

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1.Kajian Pustaka

2.1.1. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan konsep fundamental dalam manajemen operasional yang bertujuan menciptakan lingkungan kerja yang aman, sehat, dan produktif bagi tenaga kerja. K3 berfokus pada perlindungan pekerja dari berbagai risiko yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja maupun penyakit akibat kerja selama proses produksi berlangsung. Menurut *International Labour Organization* (ILO), keselamatan dan kesehatan kerja mencakup kondisi dan faktor yang memengaruhi keselamatan, kesehatan, serta kesejahteraan pekerja di lingkungan kerja. Konsep ini menegaskan bahwa manusia merupakan aset utama organisasi yang harus dilindungi melalui pengelolaan risiko kerja secara sistematis dan berkelanjutan.

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk melindungi tenaga kerja dari risiko kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja yang dapat terjadi di lingkungan kerja. Penerapan K3 sangat penting dalam berbagai sektor industri karena aktivitas produksi sering melibatkan penggunaan mesin, peralatan kerja, serta interaksi manusia dengan lingkungan kerja yang berpotensi menimbulkan bahaya. Dengan adanya penerapan sistem K3 yang baik, perusahaan dapat mengurangi tingkat kecelakaan kerja serta meningkatkan efisiensi dan produktivitas kerja. Oleh karena itu, implementasi K3 menjadi salah satu aspek penting dalam manajemen operasional perusahaan modern (Maulana, Waluya, & Suryadi, 2024).

Selain berfungsi sebagai upaya perlindungan terhadap tenaga kerja, penerapan K3 juga berperan dalam meningkatkan kualitas lingkungan kerja yang aman dan sehat. Lingkungan kerja yang aman

akan membantu pekerja dalam menjalankan aktivitas kerja secara optimal tanpa adanya gangguan akibat risiko kecelakaan kerja. Penerapan K3 juga dapat mengurangi kerugian perusahaan yang disebabkan oleh kecelakaan kerja, seperti kerusakan peralatan, biaya pengobatan, serta terganggunya proses produksi. Dengan demikian, penerapan sistem K3 menjadi bagian penting dalam menciptakan keberlangsungan operasional perusahaan secara berkelanjutan (Akbar & Jufriyanto, 2025).

Penerapan K3 pada dasarnya merupakan tanggung jawab bersama antara perusahaan dan tenaga kerja dalam menciptakan budaya kerja yang aman. Perusahaan memiliki kewajiban menyediakan prosedur kerja yang aman, pelatihan keselamatan, serta fasilitas perlindungan kerja yang memadai bagi pekerja. Di sisi lain, tenaga kerja juga harus mematuhi standar operasional dan prosedur keselamatan yang telah ditetapkan organisasi. Dukungan regulasi seperti Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja semakin menegaskan pentingnya penerapan K3 sebagai bagian dari sistem manajemen operasional perusahaan.

Selain itu, penerapan K3 juga berkaitan erat dengan upaya peningkatan kinerja organisasi secara keseluruhan. Lingkungan kerja yang aman dan sehat tidak hanya berdampak pada penurunan angka kecelakaan kerja, tetapi juga meningkatkan motivasi dan kepuasan kerja tenaga kerja. Kondisi tersebut secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas dan efisiensi operasional perusahaan. Dalam perspektif manajemen modern, K3 tidak hanya dipandang sebagai kewajiban, tetapi juga sebagai investasi jangka panjang bagi perusahaan. Oleh karena itu, integrasi K3 dalam sistem manajemen menjadi faktor penting dalam mencapai keberlanjutan operasional.

2.1.2. Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko

Identifikasi bahaya dan penilaian risiko merupakan tahapan penting dalam manajemen keselamatan dan kesehatan kerja yang bertujuan untuk mengenali serta mengevaluasi potensi bahaya dalam lingkungan kerja. Identifikasi bahaya (*hazard identification*) dilakukan untuk menemukan sumber bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja, maupun kerusakan lingkungan kerja. Sumber bahaya dapat berasal dari berbagai faktor seperti manusia, mesin, metode kerja, material, dan kondisi lingkungan kerja yang tidak aman. Proses identifikasi bahaya dilakukan secara sistematis melalui observasi lapangan, wawancara, serta analisis terhadap aktivitas kerja yang dilakukan. Pendekatan ini memungkinkan perusahaan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai potensi risiko yang ada dalam setiap proses kerja (Tami, Syahabuddin, & Yusuf, 2024).

Setelah proses identifikasi bahaya dilakukan, tahapan selanjutnya adalah penilaian risiko (*risk assessment*) untuk menentukan tingkat risiko dari setiap potensi bahaya yang telah ditemukan. Penilaian risiko dilakukan dengan mempertimbangkan dua parameter utama, yaitu kemungkinan terjadinya suatu kejadian (*likelihood*) dan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan (*severity*). *Likelihood* menggambarkan frekuensi atau peluang terjadinya suatu bahaya, sedangkan *severity* menunjukkan tingkat konsekuensi yang dihasilkan apabila bahaya tersebut terjadi. Kombinasi antara *likelihood* dan *severity* akan menghasilkan nilai risiko yang digunakan untuk menentukan prioritas penanganan risiko. Dengan demikian, penilaian risiko menjadi dasar penting dalam pengambilan keputusan terkait pengendalian risiko di lingkungan kerja (Ismail, Ningsih, & Sibuea, 2023).

Menurut standar manajemen risiko seperti ISO 31000, proses identifikasi bahaya dan penilaian risiko harus dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan untuk meningkatkan efektivitas pengendalian risiko. Proses ini tidak hanya berfokus pada kondisi saat ini, tetapi juga

mempertimbangkan kemungkinan perubahan kondisi yang dapat memengaruhi tingkat risiko di masa mendatang. Dalam praktiknya, penerapan identifikasi bahaya dan penilaian risiko sangat penting pada industri yang memiliki tingkat risiko tinggi seperti penggilingan padi. Aktivitas produksi yang melibatkan mesin, debu, dan interaksi manusia dengan peralatan kerja memiliki potensi bahaya yang cukup besar apabila tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, penerapan analisis risiko yang tepat akan membantu perusahaan dalam menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan meningkatkan kinerja keselamatan kerja secara keseluruhan (Acebes, González-Varona, López-Paredes, & Pajares, 2024).

Dalam praktiknya, proses identifikasi bahaya dan penilaian risiko sering menghadapi berbagai kendala. Kendala tersebut meliputi subjektivitas dalam penilaian, keterbatasan data historis, serta perubahan kondisi operasional yang dinamis. Hal ini dapat menyebabkan hasil penilaian risiko menjadi kurang akurat dalam menggambarkan kondisi nyata di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang lebih komprehensif untuk meningkatkan kualitas hasil penilaian risiko. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah integrasi metode probabilistik seperti simulasi Monte Carlo.

2.1.3. Metode HIRARC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control*)

HIRARC merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam analisis risiko keselamatan dan kesehatan kerja di berbagai sektor industri. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya dalam setiap aktivitas kerja, melakukan penilaian terhadap tingkat risiko yang mungkin terjadi, serta menentukan langkah pengendalian yang tepat untuk meminimalkan risiko tersebut. Pendekatan HIRARC dinilai efektif karena memiliki tahapan analisis yang sistematis dan mudah diterapkan dalam berbagai jenis industri (Tami et al., 2024). Oleh karena

itu, metode ini sering digunakan sebagai alat utama dalam penerapan manajemen risiko K3 yang terstruktur dan berkelanjutan.

Secara konseptual, HIRARC merupakan pendekatan preventif yang berfokus pada upaya pencegahan kecelakaan kerja sebelum risiko benar-benar terjadi. Metode ini membantu organisasi memahami hubungan antara aktivitas kerja, sumber bahaya, serta tingkat risiko yang dihasilkan dari suatu pekerjaan. Dengan melakukan analisis secara sistematis, perusahaan dapat menentukan prioritas risiko yang perlu segera ditangani. Pendekatan ini menjadikan HIRARC sebagai metode yang relevan dalam meningkatkan budaya keselamatan kerja di lingkungan industri.

Tahapan dalam metode HIRARC terdiri dari tiga proses utama yaitu *hazard identification*, *risk assessment*, dan *risk control*. *Hazard identification* dilakukan untuk mengidentifikasi berbagai potensi bahaya yang terdapat dalam aktivitas kerja. *Risk assessment* dilakukan untuk menentukan tingkat risiko berdasarkan kemungkinan terjadinya bahaya (*likelihood*) dan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan (*severity*). Penilaian risiko pada metode HIRARC umumnya menggunakan rumus dasar sebagai berikut :

$$R = L \times S$$

Nilai *likelihood* menunjukkan peluang suatu bahaya terjadi, sedangkan *severity* menunjukkan tingkat dampak atau konsekuensi yang ditimbulkan apabila bahaya tersebut terjadi. Untuk mempermudah proses penilaian, digunakan skala penilaian yang diklasifikasikan ke dalam beberapa tingkatan.

Tabel 2.1 Skala Penilaian *Likelihood* (Kemungkinan)

Skala	Kriteria	Deskripsi
1	Sangat Jarang	Hampir tidak pernah terjadi
2	Jarang	Terjadi dalam kondisi tertentu
3	Kadang-kadang	Dapat terjadi sewaktu-waktu
4	Sering	Sering terjadi dalam aktivitas kerja
5	Sangat Sering	Hampir selalu terjadi

Sumber : Disusun oleh peneliti berdasarkan metode HIRARC dan literatur K3 (2026)

Tabel 2.2 Skala Penilaian Severity (Keparahan)

Skala	Kriteria	Deskripsi
1	Sangat Ringan	Tidak menimbulkan cedera
2	Ringan	Cedera ringan tanpa kehilangan waktu kerja
3	Sedang	Cedera memerlukan perawatan medis
4	Berat	Cedera serius atau kehilangan waktu kerja
5	Sangat Berat	Kematian atau kerusakan besar

Sumber : Disusun oleh peneliti berdasarkan metode HIRARC dan literatur K3 (2026)

Hasil perkalian antara nilai *likelihood* dan *severity* kemudian dipetakan ke dalam Matriks Risiko (*Risk Matrix*) untuk menentukan kategori tingkat risiko. Matriks risiko digunakan sebagai acuan dalam mengelompokkan risiko ke dalam beberapa kategori, yaitu *Low Risk*, *Medium Risk*, dan *High Risk*, sehingga perusahaan dapat menentukan prioritas pengendalian secara lebih efektif.

Tabel 2.3 Risk Matrix (Matriks Risiko)

Severity ↓ / Likelihood →	1	2	3	4	5
5	M	H	H	H	H
4	M	M	H	H	H
3	L	M	M	H	H
2	L	L	M	M	H
1	L	L	L	M	M

Sumber : Disusun oleh peneliti berdasarkan metode HIRARC dan literatur K3 (2026)

Keterangan :

L = *Low Risk*

M = *Medium Risk*

H = *High Risk*

Tahap terakhir yaitu *risk control* dilakukan untuk menentukan langkah pengendalian yang dapat mengurangi atau menghilangkan risiko yang telah diidentifikasi sebelumnya (Ismail et al., 2023). Penerapan metode HIRARC memberikan keuntungan dalam proses evaluasi risiko karena mampu menyusun prioritas pengendalian berdasarkan tingkat risiko yang dihasilkan dari analisis. Melalui pendekatan ini, perusahaan dapat mengetahui aktivitas kerja yang memiliki risiko tinggi sehingga

tindakan pencegahan dapat dilakukan secara lebih terarah. HIRARC juga membantu meningkatkan kesadaran pekerja terhadap potensi bahaya yang ada di lingkungan kerja melalui proses identifikasi yang sistematis. Dengan demikian, metode HIRARC tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis risiko, tetapi juga sebagai dasar dalam perencanaan sistem keselamatan kerja yang berkelanjutan.

Pada tahap *risk control*, penentuan tindakan pengendalian risiko perlu mengacu pada konsep Hirarki Pengendalian Risiko (*Hierarchy of control*), yaitu pendekatan sistematis yang menempatkan strategi pengendalian berdasarkan tingkat efektivitasnya dalam mengurangi bahaya. Hirarki pengendalian terdiri atas eliminasi, substitusi, pengendalian teknik (*engineering control*), pengendalian administratif, dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Eliminasi dan substitusi merupakan bentuk pengendalian paling efektif karena berfokus pada penghilangan sumber bahaya sejak awal proses kerja. Namun, dalam praktik industri, tidak seluruh bahaya dapat dieliminasi sehingga diperlukan pendekatan pengendalian lain yang tetap mampu menurunkan tingkat risiko secara signifikan.

Dalam konteks industri penggilingan padi, pengendalian teknik menjadi langkah yang paling realistis untuk diterapkan melalui rekayasa desain mesin dan lingkungan kerja guna mengurangi interaksi langsung antara pekerja dan sumber bahaya. Penerapan pengendalian teknik dapat berupa pemasangan pelindung (*machine guarding*) pada mesin poles, penambahan penutup pada sistem transmisi yang bergerak, serta perbaikan sistem ventilasi untuk mengurangi paparan debu produksi. Pengendalian teknik lebih diutamakan dibandingkan penggunaan APD karena mampu mengendalikan risiko langsung pada sumber bahaya dan tidak bergantung pada perilaku pekerja, sedangkan APD hanya berfungsi sebagai perlindungan terakhir apabila risiko masih tersisa. Oleh karena itu, penerapan hirarki pengendalian risiko dalam metode HIRARC memungkinkan perusahaan menentukan strategi pengendalian yang

lebih efektif, sistematis, dan berkelanjutan dalam menekan potensi kecelakaan kerja pada proses penggilingan padi.

Meskipun metode HIRARC memiliki keunggulan dalam memberikan struktur analisis yang sistematis, metode ini masih memiliki keterbatasan. Penilaian risiko yang dihasilkan cenderung bersifat deterministik karena menggunakan nilai tunggal *likelihood* dan *severity*. Kondisi tersebut menyebabkan metode ini kurang mampu menggambarkan variasi dan ketidakpastian risiko yang terjadi di lapangan. Akibatnya, hasil analisis risiko menjadi kurang fleksibel dalam menghadapi perubahan kondisi operasional. Oleh karena itu, diperlukan metode pendukung seperti simulasi Monte Carlo untuk melengkapi analisis risiko tersebut.

2.1.4. Simulasi Monte Carlo dalam Pemodelan Risiko

Simulasi Monte Carlo merupakan metode analisis kuantitatif yang digunakan untuk memodelkan ketidakpastian dalam suatu sistem dengan menggunakan pendekatan probabilitas. Metode ini banyak digunakan dalam analisis risiko karena mampu menggambarkan berbagai kemungkinan hasil yang dapat terjadi melalui proses simulasi berulang. Dengan menggunakan metode ini, peneliti dapat memprediksi tingkat kemungkinan suatu risiko terjadi berdasarkan data probabilitas yang tersedia. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih fleksibel dibandingkan metode deterministik karena mempertimbangkan variasi kondisi yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, simulasi Monte Carlo menjadi salah satu metode yang efektif dalam analisis risiko modern (Acebes et al., 2024).

Secara metodologis, simulasi Monte Carlo digunakan untuk menganalisis sistem yang mengandung ketidakpastian melalui pendekatan berbasis simulasi berulang. Setiap variabel input dalam simulasi tidak ditentukan sebagai nilai tetap, melainkan sebagai nilai yang dapat berubah pada setiap percobaan. Proses simulasi dilakukan

dengan menghasilkan nilai secara acak yang mewakili kemungkinan kondisi yang terjadi di lapangan. Hasil dari setiap percobaan kemudian dikumpulkan untuk membentuk gambaran umum terhadap perilaku sistem yang dianalisis. Dengan demikian, metode ini mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam terhadap variasi risiko yang mungkin terjadi.

Dalam penerapannya, simulasi Monte Carlo dilakukan melalui beberapa tahapan utama yang bersifat sistematis. Tahapan pertama adalah penentuan variabel risiko yang akan dianalisis, seperti *likelihood* dan *severity* yang diperoleh dari hasil metode HIRARC. Selanjutnya dilakukan proses pembangkitan bilangan acak untuk merepresentasikan variasi nilai pada setiap variabel *input*. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan dalam proses simulasi untuk menghasilkan nilai risiko pada setiap percobaan. Proses ini dilakukan secara berulang dalam jumlah tertentu agar diperoleh hasil yang representatif terhadap kondisi sistem yang dianalisis .

Proses iterasi dalam simulasi Monte Carlo dilakukan dengan mengkombinasikan nilai variabel *input* pada setiap percobaan untuk menghasilkan nilai *output* berupa tingkat risiko. Nilai risiko tersebut dihitung berdasarkan hubungan antara *likelihood* dan *severity* dalam setiap iterasi simulasi. Semakin banyak jumlah iterasi yang dilakukan, maka hasil simulasi akan semakin mendekati kondisi nyata yang sebenarnya. Hasil dari setiap iterasi kemudian dikumpulkan untuk membentuk pola distribusi nilai risiko. Dengan demikian, simulasi Monte Carlo mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap kemungkinan terjadinya risiko.

Hasil simulasi Monte Carlo selanjutnya dianalisis untuk memperoleh informasi penting seperti nilai rata-rata risiko dan kecenderungan tingkat risiko yang mungkin terjadi. Selain itu, metode ini juga memungkinkan dilakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui variabel yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai risiko.

Informasi tersebut sangat berguna dalam menentukan prioritas pengendalian risiko secara lebih efektif. Dalam konteks keselamatan kerja, hasil analisis ini dapat membantu perusahaan dalam merancang strategi mitigasi risiko yang lebih tepat sasaran. Oleh karena itu, simulasi Monte Carlo berperan sebagai alat analisis yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam manajemen risiko (Acebes et al., 2024).

Simulasi Monte Carlo memiliki keunggulan dalam memodelkan ketidakpastian secara lebih realistis dibandingkan metode konvensional. Metode ini mampu menghasilkan berbagai kemungkinan hasil melalui proses simulasi berulang. Dengan demikian, analisis risiko tidak hanya menghasilkan satu nilai, tetapi juga distribusi kemungkinan yang dapat terjadi. Hal ini sangat penting dalam konteks keselamatan kerja yang memiliki kondisi operasional yang dinamis. Oleh karena itu, penggunaan simulasi Monte Carlo dapat meningkatkan akurasi dan keandalan hasil analisis risiko.

2.1.5. Konsep Distribusi Probabilitas

Distribusi probabilitas merupakan konsep dasar dalam analisis statistik yang digunakan untuk menggambarkan kemungkinan terjadinya suatu nilai pada variabel acak. Konsep ini berperan penting dalam memodelkan ketidakpastian yang terdapat dalam suatu sistem, khususnya dalam analisis risiko. Setiap nilai dalam variabel memiliki peluang tertentu yang dinyatakan dalam bentuk probabilitas dengan rentang antara 0 hingga 1. Distribusi probabilitas memungkinkan peneliti untuk memahami pola variasi data serta kemungkinan terjadinya suatu kejadian dalam kondisi tertentu. Oleh karena itu, distribusi probabilitas menjadi landasan utama dalam pengembangan model analisis kuantitatif berbasis risiko (Acebes et al., 2024).

Distribusi probabilitas secara umum dibedakan menjadi dua jenis, yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinu. Distribusi diskrit digunakan

untuk variabel yang memiliki nilai terbatas dan terpisah, sedangkan distribusi kontinu digunakan untuk variabel dengan rentang nilai yang tidak terbatas. Dalam penelitian ini, distribusi yang digunakan adalah distribusi diskrit karena variabel risiko yang dianalisis, yaitu *likelihood* dan *severity*, memiliki skala ordinal dengan rentang nilai 1 sampai 5. Nilai tersebut merepresentasikan kategori tingkat kemungkinan kejadian dan tingkat keparahan dampak berdasarkan standar penilaian risiko keselamatan kerja. Dengan demikian, penggunaan distribusi diskrit dinilai lebih sesuai karena mampu menggambarkan kondisi nyata hasil observasi lapangan serta penilaian ahli secara langsung.

Meskipun demikian, penggunaan skala ordinal 1–5 pada metode HIRARC pada dasarnya bersifat subjektif karena didasarkan pada penilaian pakar (*expert judgment*). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan *Expert Elicitation* untuk mentransformasikan nilai ordinal tersebut menjadi fungsi probabilitas yang lebih representatif dalam analisis kuantitatif. Dalam pendekatan ini, nilai *likelihood* dan *severity* tidak lagi diperlakukan sebagai nilai tetap, melainkan dimodelkan menggunakan distribusi probabilitas seperti Distribusi Triangular yang dibentuk dari nilai minimum, paling mungkin, dan maksimum. Selain itu, Distribusi PERT juga dapat digunakan sebagai pengembangan yang memberikan pembobotan lebih pada nilai paling mungkin sehingga menghasilkan distribusi yang lebih realistis. Dengan demikian, transformasi ini memungkinkan proses pembangkitan bilangan acak (*random number generation*) dalam simulasi Monte Carlo dilakukan secara lebih ilmiah dan mampu merepresentasikan ketidakpastian berdasarkan pendapat pakar di lapangan.

Dalam penerapannya, distribusi probabilitas dibentuk berdasarkan data frekuensi kejadian yang kemudian dikonversi menjadi nilai probabilitas untuk setiap kategori. Probabilitas tersebut menunjukkan peluang relatif suatu kejadian dibandingkan dengan total kejadian yang diamati dalam sistem. Selain itu, digunakan konsep

Cumulative Distribution Function (CDF) untuk menggambarkan probabilitas kumulatif hingga suatu nilai tertentu. CDF berfungsi sebagai dasar dalam pemetaan nilai ke dalam kategori variabel yang sesuai berdasarkan probabilitas kumulatif yang telah ditentukan. Dengan adanya distribusi probabilitas dan CDF, proses pemodelan risiko dapat dilakukan secara lebih sistematis, terstruktur, dan mampu menghasilkan representasi yang lebih akurat terhadap kondisi nyata di lapangan.

Pemilihan distribusi probabilitas menjadi faktor penting dalam keberhasilan simulasi Monte Carlo. Distribusi yang digunakan harus mampu merepresentasikan kondisi nyata dari data yang dianalisis. Dalam penelitian ini, distribusi diskrit dipilih karena sesuai dengan karakteristik data *likelihood* dan *severity*. Data tersebut memiliki skala kategori yang terbatas sehingga lebih tepat dimodelkan secara diskrit. Dengan demikian, penggunaan distribusi probabilitas yang tepat akan meningkatkan kualitas hasil simulasi.

2.2. Penelitian Terdahulu

Dalam mendukung penelitian mengenai “Pengembangan Model Analisis Risiko K3 Proses Penggilingan Padi Menggunakan Metode HIRARC dan Simulasi Monte Carlo”, diperlukan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar perbandingan dan penguatan penelitian, diantaranya sebagai berikut :

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu (*State of the Art*)

No	Judul Penelitian	Peneliti & Tahun	Objek Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian ini
1	Penilaian Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada pekerjaan di Penggilingan Padi	Mayadilana, Nurvita, & Kurniawan (2025)	Industri penggilingan padi	HIRARC (<i>Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control</i>)	Ditemukan 21 potensi bahaya kerja dengan tingkat risiko tertinggi pada proses penggiling	Penelitian hanya melakukan identifikasi dan penilaian risiko secara statis menggunakan HIRARC tanpa

N o	Judul Penelitian	Peneliti & Tahun	Objek Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian ini
					an dan pengemasaan beras.	pengembangan model analisis risiko probabilistik atau simulasi ketidakpastian
2	Analisis Risiko K3 dengan metode identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan pengendalian (HIRARC) di Departemen Produksi Pupuk NPK PT X	Nuriah & Rudyarti (2024)	Industri produksi pupuk NPK	HIRARC dengan pendekatan kuantitatif deskriptif	Ditemukan 28 potensi bahaya kerja dan pengendalian risiko mampu menurunkan tingkat kecelakaan kerja secara signifikan	Penelitian belum mengintegrasikan analisis probabilistik seperti simulasi Monte Carlo untuk memprediksi variasi dan ketidakpastian risiko di masa mendatang
3	Implementasi keselamatan dan kesehatan kerja (K3) sebagai upaya perlindungan buruh pabrik penggilingan padi dalam menghadapi risiko kerja	Miranda (2025)	Industri penggilingan padi	Metode deskriptif kualitatif (observasi, wawancara, dokumentasi)	Penerapan K3 belum optimal, terutama pada penggunaan APD, pelatihan keselamatan, dan sistem identifikasi bahaya yang belum terstruktur	Penelitian belum menggunakan metode analisis risiko kuantitatif maupun model sistematis seperti HIRARC dan simulasi Monte Carlo
4	Penilaian Risiko dengan Simulasi Monte Carlo untuk Meningkatkan Keselamatan Konstruksi Jembatan	Hartono et al. (2025)	Proyek konstruksi jembatan	Simulasi Monte Carlo (10.000 iterasi)	Simulasi menghasilkan estimasi probabilitas risiko yang lebih realistis dibanding metode konvensional	Penilaian menggunakan Monte Carlo tetapi tidak dikombinasikan dengan metode identifikasi bahaya sistematis seperti

N o	Judul Penelitian	Peneliti & Tahun	Objek Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian ini HIRARC serta tidak diterapkan pada industri penggilingan padi
Sumber : Disusun oleh peneliti berdasarkan hasil kajian penelitian terdahulu (2026)						

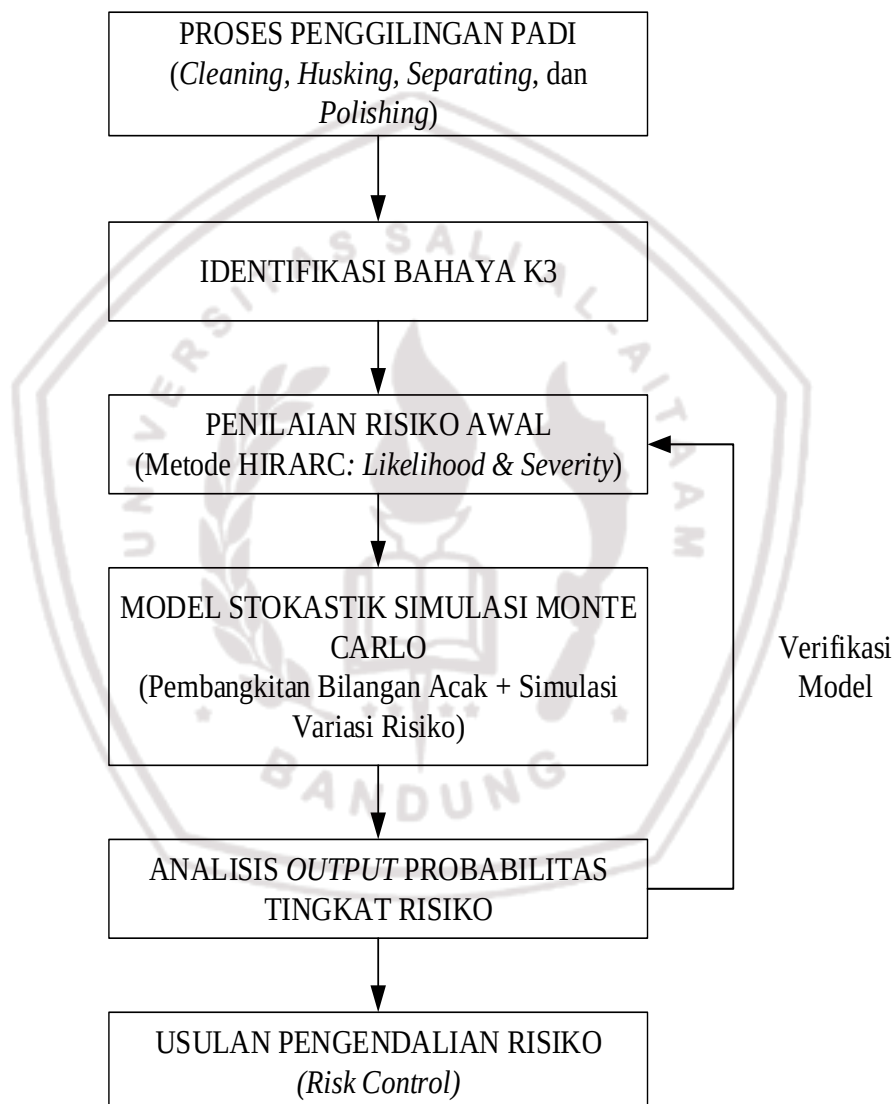
Berdasarkan hasil kajian penelitian terdahulu, metode HIRARC telah banyak digunakan untuk mengidentifikasi bahaya dan menilai tingkat risiko K3 secara sistematis. Namun, sebagian besar penelitian masih menghasilkan nilai risiko tunggal (*single risk value*) yang bersifat deterministik sehingga belum mampu menggambarkan variasi risiko akibat perubahan kondisi operasional seperti kapasitas produksi, durasi kerja, dan kepatuhan penggunaan APD. Keterbatasan tersebut menyebabkan hasil analisis risiko kurang representatif terhadap kondisi nyata di lapangan dan berpotensi mempengaruhi ketepatan pengambilan keputusan pengendalian risiko. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan model analisis risiko K3 melalui integrasi metode HIRARC dan simulasi Monte Carlo untuk menghasilkan distribusi probabilitas risiko sehingga mampu menggambarkan tingkat ketidakpastian risiko secara lebih realistis. Kontribusi ilmiah penelitian ini adalah menghasilkan model probabilistik padi yang dapat digunakan sebagai dasar pengendalian risiko yang lebih adaptif.

2.3. Kerangka Teori atau Konsep

Kerangka teori atau konsep merupakan gambaran alur berpikir penelitian yang menjelaskan hubungan antar variabel serta tahapan analisis yang digunakan dalam menjawab rumusan masalah penelitian. Kerangka ini disusun berdasarkan kajian teori dan penelitian terdahulu yang relevan sehingga dapat menunjukkan proses penelitian secara sistematis dan terarah. Melalui kerangka konsep, peneliti dapat menjelaskan bagaimana identifikasi

bahaya, penilaian risiko, hingga penentuan usulan pengendalian risiko dilakukan secara terintegrasi.

Adapun kerangka konsep dalam penelitian ini menggambarkan alur Pengembangan Model Analisis Risiko K3 Proses Penggilingan Padi Menggunakan Metode HIRARC dan Simulasi Monte Carlo. Kerangka tersebut dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 2.1 Kerangka Konsep

Sumber: Disusun oleh peneliti (2026)

Berdasarkan Gambar 2.1 , penelitian diawali dengan pengkajian proses penggilingan padi yang meliputi tahapan *cleaning*, *husking*, *separating*, dan

polishing sebagai objek utama analisis operasional. Setiap tahapan proses dianalisis untuk mengidentifikasi potensi bahaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang bersifat spesifik sesuai karakteristik aktivitas kerja. Pada tahap *cleaning* terdapat potensi paparan debu dan partikel halus yang dapat mengganggu sistem pernapasan pekerja, pada proses *husking* muncul risiko kebisingan dan kontak dengan komponen mesin berputar, tahap *separating* berpotensi menimbulkan bahaya terpeleset akibat tumpahan material, sedangkan pada proses *polishing* terdapat risiko terjepit atau tersangkut pada bagian mesin yang bergerak. Identifikasi bahaya ini bertujuan untuk memperoleh gambaran nyata mengenai sumber risiko yang dapat mengancam keselamatan pekerja maupun lingkungan kerja.

Selanjutnya dilakukan penilaian risiko awal menggunakan metode HIRARC melalui pengukuran tingkat kemungkinan kejadian (*likelihood*) dan tingkat keparahan dampak (*severity*) sehingga diperoleh tingkat risiko awal pada masing-masing aktivitas kerja. Hasil penilaian ini kemudian menjadi *input* dalam model stokastik simulasi Monte Carlo yang digunakan untuk menggambarkan variasi dan probabilitas tingkat risiko secara lebih dinamis melalui pembangkitan bilangan acak. *Output* simulasi menghasilkan distribusi probabilitas tingkat risiko yang tidak hanya menunjukkan nilai risiko rata-rata, tetapi juga tingkat ketidakpastian risiko yang mungkin terjadi. Dalam kerangka konsep ini, hasil simulasi Monte Carlo berfungsi sebagai mekanisme verifikasi model melalui *feedback loop* yang menghubungkan kembali *output* simulasi dengan tahap penilaian risiko awal, sehingga memungkinkan evaluasi dan penyempurnaan parameter *likelihood* dan *severity* agar hasil analisis semakin representatif terhadap kondisi nyata.

Tahap akhir penelitian adalah penyusunan usulan pengendalian risiko (*risk control*) berdasarkan hasil integrasi analisis HIRARC dan simulasi Monte Carlo. Rekomendasi pengendalian disusun sesuai hirarki pengendalian risiko guna meminimalkan potensi bahaya serta meningkatkan tingkat keselamatan dan kesehatan kerja pada proses penggilingan padi secara berkelanjutan. Integrasi metode HIRARC dan simulasi Monte Carlo dalam penelitian ini

diharapkan mampu meningkatkan kualitas analisis risiko. Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan nilai risiko, tetapi juga distribusi probabilitas dari risiko tersebut. Dengan demikian, hasil analisis menjadi lebih representatif terhadap kondisi nyata di lapangan. Selain itu, model yang dihasilkan bersifat lebih adaptif terhadap perubahan kondisi operasional. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem manajemen risiko K3.

