendasi pengendalian risiko yang bertujuan untuk meminimalkan potensi kecelakaan kerja serta meningkatkan sistem keselamatan dan kesehatan kerja pada lingkungan industri.





Gambar 2.1 ALUR KERANGKA KONSEP

Sumber: Diolah oleh penulis, 2026

Dalam penelitian ini, kerangka konsep tidak hanya menggambarkan alur linier, tetapi juga menunjukkan adanya interaksi antar berbagai jenis bahaya (*multi-hazard interaction*) yang terjadi pada proses *electroplating* dan

NDT. Hal ini menunjukkan bahwa analisis risiko tidak dilakukan secara parsial, melainkan secara terintegrasi dalam satu sistem kerja.

Pendekatan ini memungkinkan identifikasi risiko dilakukan secara lebih komprehensif, sehingga hasil penelitian tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem manajemen risiko yang lebih efektif.

2.2 **Kajian Teoritis**

Sub-bab ini membahas landasan teori yang mendukung penelitian, mencakup integrasi risiko pada proses *electroplating* dan Non-Destructive Testing (NDT), karakteristik masing-masing proses, konsep keselamatan dan kesehatan kerja, manajemen risiko, klasifikasi bahaya, pendekatan identifikasi bahaya, hingga metode Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC) yang menjadi dasar analisis dalam penelitian ini.

2.2.1 **Integrasi Risiko pada Proses *Electroplating* dan *NDT***

Proses *electroplating* dan *Non-Destructive Testing (NDT)* merupakan dua aktivitas industri yang memiliki karakteristik bahaya yang berbeda, namun dalam praktiknya sering berada dalam satu sistem produksi yang saling terintegrasi, khususnya pada departemen ***special process***. Integrasi ini menyebabkan munculnya interaksi antara berbagai jenis bahaya dalam satu lingkungan kerja, sehingga membentuk sistem risiko yang lebih kompleks dibandingkan apabila kedua proses tersebut dianalisis secara terpisah.

Pada proses ***electroplating***, bahaya yang dominan berasal dari aspek kimia dan listrik, seperti paparan bahan berbahaya serta penggunaan arus listrik dalam proses elektrokimia. Sementara itu, pada proses ***NDT***, bahaya yang dominan berasal dari aspek fisik seperti radiasi, serta faktor ergonomi akibat aktivitas inspeksi yang berulang.

Ketika kedua proses ini berada dalam satu sistem kerja, maka terjadi kombinasi bahaya (***multi-hazard interaction***) yang meliputi bahaya kimia, fisik, mekanik, listrik, dan ergonomi secara simultan.

Menurut (International Organization for Standardization, 2018) organisasi diharuskan untuk mempertimbangkan interaksi antar aktivitas kerja serta potensi bahaya yang muncul dari kombinasi proses dalam satu sistem operasional. Hal ini menunjukkan bahwa analisis risiko tidak dapat dilakukan secara parsial, melainkan harus mempertimbangkan hubungan antar proses yang dapat mempengaruhi tingkat risiko secara keseluruhan.

1. Konsep Integrasi Risiko (*Integrated Risk System*)

Integrasi risiko dalam lingkungan industri dapat dipahami sebagai suatu kondisi dimana berbagai sumber bahaya dari proses yang berbeda saling berinteraksi dan membentuk risiko yang lebih kompleks. Dalam konteks ini, risiko tidak hanya berasal dari satu sumber, tetapi merupakan hasil dari interaksi antara beberapa elemen sistem kerja.

Pada lingkungan *special process*, interaksi antara proses *electroplating* dan NDT dapat menyebabkan peningkatan tingkat risiko, misalnya melalui:

- 1) Peningkatan paparan simultan terhadap bahan kimia dan radiasi
- 2) Potensi gangguan lingkungan kerja akibat kombinasi uap kimia dan aktivitas inspeksi
- 3) Peningkatan beban kerja yang memicu risiko ergonomi

Kondisi ini menunjukkan bahwa pendekatan analisis risiko harus mampu menangkap kompleksitas tersebut melalui metode yang sistematis.

2. Klasifikasi Risiko Terintegrasi (*Multi-Hazard Classification*)

Dalam sistem terintegrasi, risiko dapat diklasifikasikan berdasarkan kombinasi beberapa jenis bahaya, antara lain:

- 1) *Chemical Physical Interaction* paparan bahan kimia dan radiasi
- 2) *Mechanical Ergonomic Interaction* penggunaan alat dan postur kerja
- 3) *Electrical Environmental Interaction* arus listrik dan kondisi lingkungan

Klasifikasi ini menunjukkan bahwa risiko dalam sistem terintegrasi tidak bersifat tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi antar bahaya yang dapat meningkatkan tingkat keparahan risiko.

3. Kompleksitas Risiko dalam Sistem Produksi

Integrasi proses dalam satu sistem kerja menyebabkan meningkatnya kompleksitas risiko, yang ditandai dengan:

- 1) Meningkatnya jumlah sumber bahaya
- 2) Meningkatnya kemungkinan terjadinya kecelakaan
- 3) Meningkatnya dampak yang ditimbulkan

Dalam kondisi ini, pendekatan analisis risiko konvensional yang hanya berfokus pada satu jenis bahaya menjadi kurang efektif. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu mengidentifikasi dan mengevaluasi risiko secara menyeluruh.

4. Relevansi Metode *HIRARC* dalam Analisis Risiko Terintegrasi

Metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)* merupakan pendekatan yang sangat relevan untuk digunakan dalam analisis risiko terintegrasi karena mampu:

- 1) Mengidentifikasi berbagai jenis bahaya secara sistematis
- 2) Mengevaluasi tingkat risiko berdasarkan parameter kuantitatif
- 3) Menentukan prioritas pengendalian risiko

Melalui metode *HIRARC*, setiap potensi bahaya dari proses *electroplating* dan *NDT* dapat dianalisis secara terstruktur, sehingga interaksi antar bahaya dapat diidentifikasi dan dikendalikan secara efektif.

Selain itu, metode ini juga memungkinkan pemetaan risiko dalam bentuk *risk matrix*, sehingga memudahkan dalam menentukan prioritas penanganan risiko berdasarkan tingkat risikonya (Sayuti dkk., 2025)

5. Implikasi terhadap Sistem Keselamatan Kerja

Integrasi risiko dalam sistem produksi menunjukkan bahwa pengelolaan keselamatan kerja tidak dapat dilakukan secara terpisah antar proses, melainkan harus dilakukan secara menyeluruh dalam satu sistem manajemen risiko. Hal ini menuntut adanya pendekatan yang terintegrasi dalam identifikasi, penilaian, dan pengendalian risiko.

Dengan demikian, penerapan metode *HIRARC* dalam analisis risiko pada proses *electroplating* dan *NDT* dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan efektivitas sistem keselamatan kerja serta mengurangi potensi kecelakaan di lingkungan industri.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa integrasi proses *electroplating* dan *Non-Destructive Testing (NDT)* dalam satu sistem kerja menyebabkan terbentuknya risiko yang bersifat kompleks dan multidimensional. Interaksi antara berbagai jenis bahaya menunjukkan bahwa analisis risiko harus dilakukan secara komprehensif dan terintegrasi.

Metode *HIRARC* menjadi pendekatan yang tepat karena mampu mengakomodasi kompleksitas tersebut melalui proses identifikasi, penilaian, dan pengendalian risiko secara sistematis, sehingga dapat

meningkatkan efektivitas pengelolaan keselamatan kerja di lingkungan industri.

2.2.2 Proses *Electroplating*

Electroplating merupakan proses pelapisan logam pada permukaan material menggunakan prinsip elektrokimia dengan tujuan meningkatkan sifat permukaan, seperti ketahanan terhadap korosi, keausan, serta meningkatkan nilai estetika dan konduktivitas listrik. Proses ini digunakan dalam industri manufaktur, khususnya pada sektor elektronik, otomotif, dan komponen presisi, karena mampu meningkatkan kualitas dan umur pakai produk.

Secara prinsip, proses *electroplating* melibatkan perpindahan ion logam dari larutan elektrolit ke permukaan benda kerja melalui arus listrik searah (*direct current*). Dalam proses ini, benda kerja berfungsi sebagai katoda, sedangkan logam pelapis berfungsi sebagai anoda. Ketika arus listrik dialirkan, ion logam akan mengalami reduksi dan mengendap pada permukaan benda kerja sehingga membentuk lapisan pelindung.

Menurut literatur teknik manufaktur, keberhasilan proses *electroplating* sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, seperti konsentrasi larutan elektrolit, suhu, arus listrik, serta waktu proses. Ketidaksesuaian parameter tersebut tidak hanya mempengaruhi kualitas pelapisan, tetapi juga dapat meningkatkan potensi risiko kerja di lingkungan produksi.

1. Tahapan Proses *Electroplating*

Proses *electroplating* terdiri dari beberapa tahapan utama yang masing-masing memiliki potensi bahaya yang berbeda, yaitu:

- 1) Tahap pertama adalah *surface preparation*, yaitu proses pembersihan permukaan material dari kotoran, minyak, dan

oksida. Tahap ini biasanya menggunakan bahan kimia seperti asam dan pelarut yang berpotensi menimbulkan bahaya kimia.

- 2) Tahap kedua adalah proses *electroplating*, yaitu pelapisan logam menggunakan arus listrik. Pada tahap ini, terdapat risiko yang berasal dari kombinasi antara arus listrik dan larutan elektrolit yang bersifat korosif.
- 3) Tahap ketiga adalah *rinsing* atau pembilasan, yang bertujuan untuk menghilangkan sisa bahan kimia dari permukaan material. Tahap ini juga memiliki potensi paparan bahan kimia apabila tidak dilakukan dengan sistem yang aman.
- 4) Tahap terakhir adalah *finishing* atau pengeringan, yang dapat melibatkan suhu tinggi atau bahan tambahan tertentu.

2. Klasifikasi Bahaya pada Proses *Electroplating*

Dalam perspektif keselamatan kerja, proses *electroplating* memiliki karakteristik bahaya yang kompleks dan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori, yaitu:

- 1) Bahaya kimia (*chemical hazard*) merupakan bahaya utama dalam proses ini, yang berasal dari penggunaan larutan elektrolit serta logam berat seperti kromium, nikel, dan sianida. Paparan bahan ini dapat menyebabkan iritasi, keracunan, hingga gangguan kesehatan jangka panjang apabila tidak dikendalikan dengan baik.
- 2) Bahaya listrik (*electrical hazard*) juga menjadi faktor penting karena proses ini menggunakan arus listrik dalam jumlah tertentu. Risiko seperti sengatan listrik dan korsleting dapat terjadi apabila sistem tidak dirancang dengan aman.

Selain itu, terdapat bahaya fisik (*physical hazard*) seperti suhu tinggi dan uap kimia, serta bahaya ergonomi (*ergonomic hazard*)

akibat aktivitas kerja berulang dan posisi kerja yang tidak ergonomis.

3. Analisis Risiko dalam Proses *Electroplating*

Berdasarkan karakteristik bahaya tersebut, proses *electroplating* termasuk dalam kategori *High risk process* karena melibatkan kombinasi bahaya kimia, listrik, dan fisik dalam satu sistem kerja. Risiko yang muncul tidak hanya berdampak pada kesehatan pekerja, tetapi juga pada lingkungan kerja dan keberlangsungan operasional perusahaan.

Penelitian menunjukkan bahwa paparan bahan kimia dalam proses *electroplating* memiliki hubungan yang signifikan dengan gangguan kesehatan pekerja, terutama pada sistem pernapasan dan kulit. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis risiko yang komprehensif untuk mengidentifikasi dan mengendalikan potensi bahaya secara sistematis.

4. Relevansi dengan Metode *HIRARC*

Karakteristik proses *electroplating* yang melibatkan berbagai jenis bahaya menjadikannya sangat relevan untuk dianalisis menggunakan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)*. Melalui metode ini, setiap tahapan proses dapat dianalisis secara sistematis untuk mengidentifikasi potensi bahaya, menilai tingkat risiko, serta menentukan langkah pengendalian yang sesuai.

Pendekatan *HIRARC* memungkinkan pengelolaan risiko dilakukan secara terstruktur dengan mempertimbangkan tingkat kemungkinan dan dampak dari setiap bahaya, sehingga dapat meningkatkan efektivitas sistem keselamatan kerja di lingkungan industri (Sayuti dkk., 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses *electroplating* merupakan proses industri yang memiliki kompleksitas tinggi baik dari sisi teknis maupun risiko keselamatan kerja. Klasifikasi bahaya yang meliputi aspek kimia, listrik, fisik, dan ergonomi menunjukkan bahwa proses ini memerlukan pendekatan analisis risiko yang komprehensif.

Dengan demikian, penerapan metode *HIRARC* menjadi sangat penting dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, serta mengendalikan risiko pada proses *electroplating*, sehingga dapat menciptakan lingkungan kerja yang aman dan produktif.

2.2.3 *Non-Destructive Testing (NDT)*

Non-Destructive Testing (NDT) merupakan metode pengujian material yang dilakukan tanpa merusak struktur atau fungsi dari benda uji. Metode ini digunakan untuk mendeteksi cacat, ketidaksempurnaan, atau kerusakan material sehingga kualitas dan keandalan produk dapat terjamin tanpa mengganggu integritas material tersebut. Oleh karena itu, *NDT* menjadi bagian penting dalam sistem pengendalian kualitas pada industri manufaktur, khususnya pada sektor elektronik, otomotif, dan *aerospace*.

Menurut *International Atomic Energy Agency (IAEA)*, *NDT* memiliki peran strategis dalam meningkatkan keselamatan dan keandalan sistem industri karena mampu mendeteksi cacat material secara dini tanpa merusak komponen yang diuji (IAEA, TCS-13). Hal ini menjadikan *NDT* sebagai metode inspeksi yang efisien dan ekonomis dalam mendukung keberlangsungan operasional industri.

1. Jenis Metode dalam *Non-Destructive Testing (NDT)*

Metode *NDT* terdiri dari beberapa teknik pengujian yang memiliki prinsip kerja dan karakteristik risiko yang berbeda. Beberapa metode yang umum digunakan antara lain:

- 1) Metode *radiographic testing (RT)* menggunakan radiasi sinar X atau sinar gamma untuk mendeteksi cacat internal pada material. Metode ini sangat efektif dalam mendeteksi retakan atau porositas, namun memiliki risiko tinggi terhadap paparan radiasi.
- 2) Metode *ultrasonic testing (UT)* menggunakan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi ketidaksempurnaan material. Metode ini relatif lebih aman dibandingkan *RT*, tetapi tetap memiliki risiko ergonomi akibat penggunaan alat secara berulang.
- 3) Metode *magnetic particle testing (MPT)* digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan pada material ferromagnetik, sedangkan *liquid penetrant testing (PT)* digunakan untuk mendeteksi retakan halus pada permukaan material.

Perbedaan metode ini menunjukkan bahwa setiap teknik *NDT* memiliki karakteristik risiko yang berbeda, sehingga memerlukan pendekatan analisis risiko yang spesifik.

2. Klasifikasi Bahaya pada Proses *NDT*

Dalam perspektif keselamatan kerja, proses *NDT* memiliki potensi bahaya yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1) Bahaya fisik (*physical hazard*) merupakan bahaya utama dalam proses *NDT*, terutama pada metode *radiographic testing* yang melibatkan paparan radiasi ionisasi. Paparan ini dapat menyebabkan dampak kesehatan serius seperti kerusakan jaringan hingga risiko kanker apabila tidak dikendalikan dengan baik.

- 2) Bahaya mekanik (*mechanical hazard*) muncul dari penggunaan peralatan inspeksi yang dapat menyebabkan cedera akibat kesalahan penggunaan atau kegagalan alat.
- 3) Bahaya ergonomi (*ergonomic hazard*) juga menjadi faktor penting karena aktivitas inspeksi sering dilakukan secara berulang dengan posisi kerja yang tidak ergonomis, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan muskuloskeletal.

Selain itu, terdapat bahaya listrik (*electrical hazard*) yang berasal dari penggunaan peralatan uji berbasis listrik.

3. Analisis Risiko pada Proses *NDT*

Berdasarkan klasifikasi bahaya tersebut, proses *NDT* dapat dikategorikan sebagai aktivitas dengan tingkat risiko menengah hingga tinggi, tergantung pada metode yang digunakan. Metode *radiographic testing* memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi dibandingkan metode lainnya karena melibatkan paparan radiasi.

Penelitian menunjukkan bahwa paparan radiasi dalam proses *NDT* memerlukan pengendalian ketat melalui penggunaan pelindung radiasi dan pembatasan waktu paparan untuk meminimalkan dampak terhadap pekerja. Oleh karena itu, analisis risiko yang sistematis sangat diperlukan untuk mengidentifikasi potensi bahaya serta menentukan langkah pengendalian yang tepat.

4. Relevansi *NDT* dengan Metode *HIRARC*

Karakteristik proses *NDT* yang melibatkan berbagai jenis bahaya menjadikannya sangat relevan untuk dianalisis menggunakan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)*. Melalui pendekatan ini, setiap metode *NDT* dapat dianalisis berdasarkan potensi bahaya, tingkat risiko, serta langkah pengendalian yang sesuai.

Metode *HIRARC* memungkinkan pemetaan risiko dilakukan secara sistematis dengan mempertimbangkan parameter *likelihood* dan *severity*, sehingga dapat ditentukan prioritas pengendalian risiko berdasarkan tingkat risikonya.

5. Integrasi Risiko *NDT* dalam Sistem Produksi

Dalam praktik industri, proses *NDT* tidak berdiri sendiri, melainkan terintegrasi dengan proses produksi lainnya, termasuk *electroplating*. Hal ini menyebabkan adanya kombinasi risiko yang kompleks antara bahaya fisik, kimia, dan mekanik dalam satu sistem kerja.

Kondisi ini menunjukkan bahwa analisis risiko pada proses *NDT* tidak dapat dilakukan secara parsial, melainkan harus dilakukan secara komprehensif menggunakan pendekatan sistematis seperti metode *HIRARC*.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Non-Destructive Testing (NDT)* merupakan metode pengujian material yang memiliki peran penting dalam menjaga kualitas dan keandalan produk, namun juga memiliki potensi bahaya yang signifikan. Klasifikasi bahaya yang meliputi aspek fisik, mekanik, ergonomi, dan listrik menunjukkan bahwa proses ini memerlukan analisis risiko yang komprehensif.

Dengan demikian, penerapan metode *HIRARC* menjadi sangat penting dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, serta mengendalikan risiko pada proses *NDT*, sehingga dapat menciptakan lingkungan kerja yang aman dan terkendali.

2.2.4 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (*OHS*)

International Organization for Standardization (2018) keselamatan dan kesehatan kerja (*Occupational Health and Safety / OHS*) merupakan suatu sistem terintegrasi yang bertujuan untuk melindungi tenaga kerja dari potensi kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja yang timbul dari aktivitas operasional. Konsep ini tidak hanya berfokus pada perlindungan individu pekerja, tetapi juga mencakup aspek keberlanjutan operasional serta peningkatan kinerja organisasi secara keseluruhan.

Menurut standar internasional ISO 45001:2018, sistem manajemen K3 dirancang untuk menyediakan kerangka kerja dalam mengelola risiko keselamatan dan kesehatan kerja melalui upaya pencegahan cedera serta peningkatan kinerja keselamatan secara berkelanjutan. Selain itu, penerapan sistem *OHS* juga berperan dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman melalui identifikasi bahaya dan pengendalian risiko secara sistematis.

2.2.5 Risiko dan Manajemen Risiko

Lemmens dkk. (2022) menyatakan bahwa Risiko merupakan kondisi yang berkaitan dengan ketidakpastian yang berpotensi menimbulkan kerugian terhadap manusia, aset, maupun lingkungan kerja. Dalam konteks industri, risiko muncul akibat interaksi kompleks antara manusia, peralatan, material, metode kerja, dan lingkungan.

Menurut konsep penilaian risiko, risiko didefinisikan sebagai kombinasi antara kemungkinan terjadinya suatu kejadian dan dampak yang ditimbulkan. Oleh karena itu, manajemen risiko menjadi suatu proses sistematis yang meliputi identifikasi bahaya, analisis risiko, evaluasi risiko, serta pengendalian risiko guna meminimalkan potensi kerugian.

Menurut Chockalingam dkk. (2017) pendekatan manajemen risiko modern juga menekankan pentingnya integrasi antara berbagai jenis risiko, baik yang bersifat teknis maupun non-teknis, untuk menghasilkan sistem pengelolaan risiko yang lebih komprehensif.

2.2.6 Bahaya (*Hazard*) dan Klasifikasinya

Bahaya (*hazard*) merupakan segala sumber, situasi, atau aktivitas yang memiliki potensi untuk menyebabkan cedera, gangguan kesehatan, kerusakan aset, maupun gangguan lingkungan kerja. Dalam sistem manajemen keselamatan kerja, identifikasi bahaya merupakan tahap awal yang krusial karena menjadi dasar dalam proses penilaian dan pengendalian risiko.

Menurut standar ISO 45001:2018, bahaya didefinisikan sebagai sumber dengan potensi menyebabkan cedera dan gangguan kesehatan, sehingga identifikasi bahaya harus dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan dalam setiap aktivitas kerja (International Organization for Standardization, 2018).

Secara umum, bahaya dalam lingkungan kerja industri dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori utama sebagai berikut:

1. Bahaya Fisik (*Physical Hazard*)

Bahaya fisik merupakan jenis bahaya yang berasal dari faktor lingkungan kerja yang dapat mempengaruhi kondisi fisik pekerja. Contohnya meliputi kebisingan, getaran, suhu ekstrem, tekanan, dan radiasi.

Dalam konteks proses *Non-Destructive Testing (NDT)*, bahaya fisik sangat dominan terutama pada penggunaan metode radiografi yang melibatkan paparan radiasi, yang berpotensi menimbulkan dampak kesehatan serius apabila tidak dikendalikan dengan baik (International Atomic Energy Agency, 2001).

2. Bahaya Kimia (*Chemical Hazard*)

Bahaya kimia berasal dari paparan bahan kimia berbahaya yang dapat masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi, kontak kulit, maupun ingesti. Dampak dari bahaya kimia dapat berupa iritasi, keracunan, hingga gangguan kesehatan jangka panjang.

Pada proses *electroplating*, bahaya kimia menjadi risiko utama karena penggunaan larutan elektrolit dan logam berat seperti kromium dan nikel yang bersifat toksik, sehingga memerlukan pengendalian yang ketat untuk mencegah paparan terhadap pekerja (Abys, 2011).

3. Bahaya Mekanik (*Mechanical Hazard*)

Bahaya mekanik berkaitan dengan penggunaan mesin, peralatan, dan komponen bergerak yang dapat menyebabkan cedera seperti terjepit, terpotong, atau tertabrak.

Dalam lingkungan manufaktur, bahaya mekanik sering terjadi akibat interaksi antara pekerja dengan mesin produksi, sehingga diperlukan pengamanan seperti *machine guarding* dan sistem penguncian (*lockout-tagout*) untuk mengurangi risiko kecelakaan.

4. Bahaya Ergonomi (*Ergonomic Hazard*)

Bahaya ergonomi timbul akibat ketidaksesuaian antara kondisi kerja dengan kemampuan fisik pekerja, seperti postur kerja yang tidak ergonomis, gerakan berulang (*repetitive motion*), serta beban kerja berlebih.

Pada proses *NDT*, aktivitas inspeksi yang dilakukan secara berulang dan dalam posisi kerja tertentu berpotensi menimbulkan gangguan muskuloskeletal, sehingga perlu dilakukan perancangan kerja yang ergonomis.

5. Bahaya Listrik (*Electrical Hazard*)

Bahaya listrik merupakan bahaya yang disebabkan oleh arus listrik, seperti sengatan listrik, korsleting, atau kebakaran akibat instalasi listrik yang tidak aman.

Dalam proses *electroplating*, penggunaan arus listrik sebagai bagian dari proses elektrokimia meningkatkan potensi bahaya listrik, terutama apabila sistem instalasi tidak memenuhi standar keselamatan.

Tabel 2.1 Mapping Hazard pada Proses *Electroplating* dan *NDT*

No	Jenis Bahaya (Hazard)	Sumber Bahaya	Aktivitas Kerja	Proses	Potensi Dampak	Kategori Risiko Awal
1	<i>Chemical Hazard</i>	Larutan elektrolit (asam, logam berat)	Pencelupan material	<i>Electroplating</i>	Iritasi kulit, gangguan pernapasan, keracunan	Tinggi
2	<i>Chemical Hazard</i>	Uap bahan kimia	Proses pelapisan	<i>Electroplating</i>	Paparan inhalasi berbahaya	Tinggi
3	<i>Electrical Hazard</i>	Arus listrik DC	Operasi mesin plating	<i>Electroplating</i>	Sengatan listrik	Sedang–Tinggi
4	<i>Mechanical Hazard</i>	Peralatan produksi	Handling material	<i>Electroplating</i>	Terjepit, tertimpa	Sedang
5	<i>Physical Hazard</i>	Suhu tinggi	Proses pemanasan	<i>Electroplating</i>	Luka bakar	Sedang

No	Jenis Bahaya (Hazard)	Sumber Bahaya	Aktivitas Kerja	Proses	Potensi Dampak	Kategori Risiko Awal
6	Physical Hazard	Radiasi	Pengujian radiografi	NDT	Gangguan kesehatan jangka panjang	Tinggi
7	Mechanical Hazard	Alat inspeksi	Pengujian material	NDT	Cedera tangan	Sedang
8	Ergonomic Hazard	Postur kerja statis	Inspeksi berulang	NDT	Nyeri otot, gangguan muskuloskeletal	Sedang
9	Physical Hazard	Tekanan tinggi	Pengujian tekanan	NDT	Ledakan kecil / cedera	Tinggi
10	Electrical Hazard	Peralatan uji	Operasi alat NDT	NDT	Sengatan listrik	Sedang

Sumber: Diolah oleh penulis berdasarkan observasi awal dan tinjauan pustaka, 2026

Berdasarkan Tabel 2.1, dapat diketahui bahwa proses *electroplating* didominasi oleh bahaya kimia dan listrik, sedangkan proses *Non-Destructive Testing (NDT)* didominasi oleh bahaya fisik seperti radiasi serta risiko ergonomi. Hal ini menunjukkan bahwa kedua proses memiliki karakteristik bahaya yang berbeda, namun saling melengkapi dalam membentuk sistem risiko yang kompleks dalam satu lingkungan kerja.

2.2.7 Pendekatan Identifikasi Bahaya (5M Approach)

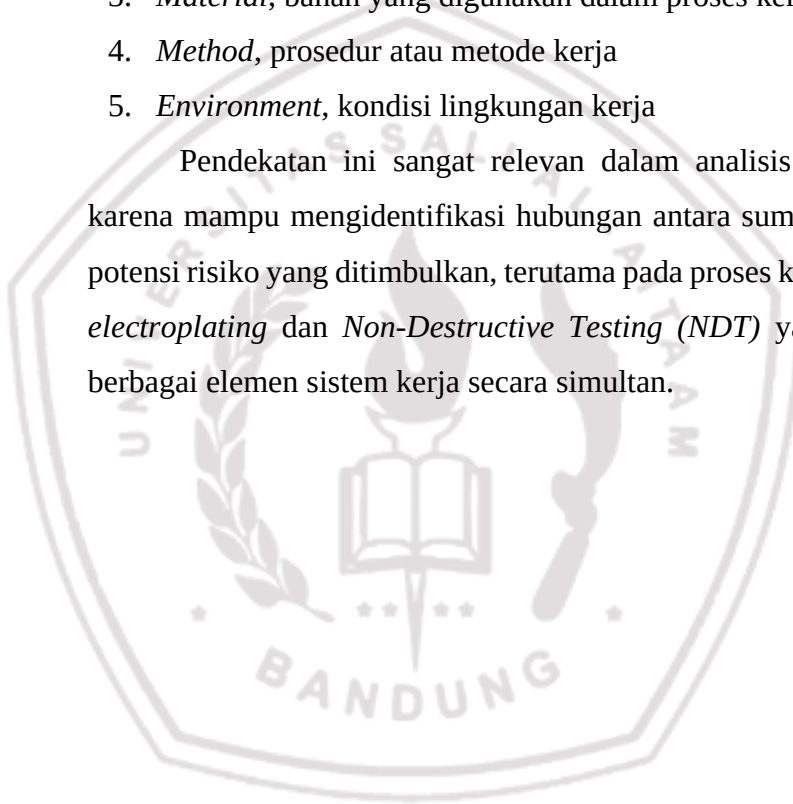
Pendekatan identifikasi bahaya tidak hanya dilakukan berdasarkan jenis bahaya, tetapi juga dapat dianalisis berdasarkan sumber penyebabnya. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah pendekatan 5M (*man, machine, material, method, environment*).

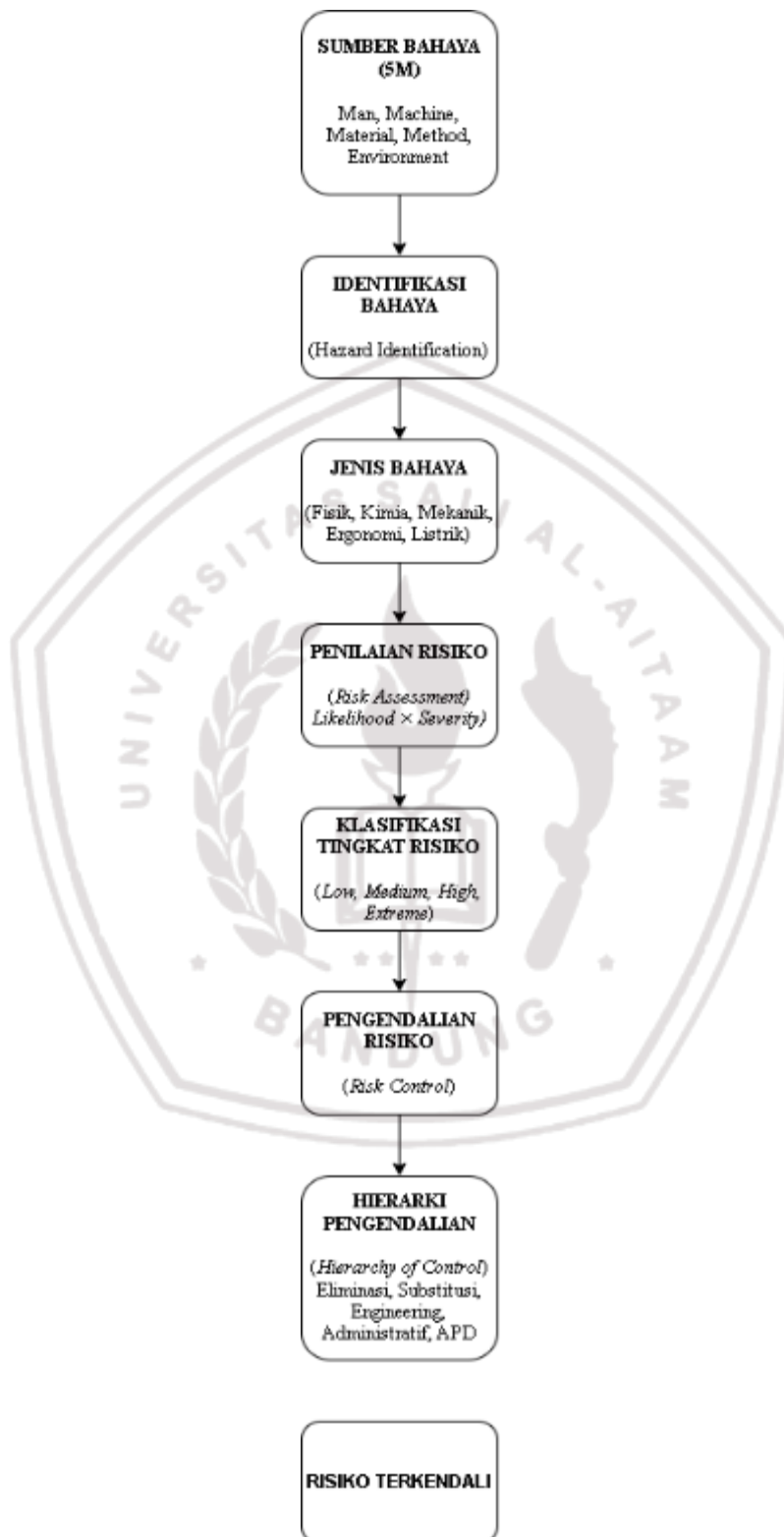
Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi sumber bahaya secara sistematis dari seluruh elemen sistem kerja, sehingga proses identifikasi bahaya menjadi lebih komprehensif.

Komponen dalam pendekatan *5M* meliputi:

1. *Man*, faktor manusia seperti kesalahan kerja (*human error*)
2. *Machine*, kondisi mesin dan peralatan kerja
3. *Material*, bahan yang digunakan dalam proses kerja
4. *Method*, prosedur atau metode kerja
5. *Environment*, kondisi lingkungan kerja

Pendekatan ini sangat relevan dalam analisis risiko industri karena mampu mengidentifikasi hubungan antara sumber bahaya dan potensi risiko yang ditimbulkan, terutama pada proses kompleks seperti *electroplating* dan *Non-Destructive Testing (NDT)* yang melibatkan berbagai elemen sistem kerja secara simultan.





Gambar 2.2 Hubungan Hazard, Pendekatan 5M, dan Metode HIRARC

Sumber: Diolah oleh penulis berdasarkan tinjauan pustaka, 2026

Hubungan antara *hazard*, pendekatan 5M, dan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)* menunjukkan suatu alur sistematis dalam proses manajemen risiko keselamatan kerja. Pendekatan 5M (*man, machine, material, method, environment*) digunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi sumber bahaya yang berasal dari berbagai elemen sistem kerja.

Sumber bahaya tersebut kemudian dianalisis dalam tahap *identifikasi bahaya* untuk mengklasifikasikan jenis bahaya seperti *physical hazard, chemical hazard, mechanical hazard, ergonomic hazard*, dan *electrical hazard*. Selanjutnya, setiap bahaya yang telah diidentifikasi akan melalui tahap *risk assessment* dengan mempertimbangkan parameter *likelihood* dan *severity* untuk menentukan tingkat risiko.

Hasil dari penilaian risiko kemudian digunakan sebagai dasar dalam tahap *pengendalian risiko*, yang dilakukan berdasarkan prinsip *hierarchy of control*. Melalui pendekatan ini, risiko yang telah diidentifikasi dapat dikendalikan secara sistematis sehingga menghasilkan kondisi kerja yang lebih aman dan terkendali.

2.2.8 Metode HIRARC

Metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)* merupakan suatu pendekatan sistematis dalam manajemen risiko keselamatan dan kesehatan kerja yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya, mengevaluasi tingkat risiko, serta menentukan langkah pengendalian risiko yang tepat. Metode ini diterapkan dalam berbagai sektor industri karena mampu memberikan

analisis risiko yang terstruktur, terukur, serta berbasis pendekatan kuantitatif.

Menurut standar sistem manajemen keselamatan kerja ISO 45001:2018, proses identifikasi bahaya dan penilaian risiko harus dilakukan secara sistematis untuk mendukung pengambilan keputusan yang efektif dalam pengendalian risiko serta pencegahan kecelakaan kerja (International Organization for Standardization, 2018). Oleh karena itu, metode *HIRARC* menjadi salah satu metode yang relevan untuk diterapkan dalam analisis risiko pada lingkungan kerja industri.

Metode *HIRARC* terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu *identifikasi bahaya*, *penilaian risiko*, dan *pengendalian risiko*. Ketiga tahapan tersebut saling terintegrasi dan memiliki karakteristik serta pendekatan analisis yang berbeda.

1. Tahap pertama adalah *identifikasi bahaya*, yaitu proses sistematis untuk mengidentifikasi seluruh potensi bahaya yang terdapat dalam aktivitas kerja. Identifikasi bahaya dapat dilakukan berdasarkan beberapa kategori. Berdasarkan jenis aktivitas, bahaya dapat muncul pada aktivitas operasional, aktivitas perawatan (*maintenance*), maupun aktivitas inspeksi. Dalam konteks penelitian ini, proses *electroplating* termasuk dalam aktivitas operasional, sedangkan proses *Non-Destructive Testing (NDT)* termasuk dalam aktivitas inspeksi material.

Selain itu, identifikasi bahaya juga dapat ditinjau berdasarkan sumber bahaya, yang meliputi faktor manusia (*human factor*), mesin (*equipment*), material (*material hazard*), serta lingkungan kerja (*environment*). Pendekatan ini sejalan dengan konsep analisis sistem kerja yang mempertimbangkan seluruh elemen yang terlibat dalam proses produksi. Dari sisi jenis bahaya, klasifikasi dapat meliputi *physical hazard*, *chemical hazard*, *mechanical hazard*,

ergonomic hazard, dan *electrical hazard*. Klasifikasi ini penting karena menjadi dasar dalam penyusunan tabel analisis risiko pada metode *HIRARC*.

2. Tahap kedua adalah *penilaian risiko*, yaitu proses penilaian tingkat risiko dari setiap bahaya yang telah diidentifikasi. Penilaian risiko dilakukan dengan mempertimbangkan dua parameter utama, yaitu *likelihood* yang menggambarkan kemungkinan terjadinya suatu kejadian, dan *severity* yang menunjukkan tingkat dampak yang ditimbulkan. Nilai risiko umumnya diperoleh dari hasil kombinasi antara kedua parameter tersebut.

Dalam praktiknya, skala penilaian *likelihood* dapat diklasifikasikan mulai dari kejadian yang sangat jarang (*rare*) hingga kejadian yang hampir pasti terjadi (*almost certain*). Sementara itu, skala *severity* dapat diklasifikasikan mulai dari dampak ringan (*minor injury*) hingga dampak yang bersifat fatal (*fatal*). Berdasarkan kombinasi kedua parameter tersebut, tingkat risiko dapat dikategorikan menjadi beberapa tingkat, yaitu *Low risk*, *Medium risk*, *High risk*, hingga *Extreme risk*. Klasifikasi ini umumnya divisualisasikan dalam bentuk *risk matrix* untuk memudahkan dalam penentuan prioritas penanganan risiko.

3. Tahap ketiga adalah *pengendalian risiko*, yaitu proses penentuan tindakan pengendalian untuk mengurangi atau menghilangkan risiko yang telah dianalisis. Pengendalian risiko dilakukan berdasarkan prinsip *hierarchy of control*, yang mengurutkan efektivitas pengendalian dari tingkat tertinggi hingga terendah. Urutan tersebut dimulai dari eliminasi (*elimination*), yaitu menghilangkan sumber bahaya, kemudian substitusi (*substitution*), yaitu mengganti dengan alternatif yang lebih aman. Selanjutnya adalah *engineering control* yang berfokus pada rekayasa teknis,

administrative control yang berkaitan dengan prosedur kerja dan pelatihan, serta penggunaan *personal protective equipment (PPE)* sebagai lapisan perlindungan terakhir.

Dengan demikian, metode *HIRARC* tidak hanya berfungsi sebagai alat identifikasi risiko, tetapi juga sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait pengendalian risiko secara sistematis dan terstruktur. Penerapan metode ini menjadi sangat relevan pada lingkungan kerja dengan karakteristik risiko tinggi seperti proses *electroplating* dan *Non-Destructive Testing (NDT)*, karena mampu mengintegrasikan berbagai jenis bahaya dalam satu sistem analisis yang komprehensif.

2.2.9 Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)

Penilaian risiko (*risk assessment*) merupakan proses sistematis untuk mengevaluasi tingkat risiko dari setiap potensi bahaya yang telah diidentifikasi. Tahapan ini bertujuan untuk menentukan besarnya risiko sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan prioritas pengendalian. Dalam sistem manajemen keselamatan kerja, penilaian risiko menjadi elemen kunci karena menghubungkan antara identifikasi bahaya dengan tindakan pengendalian yang akan diterapkan.

Menurut ISO 45001:2018, penilaian risiko dilakukan dengan mempertimbangkan kombinasi antara kemungkinan terjadinya suatu kejadian dan konsekuensi atau dampak yang ditimbulkan (International Organization for Standardization, 2018). Pendekatan ini menunjukkan bahwa risiko tidak hanya ditentukan oleh seberapa sering suatu kejadian dapat terjadi, tetapi juga oleh seberapa besar dampak yang dihasilkan.

Secara umum, penilaian risiko dalam metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)*

diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama, yaitu parameter penilaian, skala penilaian, serta tingkat risiko yang dihasilkan.

1. Parameter Penilaian Risiko

Penilaian risiko dalam metode *HIRARC* didasarkan pada dua parameter utama, yaitu *likelihood* dan *severity*.

Parameter *likelihood* menggambarkan tingkat kemungkinan terjadinya suatu bahaya dalam kondisi kerja tertentu. Parameter ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti frekuensi aktivitas, kondisi lingkungan kerja, serta tingkat paparan terhadap bahaya. Semakin sering suatu aktivitas dilakukan atau semakin besar paparan terhadap bahaya, maka nilai *likelihood* akan semakin tinggi.

Sementara itu, parameter *severity* menggambarkan tingkat dampak atau konsekuensi yang ditimbulkan apabila bahaya tersebut terjadi. Dampak ini dapat berupa cedera ringan, gangguan kesehatan, kerusakan aset, hingga kematian. Oleh karena itu, parameter *severity* menjadi indikator penting dalam menentukan tingkat keparahan suatu risiko.

Kombinasi antara *likelihood* dan *severity* digunakan untuk menghasilkan nilai risiko yang bersifat kuantitatif, sehingga memungkinkan dilakukan perbandingan antar risiko secara objektif.

2. Skala Penilaian Risiko

Untuk mempermudah proses evaluasi, parameter *likelihood* dan *severity* diklasifikasikan ke dalam skala penilaian tertentu. Skala ini bertujuan untuk memberikan standar penilaian yang konsisten dalam proses analisis risiko.

Pada parameter *likelihood*, klasifikasi umumnya dibagi menjadi lima tingkat, yaitu:

Tabel 2.2 Likelihood Pada Standar AS/NZS 4360

Tingkat	Deskripsi	Keterangan
5	Almost Certain	Terdapat > 1 kejadian dalam setiap hari
4	Likely	Terdapat > 1 kejadian dalam setiap minggu
3	Possible	Terdapat > 1 kejadian dalam setiap bulan
2	Unlikely	Terdapat > 1 kejadian dalam setiap tahun
1	Rare	Terdapat > 1 kejadian dalam setiap 5 tahun

Sumber Data : AS/NZS 4360

Klasifikasi ini didasarkan pada frekuensi kejadian serta probabilitas terjadinya bahaya dalam kondisi kerja normal. Sementara itu, parameter *severity* juga diklasifikasikan dalam beberapa tingkat, yaitu:

Tabel 2.3 Skala Severity Pada Standar AS/NZS 4360

Tingkat	Deskripsi	Keterangan
5	Severe	Fatal > 1 orang, kerugian sangat besar dan dampak sangat luas, terhentinya seluruh kegiatan
4	Najor	Cedera berat > 1 orang, kerugian besar, gangguan produksi
3	Moderate	Cedera sedang, perlu penanganan medis, kerugian finansial besar
2	Minor	Cedera ringan, kerugian finansial sedikit
1	Negligible	Tidak terjadi cedera, kerugian finansial sedikit

Sumber Data : AS/NZS 4360

Klasifikasi ini mencerminkan tingkat dampak yang ditimbulkan terhadap pekerja maupun lingkungan kerja. Penggunaan skala penilaian ini memungkinkan proses evaluasi risiko dilakukan secara lebih sistematis dan terstandarisasi.

3. Penentuan Tingkat Risiko (*Risk Level*)

Setelah nilai *likelihood* dan *severity* ditentukan, langkah selanjutnya adalah menghitung tingkat risiko dengan mengkombinasikan kedua parameter tersebut. Secara umum, tingkat risiko dihitung menggunakan pendekatan perkalian antara nilai *likelihood* dan *severity*.

Hasil dari perhitungan tersebut kemudian diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori tingkat risiko, yaitu:

- 1) *Low Risk* (risiko rendah)
- 2) *Medium Risk* (risiko sedang)
- 3) *High Risk* (risiko tinggi)
- 4) *Extreme Risk* (risiko sangat tinggi)

Klasifikasi tingkat risiko ini biasanya divisualisasikan dalam bentuk *risk matrix*, yang berfungsi untuk mempermudah interpretasi hasil analisis serta menentukan prioritas penanganan risiko.

Pendekatan ini memungkinkan organisasi untuk memfokuskan sumber daya pada risiko dengan tingkat tertinggi, sehingga pengendalian risiko dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

4. Peran *Penilaian Risiko* dalam Pengambilan Keputusan

Penilaian risiko tidak hanya berfungsi sebagai alat evaluasi, tetapi juga sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait pengendalian risiko. Risiko dengan tingkat tinggi memerlukan tindakan pengendalian segera, sedangkan risiko dengan tingkat rendah dapat dikendalikan melalui pengawasan rutin.

Dengan demikian, *penilaian risiko* memiliki peran strategis dalam menentukan prioritas pengendalian risiko serta mendukung terciptanya sistem keselamatan kerja yang efektif dan berkelanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penilaian risiko dalam metode *HIRARC* merupakan proses yang bersifat kuantitatif dan terstruktur karena melibatkan klasifikasi parameter, skala penilaian, serta tingkat risiko. Pendekatan ini memungkinkan analisis risiko dilakukan secara objektif dan sistematis, sehingga sangat relevan untuk diterapkan pada lingkungan kerja dengan karakteristik

risiko tinggi seperti proses *electroplating* dan *Non-Destructive Testing* (NDT).

Tabel 2.4a Matriks Risiko Pada Standar AS/NZS 4360

<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>				
	5	4	3	2	1
5	M	H	H	VH	VH
4	M	M	H	H	VH
3	L	M	H	H	H
2	L	L	M	M	H
1	L	L	M	M	H

Sumber Data : AS/NZS 4360

Tabel 2.4b Keterangan Kategori Tingkat Risiko Berdasarkan Kriteria Perusahaan

Kategori	Skor (L×S)	Keterangan
<i>Extreme</i>	16 - 20	Risiko tidak dapat diterima (unacceptable), aktivitas kerja harus dihentikan seketika (stop work) hingga pengendalian diterapkan, memerlukan tindakan perbaikan segera dan persetujuan manajemen puncak.
<i>High</i>	10 - 16	Risiko tinggi, memerlukan tindakan pengendalian dalam waktu singkat (prioritas jangka pendek), pekerjaan hanya dapat dilanjutkan dengan pengendalian sementara dan pengawasan ketat dari atasan/HSE.
<i>Medium</i>	6 - 9	Risiko sedang, memerlukan tindakan pengendalian yang terjadwal dalam jangka menengah, pekerjaan dapat dilanjutkan dengan pengendalian yang ada selama dipantau secara berkala.
<i>Low</i>	1 - 5	Risiko rendah, dapat diterima (acceptable) dengan pengendalian rutin yang ada, tidak memerlukan tindakan tambahan segera, cukup dipantau dalam program K3 reguler.

Sumber: Kriteria penilaian risiko PT. Jabil Circuit Indonesia (hasil konfirmasi pembimbing/penguji, 2026); redaksi keterangan agar dikonfirmasi ulang kesesuaiannya dengan dokumen kebijakan K3 perusahaan.

2.2.10 Risk Matrix

Risk matrix merupakan alat analisis yang digunakan untuk memvisualisasikan tingkat risiko berdasarkan kombinasi antara parameter *likelihood* dan *severity*. Alat ini berfungsi untuk mengklasifikasikan tingkat risiko secara sistematis sehingga memudahkan dalam proses evaluasi dan pengambilan keputusan terkait pengendalian risiko.

Menurut ISO 45001:2018, penilaian risiko harus mempertimbangkan kemungkinan terjadinya suatu kejadian serta konsekuensi yang ditimbulkan, sehingga organisasi dapat menentukan prioritas pengendalian secara efektif (International Organization for Standardization, 2018) Dalam konteks tersebut, *risk matrix* menjadi representasi visual dari hasil penilaian risiko yang telah dilakukan melalui metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)*.

1. Kategori dalam Risk Matrix

Risk matrix disusun berdasarkan dua dimensi utama, yaitu *likelihood* sebagai sumbu horizontal dan *severity* sebagai sumbu vertikal. Kombinasi dari kedua dimensi ini menghasilkan kategori tingkat risiko yang digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan.

- 1) Kategori *Likelihood*
- 2) Kategori *Severity*
- 3) Kategori Tingkat Risiko (*Risk Level*)

2. Fungsi Analitis Risk Matrix

Risk matrix tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga memiliki peran analitis dalam proses manajemen risiko. Dengan adanya matriks ini, setiap risiko dapat dipetakan

berdasarkan tingkat prioritasnya, sehingga organisasi dapat menentukan langkah pengendalian yang paling tepat.

Risiko dengan kategori *Extreme* dan *High risk* memerlukan tindakan pengendalian segera karena memiliki dampak signifikan terhadap keselamatan kerja. Sementara itu, risiko dengan kategori *Medium risk* memerlukan pengendalian terencana, dan risiko *Low risk* dapat dikendalikan melalui pengawasan rutin.

Pendekatan ini memungkinkan penggunaan sumber daya secara lebih efisien karena fokus pengendalian diarahkan pada risiko dengan tingkat tertinggi.

3. Peran *Risk Matrix* dalam Metode HIRARC

Dalam metode *HIRARC*, *risk matrix* merupakan alat yang menghubungkan tahap penilaian risiko dengan tahap pengendalian risiko. Hasil pemetaan risiko pada matriks digunakan sebagai dasar dalam menentukan prioritas pengendalian risiko berdasarkan prinsip *hierarchy of control*.

Dengan demikian, *risk matrix* berperan sebagai alat bantu dalam pengambilan keputusan yang berbasis data, sehingga proses pengendalian risiko dapat dilakukan secara sistematis dan terukur (Sayuti dkk., 2025)

4. Relevansi *Risk Matrix* pada Proses *Electroplating* dan *NDT*

Pada proses *electroplating* dan *Non-Destructive Testing (NDT)*, penggunaan *risk matrix* menjadi sangat penting karena kedua proses tersebut memiliki karakteristik bahaya yang kompleks dan beragam. Bahaya kimia pada *electroplating* serta bahaya fisik seperti radiasi pada *NDT* memerlukan analisis risiko yang akurat untuk menentukan prioritas pengendalian.

Melalui *risk matrix*, risiko pada kedua proses tersebut dapat dipetakan secara sistematis sehingga memudahkan dalam

menentukan langkah pengendalian yang sesuai dengan tingkat risiko yang dihadapi.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa *risk matrix* merupakan alat analisis yang memiliki peran penting dalam proses manajemen risiko karena mampu mengklasifikasikan tingkat risiko secara visual dan sistematis. Kategori dalam *risk matrix* yang meliputi *likelihood*, *severity*, dan *risk level* memungkinkan proses evaluasi risiko dilakukan secara objektif, sehingga sangat mendukung penerapan metode *HIRARC* dalam lingkungan kerja dengan risiko tinggi.

2.2.11 Pengendalian Risiko (*Risk Control*) dan *Hierarchy of Control*

Pengendalian risiko (*risk control*) merupakan tahap akhir dalam proses manajemen risiko yang bertujuan untuk mengurangi, mengendalikan, atau menghilangkan potensi bahaya yang telah diidentifikasi dan dinilai pada tahap sebelumnya. Tahap ini memiliki peran strategis karena menjadi bentuk implementasi nyata dari hasil analisis risiko dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman dan terkendali.

Dalam praktik keselamatan kerja, pengendalian risiko tidak dilakukan secara acak, melainkan berdasarkan suatu pendekatan sistematis yang dikenal sebagai *hierarchy of control*. Menurut *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*, *hierarchy of control* merupakan metode yang digunakan untuk menentukan prioritas pengendalian risiko berdasarkan tingkat efektivitasnya, dimulai dari pengendalian yang paling efektif hingga yang paling rendah efektivitasnya dalam mengurangi risiko.

Pendekatan ini mengklasifikasikan pengendalian risiko ke dalam lima kategori utama, yaitu *elimination*, *substitution*, *engineering*

control, *administrative control*, dan *personal protective equipment (PPE)*.

1. Eliminasi (*Elimination*)

Eliminasi merupakan tingkat pengendalian risiko yang paling efektif karena dilakukan dengan cara menghilangkan sumber bahaya secara langsung dari lingkungan kerja. Dengan menghilangkan bahaya, maka risiko yang ditimbulkan juga dapat dihilangkan sepenuhnya.

Dalam konteks industri, eliminasi dapat dilakukan dengan menghapus proses kerja yang berbahaya atau mengganti metode kerja yang berisiko tinggi dengan metode yang lebih aman. Sebagai contoh, pada proses *electroplating*, eliminasi dapat dilakukan dengan menghilangkan penggunaan bahan kimia tertentu yang berbahaya apabila terdapat alternatif proses yang tidak memerlukan bahan tersebut.

Namun demikian, penerapan eliminasi seringkali terbatas karena tidak semua bahaya dapat dihilangkan tanpa mempengaruhi proses produksi.

2. Substitusi (*Substitution*)

Substitusi merupakan pengendalian risiko dengan cara mengganti sumber bahaya dengan alternatif yang lebih aman. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi tingkat risiko tanpa menghilangkan proses kerja secara keseluruhan.

Sebagai contoh, pada proses *electroplating*, penggunaan bahan kimia berbahaya seperti kromium dapat digantikan dengan bahan yang memiliki tingkat toksisitas lebih rendah. Pada proses *Non-Destructive Testing (NDT)*, metode pengujian yang menggunakan radiasi dapat digantikan dengan metode lain yang lebih aman, seperti *ultrasonic testing*.

Substitusi menjadi pilihan yang efektif apabila eliminasi tidak dapat dilakukan, namun tetap memerlukan evaluasi untuk memastikan bahwa alternatif yang digunakan benar-benar lebih aman.

3. Pengendalian Rekayasa (*Engineering Control*)

Engineering control merupakan pengendalian risiko yang dilakukan melalui rekayasa teknis pada peralatan, proses, atau lingkungan kerja untuk mengurangi paparan terhadap bahaya. Pendekatan ini tidak menghilangkan bahaya secara langsung, tetapi mengisolasi pekerja dari sumber bahaya.

Contoh penerapan *engineering control* antara lain pemasangan sistem ventilasi untuk mengurangi paparan uap bahan kimia pada proses *electroplating*, penggunaan pelindung mesin (*machine guarding*), serta penggunaan pelindung radiasi pada proses *NDT*.

Pendekatan ini dianggap lebih efektif dibandingkan pengendalian administratif karena tidak bergantung pada perilaku pekerja, melainkan pada sistem yang telah dirancang secara teknis.

4. Pengendalian Administratif (*Administrative Control*)

Administrative control merupakan pengendalian risiko yang dilakukan melalui pengaturan prosedur kerja, pelatihan, serta pengawasan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja.

Pengendalian ini meliputi penyusunan *standard operating procedure (SOP)*, pelatihan keselamatan kerja, rotasi pekerjaan, serta pengawasan terhadap kepatuhan pekerja terhadap prosedur yang telah ditetapkan.

Meskipun penting, pengendalian administratif memiliki tingkat efektivitas yang lebih rendah dibandingkan *engineering control* karena sangat bergantung pada kedisiplinan dan kesadaran pekerja.

5. Alat Pelindung Diri (*Personal Protective Equipment / PPE*)

Personal protective equipment (PPE) merupakan lapisan perlindungan terakhir dalam *hierarchy of control*. Penggunaan *PPE* bertujuan untuk melindungi pekerja dari paparan bahaya yang tidak dapat dihilangkan melalui pengendalian sebelumnya.

Contoh *PPE* pada proses *electroplating* meliputi sarung tangan tahan bahan kimia, masker respirator, serta pelindung mata. Pada proses *NDT*, *PPE* dapat berupa pelindung radiasi, sarung tangan, dan pakaian pelindung.

Meskipun penting, penggunaan *PPE* tidak menghilangkan bahaya, sehingga hanya berfungsi sebagai pengendalian tambahan.

6. Prinsip Prioritas dalam *Hierarchy of Control*

Salah satu keunggulan utama dari *hierarchy of control* adalah adanya prinsip prioritas dalam penerapan pengendalian risiko. Pengendalian harus dimulai dari tingkat tertinggi, yaitu eliminasi, dan dilanjutkan ke tingkat berikutnya apabila pengendalian pada tingkat sebelumnya tidak dapat diterapkan.

Pendekatan ini memastikan bahwa pengendalian risiko dilakukan secara optimal dan tidak hanya bergantung pada metode yang paling mudah diterapkan, seperti penggunaan *PPE*. Dengan demikian, sistem pengendalian risiko menjadi lebih efektif dan berkelanjutan.

7. Relevansi *Risk Control* dalam Metode HIRARC

Dalam metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)*, tahap *risk control* merupakan implementasi dari hasil penilaian risiko. Risiko dengan kategori *High risk* dan *Extreme risk* memerlukan pengendalian segera menggunakan pendekatan *hierarchy of control*, sedangkan risiko dengan kategori

lebih rendah dapat dikendalikan melalui pengawasan dan prosedur kerja.

Dengan demikian, *pengendalian risiko* tidak hanya berfungsi sebagai tahap akhir, tetapi juga sebagai penentu keberhasilan keseluruhan proses manajemen risiko dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengendalian risiko dalam *hierarchy of control* memiliki struktur yang sistematis dan berbasis prioritas, sehingga memungkinkan pengurangan risiko secara efektif. Klasifikasi pengendalian yang terdiri dari *elimination, substitution, engineering control, administrative control*, dan *PPE* menunjukkan bahwa pengendalian risiko harus dilakukan secara bertahap dengan mengutamakan metode yang paling efektif.

Pendekatan ini sangat relevan untuk diterapkan pada lingkungan kerja dengan risiko tinggi seperti proses *electroplating* dan *Non-Destructive Testing (NDT)*, karena mampu mengendalikan berbagai jenis bahaya secara terintegrasi dalam satu sistem manajemen risiko.

2.3 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan bagian penting dalam suatu penelitian yang berfungsi sebagai landasan ilmiah serta pembanding dalam menganalisis penerapan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)*. Selain itu, kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian (*research gap*) sehingga dapat memperkuat posisi dan kontribusi penelitian yang dilakukan.

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Supriyadi dkk. (2015)	IDENTIFIKASI BAHAYA DAN PENILAIAN RISIKO K3 PADA TINDAKAN PERAWATAN & PERBAIKAN MENGGUNAKAN METODE HIRARC (HAZARD IDENTIFICATION AND RISK ASSESMENT RISK CONTROL) PADA PT. X	Mengidentifikasi 70 risiko dari 52 potensi bahaya dengan dominasi risiko kategori sedang
2	Widodo dkk. (2022)	ANALISA KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA MENGGUNAKAN METODE HAZARD IDENTIFICATION RISK ASSESSMENT AND RISK CONTROL (HIRARC) DAN HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOPS) DI PT. XYZ	Ditemukan 18 potensi bahaya dengan tingkat risiko bervariasi serta pengendalian menggunakan <i>hierarchy of control</i>
3	Ramadhan (2017)	Analisis Risiko K3 Dengan Metode Hazard Identification Risk Assessment And Risk Control (HIRARC) Pada Proses Pembuatan Nugget Ayam Di CV. Pangan Berkah Sentosa OHS Risk Analysis with Hazard Identification Risk Assessment And Risk Control (HIRARC) Method in the Process of Making Chicken Nuggets at CV. Pangan Berkah Sentosa	Mengidentifikasi 15 potensi bahaya dengan beberapa risiko termasuk kategori ekstrem
4	Latif dkk. (2025)	Analisis Risiko K3 Dengan Metode Hazard Identification Risk Assessment And Risk Control (HIRARC) Pada Proses Pembuatan Nugget Ayam Di CV. Pangan Berkah Sentosa OHS Risk Analysis with Hazard Identification Risk Assessment And Risk Control (HIRARC) Method in the Process of Making Chicken Nuggets at CV. Pangan Berkah Sentosa	Ditemukan 30 potensi bahaya dengan dominasi risiko kategori sedang
5	S. N. I. Sari (2019)	ANALISIS RISIKO K3 DENGAN METODE HAZARD IDENTIFICATION RISK ASSESSMENT AND RISK CONTROL (HIRARC) PADA AREA PRODUKSI (Studi Kasus: UKM CIPTA MANDIRI-KLATEN)	Mengidentifikasi 12 sumber bahaya dengan dominasi risiko rendah sebesar 80%

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
6	Smarandana dkk. (2021)	Penilaian Risiko K3 pada Proses Pabrikasi Menggunakan Metode Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC)	Ditemukan 30 potensi risiko dengan distribusi dari kategori rendah hingga ekstrem
7	Giovanni dkk. (2023)	<i>Risk Analysis of Occupational Health and Safety Using Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) Method (Case Study in PT Barokah Galangan Perkasa)</i>	Mengidentifikasi 40 potensi bahaya dengan dominasi risiko rendah sebesar 77%
8	Maulana dkk. (2024)	Analisa Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dengan Menggunakan Metode Hirarc di PT. Otomotif	Ditemukan 38 potensi bahaya dengan kategori risiko dari rendah hingga ekstrem
9	Liu & Wang (2024)	<i>Contamination and health risk assessment of heavy metals in soil surrounding an electroplating factory in JiaXing, China</i>	Menunjukkan adanya risiko tinggi akibat paparan logam berat yang berdampak pada kesehatan dan lingkungan
10	von Dipl dkk. (2015)	<i>Human Factors in Non-Destructive Testing (NDT): Risks and Challenges of Mechanised NDT</i>	Menunjukkan bahwa kesalahan manusia dapat mempengaruhi akurasi inspeksi dan meningkatkan risiko kegagalan sistem

Sumber: Diolah oleh penulis dari berbagai referensi jurnal penelitian terdahulu, 2026

Berdasarkan Tabel 2.5, dapat diketahui bahwa metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)* telah digunakan secara luas dalam berbagai sektor industri, mulai dari aktivitas maintenance, manufaktur, industri makanan, hingga industri berat seperti galangan kapal dan otomotif. Secara umum, seluruh penelitian menunjukkan bahwa metode

HIRARC mampu mengidentifikasi potensi bahaya secara sistematis serta mengklasifikasikan tingkat risiko ke dalam kategori rendah, sedang, tinggi, hingga ekstrem.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah potensi bahaya yang diidentifikasi sangat bervariasi, tergantung pada kompleksitas proses kerja yang dianalisis. Penelitian oleh Supriyadi dkk. (2015) menunjukkan jumlah risiko tertinggi, yaitu 70 risiko dari 52 potensi bahaya, yang mengindikasikan bahwa aktivitas maintenance memiliki tingkat kompleksitas risiko yang tinggi. Sementara itu, penelitian pada sektor manufaktur dan industri makanan, seperti yang dilakukan oleh Ramadhan (2017) dan Latif dkk. (2025), menunjukkan jumlah potensi bahaya yang lebih rendah, yaitu antara 15 hingga 30 bahaya, dengan dominasi risiko pada kategori sedang.

Pada skala industri yang lebih kompleks, seperti pabrikasi dan galangan kapal, penelitian oleh Smarandana dkk. (2021) dan Giovanni dkk. (2023) menunjukkan bahwa distribusi risiko tidak hanya berada pada kategori rendah, tetapi juga mencakup kategori tinggi hingga ekstrem. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan kerja industri memiliki karakteristik risiko yang dinamis dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti penggunaan mesin, kondisi lingkungan, serta interaksi antar pekerja.

Penelitian pada industri otomotif oleh Maulana dkk. (2024) menunjukkan adanya 38 potensi bahaya yang tersebar dalam berbagai kategori risiko, mulai dari rendah hingga ekstrem. Hal ini memperkuat bahwa industri manufaktur modern memiliki sistem kerja yang kompleks dan membutuhkan pendekatan analisis risiko yang komprehensif.

Di sisi lain, penelitian oleh Liu & Wang (2024) menunjukkan bahwa proses *electroplating* memiliki karakteristik bahaya yang berbeda, yaitu dominasi risiko kimia berupa paparan logam berat yang berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan. Sementara itu, penelitian oleh von Dipl dkk. (2015) menunjukkan bahwa pada proses *Non-Destructive Testing (NDT)*,

faktor manusia (*human factor*) menjadi salah satu penyebab utama risiko, khususnya dalam hal kesalahan inspeksi yang dapat mempengaruhi keandalan hasil pengujian.

Berdasarkan keseluruhan penelitian terdahulu pada Tabel 2.5, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu jenis proses kerja tertentu dan cenderung bersifat parsial, karena analisis risiko yang dilakukan umumnya hanya meninjau satu sumber bahaya dominan tanpa mempertimbangkan interaksi antar berbagai jenis bahaya dalam satu sistem kerja.

Secara ilmiah, keterbatasan tersebut relevan untuk diisi karena karakteristik bahaya *electroplating* (dominan kimia) dan *NDT* (dominan fisik dan *human factor*) bersifat berbeda secara fundamental, sehingga metode identifikasi dan penilaian risiko yang dikembangkan untuk satu jenis proses belum tentu mampu menangkap pola interaksi bahaya ketika kedua proses tersebut berlangsung dalam satu sistem kerja yang sama, seperti pada Departemen Special Process. Dengan kata lain, kesenjangan yang ada bukan sekadar kesenjangan lokasi kajian, melainkan kesenjangan pada kerangka analisis: belum ada kerangka HIRARC yang dirancang untuk menangkap risiko gabungan lintas-karakteristik bahaya semacam ini.

Kesenjangan tersebut terlihat jelas apabila penelitian terdahulu dicermati satu per satu. Dari sisi cakupan proses, penelitian oleh Liu & Wang (2024) hanya berfokus pada proses *electroplating* tanpa mengaitkannya dengan proses lain, sementara penelitian oleh von Dipl dkk. (2015) hanya membahas proses *NDT* secara terpisah; belum ada yang mengkaji keduanya secara terintegrasi dalam satu kerangka HIRARC. Dari sisi metodologi, penelitian oleh Supriyadi dkk. (2015), Ramadhan (2017), dan Maulana dkk. (2024) memang telah menerapkan HIRARC secara sistematis, namun belum dilanjutkan dengan analisis prioritas penanganan risiko berbasis distribusi kontribusi kumulatif (Distribusi Prioritas Risiko), sehingga urutan penanganan

risiko antar bahaya belum ditentukan secara terukur. Selain itu, belum ditemukan penelitian yang mengombinasikan identifikasi bahaya berbasis pendekatan 5M (man, machine, material, method, environment) dengan analisis Distribusi Prioritas Risiko dalam satu kerangka HIRARC yang utuh untuk dua proses kerja dengan karakteristik bahaya yang berbeda sekaligus.

Berdasarkan uraian tersebut, *novelty* penelitian ini dapat dirumuskan pada tiga aspek. Pertama, integrasi analisis risiko pada dua proses dengan karakteristik bahaya yang berbeda (kimia pada *electroplating* dan fisik/*human factor* pada *NDT*) dalam satu kerangka HIRARC yang sama, alih-alih dianalisis secara terpisah seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Kedua, kombinasi pendekatan identifikasi bahaya berbasis 5M dengan analisis Distribusi Prioritas Risiko, yang belum ditemukan diterapkan bersamaan pada penelitian terdahulu. Ketiga, konteks studi kasus pada perusahaan *Electronics Manufacturing Services* (EMS) berskala global dengan standar risiko lintas proses, yang berbeda dari konteks industri manufaktur konvensional, makanan, maupun galangan kapal pada penelitian-penelitian terdahulu. Secara ringkas, nilai tambah penelitian ini dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya terletak pada kemampuannya menganalisis dua proses berkarakteristik bahaya berbeda secara terintegrasi dalam satu kerangka HIRARC, sesuatu yang belum dilakukan oleh penelitian terdahulu yang cenderung parsial dan hanya berfokus pada satu jenis proses atau satu jenis bahaya dominan.

Dengan demikian, belum terdapat penelitian yang secara komprehensif menganalisis interaksi antar berbagai jenis bahaya (*multi-hazard interaction*) dalam lingkungan kerja yang terintegrasi menggunakan metode HIRARC sebagaimana dirumuskan pada ketiga aspek kebaruan di atas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis risiko kerja pada proses *electroplating* dan *Non-Destructive Testing* (*NDT*) secara terintegrasi menggunakan metode HIRARC, dengan harapan dapat memberikan pendekatan analisis risiko yang lebih komprehensif serta menjadi kontribusi

dalam pengembangan sistem keselamatan dan kesehatan kerja pada lingkungan industri dengan karakteristik risiko yang kompleks.

