E-ISSN: 3025-0994
Halaman 4635-4644
Volume 4 Nomor 3 Tahun 2026

Mitigasi Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja Produksi Krimer Menggunakan House of Risk

Muhammad Farhan Hanafi[1], Andarmadi Jati Abdhi Wasesa[2]

[1,2] Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya
e-mail: mfarhanhanafi38@gmail.com ; andarmadi15@gmail.com

Abstrak

Proses produksi krimer bubuk memiliki karakteristik bahaya yang kompleks karena melibatkan bahan berbentuk serbuk halus, mesin bertekanan, temperatur tinggi, bahan kimia pembersih, perpindahan material, dan aktivitas manual berulang. Kondisi tersebut menuntut pemetaan risiko yang tidak hanya menilai kejadian kecelakaan, tetapi juga memprioritaskan penyebab yang mampu memicu beberapa kejadian sekaligus. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kejadian dan agen risiko keselamatan dan kesehatan kerja, menentukan agen risiko prioritas, serta menyusun urutan strategi mitigasi pada proses produksi PT. XYZ. Penelitian menggunakan studi kasus deskriptif dengan data kualitatif dan kuantitatif. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan kuesioner terhadap 25 responden yang dipilih secara purposif dari area penerimaan bahan, pencampuran, pengeringan semprot, produksi, pengemasan, laboratorium pengendalian mutu, dan fungsi keselamatan kerja. Analisis dilakukan menggunakan House of Risk dua fase. Hasil penelitian mengidentifikasi 16 kejadian risiko dan 16 agen risiko. Agen dengan Aggregate Risk Potential tertinggi adalah paparan debu halus bahan baku dengan nilai 470, diikuti sumber percikan dari gumpalan krimer hangus dengan nilai 369. Sepuluh agen prioritas menyumbang 87,88% dari total potensi risiko agregat. Pada fase mitigasi, prosedur Clean as You Go memperoleh nilai Effectiveness to Difficulty tertinggi sebesar 3.033, disusul penggunaan alat pelindung diri lengkap sebesar 1.896 dan pelatihan pengangkatan manual sebesar 1.611. Temuan menunjukkan bahwa pengendalian segera berbasis kebersihan area dan kepatuhan pekerja perlu dipadukan dengan investasi rekayasa berupa pengendalian debu dan proteksi kebakaran. Pendekatan bertahap tersebut memberikan dasar operasional bagi perusahaan untuk mengalokasikan sumber daya keselamatan secara lebih terarah.

Kata Kunci: Keselamatan Dan Kesehatan Kerja; House Of Risk; Industri Pangan; Mitigasi Risiko; Debu Mudah Terbakar

Abstract

Powdered creamer production involves complex occupational hazards because it combines fine combustible materials, pressurized equipment, high temperatures, cleaning chemicals, material transfer, and repetitive manual work. These conditions require risk mapping that evaluates not only accident events but also the causal agents capable of triggering multiple events. This study aimed to identify occupational safety and health risk events and agents, determine priority risk agents, and rank mitigation strategies for the production process at PT. XYZ. A descriptive case-study design integrating qualitative and quantitative data was applied. Data were collected through workplace observations, interviews, and questionnaires involving 25 purposively selected respondents from receiving, mixing, spray-drying, production, packaging, quality-control laboratory, and safety functions. The analysis used the two-phase House of Risk method. The study identified 16 risk events and 16 risk agents. Fine raw-material dust exposure generated the highest Aggregate Risk Potential score of 470, followed by

ignition from scorched creamer deposits with a score of 369. The ten priority agents accounted for 87.88% of the total aggregate risk potential. In the mitigation phase, the Clean as You Go procedure achieved the highest Effectiveness to Difficulty score of 3,033, followed by complete personal protective equipment at 1,896 and manual-handling training at 1,611. The findings indicate that immediate controls based on housekeeping and worker compliance should be integrated with engineering investments in dust capture and fire protection. This phased control portfolio provides an operational basis for directing occupational safety resources toward interventions with high risk-reduction value and feasible implementation.

Keywords: Occupational Safety And Health; House Of Risk; Food Industry; Risk Mitigation; Combustible Dust

LATAR BELAKANG

Produksi krimer nabati merupakan sistem proses berurutan yang mencakup penerimaan dan penimbangan bahan, pencampuran glukosa, minyak nabati dan serbuk, emulsifikasi, pengeringan menggunakan spray dryer, pendinginan, penyaringan, serta pengemasan. Di satu sisi, kontinuitas proses tersebut menentukan mutu dan kapasitas produksi; di sisi lain, penggunaan mesin bertekanan, permukaan panas, bahan kimia pembersih, alat angkut, dan penanganan karung menciptakan paparan bahaya yang saling berhubungan. Pada industri pangan, pengelolaan keselamatan tidak cukup ditempatkan sebagai kepatuhan administratif, tetapi perlu terintegrasi dengan stabilitas proses, higiene area kerja, dan keandalan fasilitas (Rohimat, 2022). Karakteristik bahan berbentuk serbuk juga meningkatkan perhatian terhadap paparan inhalasi, penyebaran partikulat, dan akumulasi debu pada peralatan maupun lantai produksi (Iwuozor et al., 2024).

Bahaya debu pada proses pangan memiliki dua dimensi penting. Pertama, partikel halus yang terdispersi dapat mengiritasi mata dan saluran pernapasan serta menurunkan visibilitas dan kenyamanan kerja. Kedua, endapan bahan organik yang terangkat kembali ke udara dapat membentuk atmosfer mudah terbakar apabila bertemu sumber penyalaan. Kajian eksperimental menunjukkan bahwa ukuran, kemampuan dispersi, konsentrasi awan, dan energi penyalaan merupakan parameter penting dalam bahaya ledakan debu (Bu et al., 2023; Castells et al., 2023; Kukfisz & Piec, 2021; Tian et al., 2025; Zhong et al., 2024). Selain bahaya debu, proses produksi juga menghadirkan risiko terpeleset karena tumpahan, cedera akibat pengangkatan manual, paparan reagen, kebisingan, listrik, dan ruang sempit. Penelitian HIRADC pada area manufaktur menunjukkan bahwa identifikasi bahaya dapat menghasilkan beberapa kategori risiko, tetapi prioritas pengendalian tetap bergantung pada cara keterkaitan antara kejadian dan penyebab dianalisis (Irawan et al., 2025).

Pendekatan House of Risk (HOR) menawarkan perspektif proaktif dengan menghubungkan kejadian risiko dan agen penyebabnya. HOR Fase I menggunakan tingkat keparahan, peluang kemunculan, dan kekuatan hubungan untuk menghitung Aggregate Risk Potential (ARP), sedangkan HOR Fase II membandingkan efektivitas tindakan dengan tingkat kesulitan implementasinya. Model tersebut awalnya dikembangkan untuk manajemen risiko rantai pasok (Pujawan & Geraldin, 2009), kemudian digunakan pada berbagai konteks manufaktur dan operasi untuk menyeleksi agen risiko serta aksi pencegahan yang memberikan manfaat lintas kejadian (Abryandoko & Mushthofa, 2020; Kurniawan et al., 2021; Palengka et al., 2024; Prasetyo et al., 2022; Ramadhan et al., 2025). Pengembangan mutakhir juga menunjukkan bahwa struktur HOR dapat dipadukan dengan faktor manusia dan hierarki pengendalian untuk penilaian risiko keselamatan yang lebih sistematis (Sudiarno et al., 2025). Namun, bukti penerapannya pada risiko K3 proses krimer bubuk masih terbatas, khususnya dalam menautkan risiko debu, sumber penyalaan, ergonomi, dan kelayakan tindakan dalam satu kerangka prioritas.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, pertanyaan penelitian ini adalah: kejadian dan agen risiko apa yang terdapat pada proses produksi PT. XYZ; agen risiko mana yang menjadi prioritas berdasarkan nilai ARP; dan strategi mitigasi apa yang paling layak diprioritaskan berdasarkan rasio efektivitas terhadap kesulitan? Penelitian bertujuan mengidentifikasi kejadian serta agen risiko, menentukan urutan agen prioritas melalui HOR Fase I, dan menyusun portofolio mitigasi melalui HOR Fase II. Kontribusi ilmiahnya terletak pada penerapan HOR sebagai perangkat integratif K3 pada industri pangan berbasis serbuk, sedangkan kontribusi praktisnya berupa urutan tindakan jangka pendek dan jangka menengah yang dapat digunakan perusahaan dalam pengalokasian sumber daya keselamatan.

METODE

Penelitian menggunakan desain studi kasus deskriptif dengan integrasi data kualitatif dan kuantitatif. Lokasi penelitian adalah area produksi krimer PT. XYZ di Surabaya dan pengumpulan data dilaksanakan pada Januari-Mei 2026. Informan ditentukan melalui purposive sampling sebanyak 25 orang dari fungsi penerimaan bahan, mixing, spray dryer, produksi, packing, laboratorium quality control, dan HSE/K3. Kriteria responden meliputi keterlibatan pada proses sebelum, selama, atau setelah produksi; masa kerja sekurang-kurangnya dua tahun; serta jabatan operator, staf, supervisor produksi, administrasi quality control, atau personel HSE yang memahami kondisi aktual dan riwayat kejadian kerja.

Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap alur kerja dan kondisi area, wawancara terstruktur mengenai bahaya dan penyebabnya, serta kuesioner penilaian. Kejadian risiko dinilai menggunakan skala severity 1-5, sedangkan agen risiko dinilai menggunakan skala occurrence 1-5. Hubungan antara setiap kejadian dan agen diberi skor 0, 1, 3, atau 9 untuk merepresentasikan tidak ada, lemah, sedang, dan kuat. Butir kuesioner disusun dari data historis HSE dan hasil penelusuran lapangan; seluruh butir yang digunakan memiliki koefisien validitas di atas nilai r tabel 0,369.

Analisis dilakukan dalam dua fase. Pada HOR Fase I, nilai ARP setiap agen dihitung dari hasil perkalian occurrence dengan jumlah tertimbang severity dan hubungan agen-kejadian. Agen kemudian diurutkan dan sepuluh nilai tertinggi dibawa ke HOR Fase II. Pada fase kedua, setiap strategi dinilai berdasarkan hubungan dengan agen prioritas untuk memperoleh total effectiveness (TEk), tingkat kesulitan penerapan (Dk), dan rasio Effectiveness to Difficulty (ETD = TEk/Dk). Strategi dengan ETD tertinggi diposisikan sebagai tindakan awal. Penelitian membatasi analisis pada risiko operasional area produksi dan tidak menghitung kelayakan finansial atau penghematan ekonomi dari setiap usulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil kejadian dan agen risiko

Pemetaan lapangan menghasilkan 16 kejadian risiko yang mencakup bahaya mekanis, fisik, kimia, ergonomi, listrik, kebakaran, dan kondisi ruang kerja. Dua kejadian dengan severity tertinggi adalah iritasi saluran pernapasan hingga sesak napas (E5) dan iritasi mata akibat debu bubuk krimer yang beterbangan (E8), masing-masing bernilai 5. Temuan tersebut menunjukkan bahwa debu bukan bahaya lokal pada satu mesin, melainkan paparan lintas area sejak pemeriksaan bahan baku, mixing, spray drying, hingga packing. Kejadian dengan severity 4 berupa terpeleset atau jatuh akibat lantai licin (E2) dan cedera otot atau pinggang karena posisi statis (E3) memperlihatkan bahwa risiko proses dan risiko perilaku kerja berlangsung secara bersamaan.

Sebaran kejadian juga memperlihatkan sifat domino. Debu yang lolos dari titik pemeriksaan dapat menimbulkan iritasi, mengendap di permukaan, meningkatkan kebutuhan pembersihan, dan pada kondisi tertentu berinteraksi dengan sumber panas. Tumpahan minyak atau bahan cair bukan hanya menyebabkan pekerja terpeleset, tetapi dapat mengganggu jalur evakuasi dan memperbesar paparan ketika respons darurat diperlukan.

Sementara itu, kesalahan penanganan material dapat menyebabkan cedera akut sekaligus akumulasi gangguan muskuloskeletal. Karena satu kondisi dapat menghasilkan beberapa konsekuensi, pencatatan insiden yang hanya berorientasi pada akibat akhir berisiko mengaburkan akar penyebab yang berulang.

Dari sudut pengendalian, temuan severity juga menunjukkan perlunya keseimbangan antara pencegahan penyakit akibat kerja dan kecelakaan akut. E5 dan E8 membutuhkan pengendalian paparan berkelanjutan, sedangkan E7, E9, E10, dan E16 memerlukan kesiapan terhadap kejadian berenergi tinggi meskipun frekuensinya lebih rendah. Artinya, prioritas tidak boleh hanya mengikuti jumlah keluhan atau insiden yang pernah tercatat. Keparahan potensial, luas paparan, dan kemungkinan satu agen memicu berbagai kejadian harus dinilai secara simultan, yang kemudian menjadi dasar penggunaan HOR pada tahap berikutnya.

Tabel 1. Kejadian risiko pada proses produksi PT. XYZ

Kode	Kejadian risiko	Severity
E1	Tertabrak forklift atau alat angkut saat bongkar muat	1
E2	Terpeleset atau terjatuh berulang akibat lantai licin	4
E3	Cedera otot atau pinggang akibat posisi statis terlalu lama	4
E4	Tertimpa palet atau barang yang disusun terlalu tinggi	2
E5	Iritasi saluran pernapasan hingga sesak napas	5
E6	Terjepit atau tersayat bilah pengaduk (agitator)	2
E7	Luka bakar dari dinding tangki mixing atau pipa uap	2
E8	Iritasi mata akibat debu bubuk krimer beterbangan	5
E9	Luka bakar kimia atau iritasi akibat cairan reagen	2
E10	Tersengat listrik dari kabel terkelupas	2
E11	Gangguan pendengaran akibat kebisingan mesin	3
E12	Gangguan akibat getaran tangan-lengan	2
E13	Terbentur instalasi pipa rendah atau menonjol	3
E14	Cedera punggung/carpal tunnel saat mengangkat karung	3
E15	Tersayat alat gelas atau kaca yang retak	2
E16	Iritasi mata dan wajah akibat percikan cairan panas	3

Identifikasi penyebab menghasilkan 16 agen risiko. Nilai occurrence tertinggi terdapat pada A5, yaitu debu halus bahan baku saat pengecekan fisik, dengan skor 5. A14, yaitu kesalahan pengangkatan bahan lebih dari 25 kg secara manual dan berulang, memperoleh skor 4. Sejumlah agen lain memiliki occurrence 3, termasuk tumpahan material, postur statis, percikan dari gumpalan krimer hangus, ventilasi yang belum memadai, peralatan yang tidak sesuai standar, dan kebisingan mesin. Pola ini menegaskan bahwa paparan tidak hanya bersumber dari kegagalan teknis, tetapi juga dari interaksi antara desain area, prosedur, perilaku, dan pemeliharaan. Persepsi pekerja terhadap perilaku tidak aman dapat bias apabila pengalaman sehari-hari membuat bahaya tampak normal, sehingga data pekerja perlu dibaca bersama bukti observasional dan kondisi teknis (Qiu et al., 2024).

Prioritas agen risiko berdasarkan HOR Fase I

Perhitungan HOR Fase I menghasilkan total ARP sebesar 2.723. Sepuluh agen teratas menyumbang ARP 2.393 atau 87,88% dari keseluruhan potensi risiko agregat. Konsentrasi

tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar paparan dapat ditangani melalui fokus pada kelompok penyebab yang relatif terbatas. A5 menempati peringkat pertama dengan ARP 470, disusul A7 sebesar 369, A13 sebesar 316, A14 sebesar 284, dan A3 sebesar 222. Dengan demikian, prioritas tidak hanya ditentukan oleh frekuensi. A7, misalnya, memiliki occurrence 3 tetapi memperoleh ARP tinggi karena berhubungan dengan beberapa kejadian berkeparahan tinggi dan potensi kebakaran.

Nilai ARP tidak dibaca sebagai probabilitas absolut, tetapi sebagai indeks prioritas relatif. Agen dengan occurrence sedang dapat mengungguli agen yang lebih sering apabila keterkaitannya kuat dengan kejadian yang berat. Sebaliknya, agen yang hanya terkait dengan satu kejadian berkeparahan rendah akan memperoleh nilai lebih kecil. Mekanisme ini mengurangi kecenderungan organisasi untuk memusatkan perhatian hanya pada masalah yang paling sering terlihat dan membantu mengungkap penyebab sistemik yang berpotensi menghasilkan kerugian lebih luas.

Tabel 2. Nilai occurrence, ARP, dan peringkat agen risiko

Kode	Agen risiko	Occ.	ARP	Rank
A1	Jalur forklift dan SOP penggunaannya kurang memadai	1	20	15
A2	Tumpahan minyak atau bubuk membuat lantai licin	3	204	6
A3	Posisi duduk salah dan statis dalam waktu lama	3	222	5
A4	Rak penyimpanan kurang stabil/berstandar	2	108	10
A5	Debu halus bahan baku saat pengecekan fisik	5	470	1
A6	Kelalaian memahami SOP pembersihan/pengecekan	1	18	16
A7	Percikan dari gumpalan krimer hangus di chamber	3	369	2
A8	Sistem ventilasi belum memenuhi standar	3	189	7
A9	Kelalaian saat pengujian dengan cairan reagen	1	119	8
A10	Pemilihan alat belum memenuhi standar SNI	3	102	11
A11	Kebisingan pompa/motor melampaui 85 dB	3	60	14
A12	Penggunaan alat bergetar terlalu sering	2	66	12
A13	Sarana keselamatan ruang sempit kurang memadai	2	316	3
A14	Pengangkatan beban >25 kg secara salah dan berulang	4	284	4
A15	Pengetahuan penyimpanan limbah belum memadai	2	64	13
A16	Inspeksi mesin bertekanan belum memadai	2	112	9

Dominasi A5 konsisten dengan karakter serbuk organik yang mudah terdispersi. Semakin halus dan mudah tersebar suatu serbuk, semakin besar kemungkinan terbentuknya awan debu dan paparan inhalasi, sehingga pengendalian pada titik sumber lebih penting daripada hanya membersihkan endapan setelah menyebar (Bu et al., 2023; Iwuozor et al., 2024). A7 memperlihatkan hubungan antara kebersihan internal chamber, deposit material, kondisi termal, dan sumber penyalaan. Literatur mengenai ledakan debu menekankan bahwa bahan mudah terbakar, oksigen, dispersi, ruang terkonfinasi, dan sumber penyalaan membentuk kombinasi yang harus diputus melalui pencegahan berlapis (Castells et al., 2023; Tian et al., 2025; Zhong et al., 2024). Oleh karena itu, A5 dan A7 seharusnya diperlakukan sebagai satu klaster bahaya proses: pengendalian debu menurunkan paparan kesehatan sekaligus mengurangi inventori bahan bakar yang dapat menyala.

Peringkat A13, A14, dan A3 memperluas fokus dari bahaya proses menuju desain kerja. Keterbatasan sarana di ruang sempit dapat memperbesar konsekuensi benturan,

menghambat evakuasi, dan menyulitkan intervensi ketika terjadi kebocoran atau kebakaran. Pengangkatan manual dan postur statis menunjukkan bahwa gangguan muskuloskeletal dapat menjadi risiko kumulatif meskipun tidak selalu tercatat sebagai kecelakaan akut. Temuan ini relevan dengan studi faktor manusia yang menunjukkan bahwa kompetensi, komunikasi, kepraktisan prosedur, dan pengelolaan pemeliharaan memengaruhi kemampuan organisasi dalam mencegah kecelakaan (Gonyora & Ventura-Medina, 2024; Musavi et al., 2024). Dengan demikian, prioritas HOR tidak boleh ditafsirkan semata-mata sebagai daftar bahaya, melainkan sebagai peta intervensi terhadap sistem sosio-teknis.

Prioritas strategi mitigasi berdasarkan HOR Fase II

Sepuluh strategi disusun untuk merespons agen prioritas. P7, yaitu penerapan prosedur Clean as You Go, memiliki ETD tertinggi sebesar 3.033. P1 berupa penggunaan alat pelindung diri lengkap berada pada peringkat kedua dengan ETD 1.896, sedangkan P6 berupa pelatihan pengangkatan manual berada pada peringkat ketiga dengan ETD 1.611. P4, yaitu pemasangan dust collector atau local exhaust ventilation, sensor karbon monoksida, dan sistem water deluge, menghasilkan total effectiveness tertinggi sebesar 7.374 tetapi berada pada peringkat keempat karena tingkat kesulitan 5. Perbedaan ini penting: TEk menggambarkan luasnya dampak pengendalian, sedangkan ETD menunjukkan seberapa realistis tindakan diprioritaskan dalam kondisi sumber daya saat ini.

Penyusunan tindakan mempertimbangkan hierarki pengendalian dan kemampuan implementasi perusahaan. Strategi tidak dibatasi pada administrasi dan APD, tetapi mencakup rekayasa ventilasi, proteksi kebakaran, perawatan mesin, perbaikan tata letak, serta alat bantu material. Hubungan setiap tindakan dengan agen prioritas dinilai untuk menangkap manfaat lintas risiko. Dengan cara ini, satu intervensi seperti P7 dapat memperoleh nilai tinggi karena berdampak pada paparan debu, tumpahan, kebakaran, dan keteraturan area, sementara tindakan yang sangat spesifik mungkin memiliki efektivitas tinggi tetapi cakupan lebih sempit atau kesulitan lebih besar.

Tabel 3. Prioritas aksi mitigasi HOR Fase II

Kode	Aksi mitigasi	TEk	Dk	ETD	Rank
P1	APD lengkap: respirator N95, sarung tangan, goggles/face shield, sepatu anti-slip	3.792	2	1.896	2
P2	Material berstandar dan fume hood untuk bahan kimia berbahaya	3.675	3	1.225	5
P3	Inspeksi rutin kekuatan dan tekanan mesin	2.325	2	1.163	6
P4	Dust collector/LEV, sensor CO, dan sistem water deluge	7.374	5	1.475	4
P5	Rotasi kerja dan jeda pemulihan berkala	4.911	5	982	8
P6	Pelatihan teknik pengangkatan manual yang aman	3.222	2	1.611	3
P7	Clean as You Go untuk tumpahan dan kebocoran material	6.066	2	3.033	1
P8	Marka lantai, spill kit anti-slip, dan pelindung objek rendah	3.327	3	1.109	7
P9	Vacuum lifter atau conveyor untuk beban lebih dari 25 kg	2.892	5	578	10
P10	Penyesuaian tata letak/ketinggian kerja dan eyewash station	4.434	5	887	9

Keunggulan P7 berasal dari cakupan lintas bahaya dan kemudahan penerapan. Pembersihan segera terhadap kebocoran atau tumpahan mengurangi lantai licin, menekan penyebaran debu, mencegah penumpukan bahan di sekitar sumber panas, dan memperbaiki

visibilitas area. Namun, Clean as You Go tidak boleh direduksi menjadi slogan kebersihan. Efektivitasnya memerlukan definisi pemicu tindakan, penempatan alat pembersih yang aman untuk debu mudah terbakar, pembagian tanggung jawab, mekanisme pelaporan, dan inspeksi supervisor. Praktik ini juga harus menghindari metode yang justru menerbangkan debu kembali ke udara. Hubungan antara iklim keselamatan dan perilaku kerja menunjukkan bahwa konsistensi aturan, teladan pimpinan, dan umpan balik merupakan prasyarat agar prosedur benar-benar menjadi kebiasaan (Djunaidi et al., 2024; Hertanto et al., 2023).

P1 memberikan pengendalian residu yang segera, terutama terhadap inhalasi, iritasi mata, kontak kimia, dan risiko terpeleset. Meskipun demikian, APD berada pada lapisan akhir hierarki pengendalian dan keberhasilannya bergantung pada pemilihan spesifikasi, kecocokan, perawatan, ketersediaan, serta disiplin penggunaan. Kombinasi P7 dan P1 layak ditempatkan sebagai paket 0-3 bulan karena tidak memerlukan perubahan fasilitas besar. P6 juga dapat dijalankan pada fase yang sama melalui pelatihan berbasis praktik, evaluasi teknik angkat, pembatasan beban, dan pengawasan pekerjaan berulang. Pendekatan tersebut mengurangi risiko A14 dan A3, tetapi perlu ditingkatkan menuju penggunaan alat bantu seperti P9 apabila paparan tidak dapat diterima.

P4 tetap menjadi intervensi strategis karena menyasar akar masalah A5, A7, dan A8. Sistem LEV yang dirancang tepat mampu menangkap kontaminan di dekat sumber; kinerjanya dipengaruhi tipe hood, debit, jarak pemasangan, gangguan aliran, dan pemeliharaan (Rahimi et al., 2021; Zhang et al., 2024). Pada konteks PT. XYZ, dust collector atau LEV perlu didahului pengukuran karakteristik debu, titik emisi, kebutuhan capture velocity, dan evaluasi bahaya kebakaran. Sensor CO dan water deluge berfungsi sebagai proteksi aktif, tetapi tidak menggantikan pencegahan endapan dan kontrol sumber penyalaan. Pengalaman perawatan dust collector menunjukkan bahwa kegagalan komponen dan operasi abnormal dapat muncul ketika pemeliharaan tidak terencana, sehingga P4 harus terintegrasi dengan P3 berupa inspeksi rutin dan program keandalan (Fauliyadi et al., 2021).

Secara akademik, hasil ini menunjukkan dua nilai tambah HOR untuk analisis K3. Pertama, ARP memungkinkan satu agen dinilai berdasarkan kontribusinya terhadap beberapa kejadian, sehingga pengendalian tidak terfragmentasi berdasarkan jenis kecelakaan. Kedua, ETD memisahkan daya reduksi risiko dari kemudahan implementasi. Tindakan dengan efektivitas teknis terbesar belum tentu menjadi tindakan pertama, tetapi tetap dapat ditempatkan dalam peta jalan investasi. Temuan tersebut sejalan dengan studi HOR pada konteks operasi lain yang menekankan pemilihan tindakan proaktif berdasarkan hubungan sebab-akibat dan kemampuan sumber daya (Kurniawan et al., 2021; Palengka et al., 2024; Prasetyo et al., 2022; Ramadhan et al., 2025). Dibandingkan penilaian yang berhenti pada kategori rendah-sedang-tinggi, pendekatan ini menghasilkan portofolio bertahap: penguatan housekeeping, APD, dan kompetensi sebagai quick wins; inspeksi serta penataan area sebagai pengendalian menengah; dan kontrol rekayasa debu, proteksi kebakaran, serta alat bantu material sebagai investasi struktural.

Urutan tersebut tidak berarti perusahaan menunda bahaya kritis sampai seluruh tindakan murah selesai. Ketika verifikasi teknis menunjukkan potensi atmosfer eksplosif atau kegagalan proteksi, pengendalian sementara, pembatasan operasi, dan tindakan rekayasa harus dipercepat. Karena itu, HOR sebaiknya digunakan sebagai alat pengambilan keputusan yang dinamis: nilai severity, occurrence, hubungan, dan tingkat kesulitan perlu ditinjau kembali setelah perubahan proses, insiden, near miss, atau pemasangan fasilitas baru. Integrasi pemantauan teknis dan pelaporan pekerja dapat mengurangi bias penilaian serta mempertahankan relevansi prioritas dari waktu ke waktu.

Implikasi implementasi dan evaluasi pengendalian

Portofolio mitigasi dapat diterjemahkan menjadi tiga horizon implementasi. Horizon segera berfokus pada P7, P1, dan P6 karena ketiganya memiliki ETD tinggi dan dapat dimulai melalui penguatan SOP, ketersediaan peralatan, briefing, serta verifikasi lapangan. Horizon menengah mencakup P2, P3, dan P8 untuk menutup kesenjangan pada bahan kimia, integritas mesin, jalur kerja, dan respons tumpahan. Horizon struktural mencakup P4, P9, dan

P10 yang membutuhkan studi teknik, pengadaan, modifikasi fasilitas, dan validasi kinerja. P5 dapat diterapkan lintas horizon berdasarkan hasil penilaian beban kerja dan pola kelelahan.

Tahap segera harus menghasilkan bukti implementasi, bukan hanya dokumen. Indikator proses yang relevan meliputi persentase tumpahan yang ditangani sesuai target waktu, kepatuhan penggunaan respirator dan pelindung mata, jumlah temuan housekeeping, partisipasi pelatihan, dan hasil observasi teknik pengangkatan. Indikator hasil dapat berupa tren keluhan mata dan pernapasan, kejadian terpeleset, near miss, serta jumlah deposit material pada titik kritis. Penggunaan indikator leading dan lagging secara bersama-sama membantu perusahaan mendeteksi penurunan pengendalian sebelum terjadi kecelakaan serius.

Tahap rekayasa memerlukan baseline yang lebih objektif. Sebelum memasang LEV atau dust collector, perusahaan perlu memetakan titik emisi, mengukur konsentrasi debu dan pola aliran, mengidentifikasi karakteristik mudah terbakar, serta menentukan kriteria penerimaan. Sesudah pemasangan, verifikasi harus mencakup capture velocity, tekanan statis, kondisi filter, kebocoran ducting, kebersihan area, alarm, dan jadwal perawatan. Untuk proteksi kebakaran, pengujian fungsi sensor, interlock, water deluge, dan prosedur respons harus didokumentasikan. Evaluasi tersebut mencegah investasi besar berubah menjadi kontrol simbolik yang tidak konsisten dengan bahaya aktual.

Tanggung jawab implementasi perlu dibagi secara jelas. Tim HSE bertindak sebagai koordinator risiko dan pengawas kepatuhan; produksi memastikan prosedur dapat dijalankan tanpa menciptakan deviasi proses; maintenance menjaga integritas peralatan dan sistem ventilasi; quality control menilai dampak perubahan terhadap mutu produk; sedangkan manajemen menyediakan sumber daya dan menetapkan toleransi risiko. Keterlibatan pekerja tetap penting karena mereka mengamati variasi proses harian yang tidak selalu tertangkap saat audit. Mekanisme pelaporan sederhana, tanpa sanksi terhadap pelapor, dapat memperkaya pembaruan skor HOR dan memperkuat pembelajaran organisasi.

Tabel 4. Peta jalan implementasi dan indikator evaluasi

Horizon	Prioritas	Fokus implementasi	Indikator utama
0-3 bulan	P7, P1, P6	SOP Clean as You Go; APD sesuai bahaya; pelatihan angkat	Waktu respons tumpahan; kepatuhan APD; hasil observasi teknik angkat
3-9 bulan	P2, P3, P8	Fume hood/material standar; inspeksi tekanan; marka dan spill kit	Temuan inspeksi; penyelesaian tindakan; near miss area kerja
6-18 bulan	P4, P9, P10	LEV/dust collector; proteksi kebakaran; alat bantu dan redesign	Konsentrasi debu; kinerja ventilasi; uji alarm; penurunan manual handling
Berkala	P5 dan review HOR	Rotasi/jeda kerja; penilaian ulang setelah perubahan proses	Keluhan kelelahan; tren ARP/ETD; efektivitas tindakan korektif

SIMPULAN

Penelitian mengidentifikasi 16 kejadian dan 16 agen risiko. Debu halus bahan baku (ARP 470) dan percikan deposit krimer hangus (ARP 369) menjadi penyebab utama. Clean as You Go (ETD 3.033), APD lengkap (1.896), dan pelatihan pengangkatan manual (1.611) menjadi prioritas awal; LEV/dust collector serta proteksi kebakaran merupakan investasi rekayasa penting. HOR mengintegrasikan hubungan penyebab, dampak, dan kelayakan tindakan untuk mendukung pengendalian bertahap. Keterbatasan penelitian meliputi satu perusahaan, 25 responden purposif, dan belum adanya analisis biaya. Penelitian selanjutnya

perlu mengukur risiko pascaintervensi, memperluas area, serta membandingkan HOR dengan HIRADC, FMEA, atau Bow-Tie.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen dan pekerja PT. XYZ serta Program Studi Teknik Industri Universitas PGRI Adi Buana Surabaya atas dukungan data dan fasilitasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Abryandoko, E. W. & Mushthofa, M. 2020. Strategi Mitigasi Risiko Supply Chain Dengan Metode House Of Risk. Rekayasa Sipil, 14(1).

Bu, Y., Addo, A., Amyotte, P. & Yuan, C. 2023. Classification Of Dispersibility For Combustible Dust Based On Hausner Ratio. Journal Of Loss Prevention In The Process Industries, 81: 104925. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jlp.2022.104925.

Castells, B., Amez, I., Leon, D. & Garcia-Torrent, J. 2023. Coloured Powder Potential Dust Explosions. Journal Of Loss Prevention In The Process Industries, 83: 105014. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jlp.2023.105014.

Djunaidi, Z., Wirawan, M., Susilowati, I. H., Khaliwa, A. M. & Kanigara, S. A. 2024. Safety Climate Transformation In Oil And Gas Company Ownership Transition: Study Case From Multinational To National Company. Safety And Health At Work, 15(3): 292-299. Https://Doi.Org/10.1016/J.Shaw.2024.04.009.

Fauliyadi, Nalhadi, A., Cahyadi, D., Sucipto, E. H. & Supriyadi. 2021. Perencanaan Sistem Perawatan Mesin Dust Collector PECS ID Fan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance. JENIUS: Jurnal Terapan Teknik Industri, 2(1): 30-40. Https://Doi.Org/10.37373/Jenius.V2i1.102.

Gonyora, M. & Ventura-Medina, E. 2024. Investigating The Relationship Between Human And Organisational Factors, Maintenance, And Accidents: The Case Of Chemical Process Industry In South Africa. Safety Science, 176: 106530. Https://Doi.Org/10.1016/J.Ssci.2024.106530.

Hertanto, A., Erwandi, D., Widanarko, B. & Tejamaya, M. 2023. Relationship Between Safety Climate And Safety Behavior In Company X In Indonesia. Safety, 9(4): 89. Https://Doi.Org/10.3390/Safety9040089.

Irawan, T., Hidayat, A. N. & Widya, A. R. 2025. Analisis Risiko K3 Menggunakan Metode HIRADC Area Produksi Di PT. Adiku Bekasi, Jawa Barat. Jurnal Penelitian Inovatif, 5(2): 1229-1238. Https://Doi.Org/10.54082/Jupin.1465.

Iwuozor, K. O., Ojeyemi, T., Emenike, E. C., Umeh, C. T., Egbemhenghe, A., Ayoku, B. D., Ogunsanya, T. I., Ogunniyi, S., Ighalo, J. O. & Adeniyi, A. G. 2024. Management Of Sugar Dust In The Sugar Industry. Heliyon, 10(1): E23158. Https://Doi.Org/10.1016/J.Heliyon.2023.E23158.

Kukfisz, B. & Piec, R. 2021. The Fire And Explosion Hazard Of Coloured Powders Used During The Holi Festival. International Journal Of Environmental Research And Public Health, 18(21): 11090. Https://Doi.Org/10.3390/Ijerph182111090.

Kurniawan, S., Marzuky, D., Ryanto, R. & Agustine, V. 2021. Risk And Supply Chain Mitigation Analysis Using House Of Risk Method And Analytical Network Process: A Case Study On Palm Oil Company. The Winners, 22(2): 123-136. Https://Doi.Org/10.21512/Tw.V22i2.7056.

Musavi, F., Hekmatshoar, R., Fallahi, M., Moradi, A. & Yazdani-Aval, M. 2024. Identifying And Preventing Human Error In The Sugar Production Process: A Multi-Stage Approach Using HTA, HEC And PHEA Techniques. Heliyon, 10(9): E29687. Https://Doi.Org/10.1016/J.Heliyon.2024.E29687.

Palengka, G. J., Vikaliana, R. & Utami, P. 2024. Supply Chain Risk Mitigation Using The House Of Risk Approach: Evidence In An Indonesian Catering Company. Kne Social Sciences, 9(16): 476-498. Https://Doi.Org/10.18502/Kss.V9i16.16265.

Prasetyo, B., Retnani, W. E. Y. & Ifadah, N. L. M. 2022. Analisis Strategi Mitigasi Risiko Supply Chain Management Menggunakan House Of Risk. Jurnal Tekno Kompak, 16(2): 72-84. Https://Doi.Org/10.33365/Jtk.V16i2.1878.

Pujawan, I. N. & Geraldin, L. H. 2009. House Of Risk: A Model For Proactive Supply Chain Risk Management. Business Process Management Journal, 15(6): 953-967. Https://Doi.Org/10.1108/14637150911003801.

Qiu, Z., Liu, Q., Li, X. & Zhang, Y. 2024. Why Do Workers Generate Biased Risk Perceptions? An Analysis Of Anchoring Effects And Influential Factors In Workers Assessment Of Unsafe Behavior. Safety And Health At Work, 15(3): 300-309. Https://Doi.Org/10.1016/J.Shaw.2024.05.004.

Rahimi, Z., Ghorbani-Shahna, F. & Bahrami, A. 2021. Design, Implementation, And Evaluation Of Industrial Ventilation Systems And Filtration For Silica Dust Emissions From A Mineral Processing Company. Indian Journal Of Occupational And Environmental Medicine, 25(4): 192-197. Https://Doi.Org/10.4103/Ijoem.IJOEM_55_19.

Ramadhan, F. A., Mansur, A., Setiawan, N. & Salleh, M. R. 2025. An Analytical Risk Mitigation Framework For Steel Fabrication Supply Chains Using Fuzzy Inference And House Of Risk. Supply Chain Analytics, 10: 100122. Https://Doi.Org/10.1016/J.Sca.2025.100122.

Rohimat, I. 2022. Analisa Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Di Perusahaan Industri Makanan: Kasus Di Kabupaten Bandung. Jurnal Tiarsie, 19(2).

Sudiarno, A., Majid, M. B., Rizkiyah, E., Fikri, M. N. & Ramli, A. 2025. Horshe: A Novel-Systematic Method For Safety Risk Assessment Using SHELL And Hierarchy Of Control. Methodsx, 15: 103669. Https://Doi.Org/10.1016/J.Mex.2025.103669.

Tian, C., Yang, Z. & Zhang, L. 2025. A Review Of Grain Dust Explosions: Prevention And Control. Results In Engineering, 26: 105483. Https://Doi.Org/10.1016/J.Rineng.2025.105483.

Zhang, J., Wang, J., Gao, J. & Zhang, W. 2024. Exhaust Hood Performance And Its Improvement Technologies In Industrial Buildings: A Literature Review. Building Simulation, 17: 23-40. Https://Doi.Org/10.1007/S12273-023-1040-2.

Zhong, Y., Li, X., Yang, Z., Liu, X. & Yao, E. 2024. A Model For Minimum Ignition Energy Prediction Of Sugar Dust Clouds Based On Interactive Orthogonal Experiments And Machine Learning. Fire Safety Journal, 144: 104111. Https://Doi.Org/10.1016/J.Firesaf.2024.104111.