

Risiko di Ruang Terbatas: Penerapan Metode *Confined Space Risk Analysis* di Reaktor Hidrogenasi

Aulia Magfira Denizi¹, Agung Nugroho¹ dan Mey Rohma Dhani^{1*}

¹ Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: meyrohmadhani@ppns.ac.id

Abstrak

Reaktor kimia adalah inti proses di industri, dan pemeliharaannya sangat penting untuk produktivitas perusahaan. Penelitian ini berfokus pada reaktor hidrogenasi yang digunakan untuk mengubah bahan kimia melalui reaksi dengan hidrogen dan bantuan katalis. Reaktor tersebut memiliki akses terbatas, yang menjadikannya ruang terbatas sehingga memerlukan perhatian khusus untuk keselamatan kerja. Proses pekerjaannya yakni penggantian katalis yang meliputi penghisapan, pemuatan, dan pengelasan indikator suhu, sehingga memiliki risiko tinggi karena pekerjaannya melibatkan ruang terbatas, *hot work*, dan ketinggian. Ditemukannya beberapa kejadian seperti klaustrofobia pada karyawan menunjukkan perlunya evaluasi kesehatan mental dan penerapan sistem *Lock-Out Tag-Out* (LOTO) yang belum lengkap untuk melindungi pekerja dari sumber energi berbahaya. Meskipun perusahaan telah melakukan langkah pencegahan, dokumen Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko (IBPR) masih kurang rinci menganalisis risiko. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko pekerjaan di reaktor hidrogenasi menggunakan metode *Confined Space Risk Analysis* (CSRA) dengan mengidentifikasi bahaya dan mengurangi tingkat risiko yang dihasilkan melalui pengendalian yang lebih efektif. Hasil identifikasi bahaya dan penilaian risiko menggunakan metode CSRA menghasilkan 234 risiko yang terbagi dalam 6 kategori. Persentase risiko meliputi: *falling* (14,9%), *ergonomic* (39,9%), *atmospheric* (10,7%), *physical* (17,9%), *chemical* (5,4%), dan *mechanical* (11,3%). Penilaian awal menunjukkan 3,8% ekstrem, 61,1% tinggi, 30,8% sedang, dan 4,3% rendah. Penilaian akhir menunjukkan 20,9% sedang, 69,7% rendah hingga sedang, dan 9,4% rendah. Pengendalian dilakukan dengan mengkombinasikan hierarki pengendalian untuk mereduksi level risiko ke tingkat yang paling rendah yang dapat diturunkan.

Kata Kunci: CSRA, Hierarki Pengendalian, Risiko, Ruang terbatas, Reaktor

Abstract

Chemical reactors are the core of industrial processes, and their maintenance is critical to a company's productivity. This study focuses on a hydrogenation reactor used to convert chemicals through reactions with hydrogen and the contribution of catalysts. The reactor has limited access, making it a confined space that requires special attention to occupational safety. The work process, namely catalyst replacement, includes suction, loading, and welding of temperature indicators, so it has a high risk because the work involves confined spaces, hot work, and heights. Several accidents were discovered such as the occurrence of claustrophobia in employees indicates the need for mental health evaluation and the implementation of an uncomplete Lock-Out Tag-Out (LOTO) system to protect workers from hazardous energy sources. Although the company has taken preventive measures, the Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) document is still lacking in detail of risk analysis. This study aims to analyze the occupational risks in a hydrogenation reactor using the Confined Space Risk Analysis (CSRA) method by identifying hazards and reducing the level of risk generated through more effective control. The results of hazard identification and risk assessment using the CSRA method produced 234 risks divided into 6 categories. The risk percentages include: falls (14.9%), ergonomic (39.9%), atmospheric (10.7%), physical (17.9%), chemical (5.4%), and mechanical (11.3%). The initial assessment showed 3.8% extreme, 61.1% high, 30.8% moderate, and 4.3% low. The final assessment showed 20.9% moderate, 69.7% low to moderate, and 9.4% low. Control is done by combining the hierarchy of controls to reduce the risk level to the lowest level that can be reduced.

Keywords: Confined Space, CSRA, Hierarchy of Controls, Risk, Reactor

1. PENDAHULUAN

Reaktor kimia di industri senantiasa dianggap seperti jantung dari proses kimia. Pengoperasian reaktor yang tepat dapat menghasilkan penghematan biaya dan potensi pendapatan yang signifikan bagi pabrik kimia (Mohd Fuad & Hussain, 2015) sehingga, pemeliharaan reaktor sangat diperlukan untuk menjaga kualitas produksi di perusahaan. Penelitian ini mengkaji tentang reaktor hidrogenasi yang berfungsi sebagai wadah untuk mereaksikan bahan kimia guna mengurangi ikatan rangkap dua yang dilakukan melalui penambahan hidrogen dengan bantuan katalis (Winarto, 2022) untuk mempercepat reaksi kimia. Oleh karena itu, pemeliharaan reaktor hidrogenasi tidak hanya pada konfigurasinya tetapi juga perlu mencakup penggantian katalis untuk memastikan kualitas dari katalis terjaga.

Reaktor hidrogenasi di perusahaan memiliki proses reaksi antara hidrogen dengan 2-Ethyl Hexenal (EPA) dan 2-Ethyl Hexanal. Reaktor ini memiliki tinggi 20,1 meter dari permukaan tanah dan 17,6 meter dari bed 4, dengan diameter dalam 2,1 meter, selain itu akses ke reaktor hanya dapat dilakukan melalui satu manhole di bagian atas yang berukuran >24" dimensi merupakan kondisi penting dalam penelitian ruang terbatas, mencakup kesulitan masuk atau keluar meskipun ukuran area bervariasi (Botti dkk., 2024), sehingga dapat dikategorikan sebagai ruang terbatas sesuai dengan Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 11 Tahun 2023. Oleh karena itu, pekerjaan yang dilakukan di dalam reaktor perlu diperhatikan karena objek yang termasuk ruang terbatas seperti reaktor hidrogenasi tidak dirancang untuk bekerja secara kontinu atau berkelanjutan di dalamnya, selain itu menimbulkan risiko yang signifikan karena banyaknya potensi bahaya yang ada di ruang terbatas (Ma & Chen, 2025).

Pekerjaan penggantian katalis mencakup proses penghisapan, dan pemuatan katalis serta pengelasan indikator suhu. Pengelasan indikator suhu merupakan pemeliharaan korektif dengan risiko bahaya tinggi karena melibatkan pekerjaan ruang terbatas, *hot work*, dan ketinggian (Wijayanto dkk., 2024). Hal ini dibuktikan dengan data laporan kecelakaan di perusahaan menunjukkan seorang karyawan mengalami klaustrofobia saat berada di reaktor, meskipun perlindungan seperti masker udara telah diterapkan. Tanda-tanda gangguan panik meliputi kecemasan, napas pendek, dan rasa takut kehilangan kendali (Vadakkan & Siddiqui, 2023). Ini menegaskan bahwa perlu evaluasi kesehatan mental karyawan sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja. Selain itu, pelaksanaan sistem *Lock-Out Tag-Out* (LOTO) masih belum lengkap, karena *Tag-Out* yang belum terpasang. Sistem LOTO dibutuhkan untuk melindungi tenaga kerja dengan mengunci dan memberi label pada sumber energi yang berbahaya (Hidayah dkk., 2023). Tanpa penerapan yang tepat, pekerja berisiko mengendalikan valve (Chao & Henshaw, 2002) yang dapat meningkatkan risiko kebakaran atau ledakan.

Perusahaan telah mengambil langkah pencegahan untuk mengurangi kecelakaan di ruang terbatas, termasuk penerbitan izin kerja, pembuatan prosedur khusus, dan pembuatan dokumen Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko (IBPR). Namun, IBPR masih kurang rinci dan bersifat umum. Penelitian ini bertujuan menganalisis risiko pemeliharaan dan penggantian katalis di reaktor hidrogenasi menggunakan metode *Confined Space Risk Analysis* (CSRA), yang memberikan evaluasi mendalam terhadap faktor risiko dan potensi bahaya menggunakan kategorisasi risiko dari kuesioner serta menentukan pengendalian untuk menurunkan tingkat risiko.

2. METODE

Penggunaan metode CSRA pada penelitian ini menggunakan pendekatan semi-kuantitatif yang membutuhkan data primer yang mencakup observasi lapangan (Gambar 1) dan hasil kuesioner bersama *expert judgment*, selain itu terdapat data sekunder yakni *Safety Data Sheet* (SDS), *Standard Operating Procedure* (SOP), dan IBPR milik perusahaan.



Gambar 1 Dokumentasi observasi lapangan saat pekerja masuk melalui *manhole*

Dalam penelitian Chinniah dkk., (2017) metode CSRA memiliki 5 langkah, yakni: a) Langkah 1 terdiri dari kategorisasi risiko berdasarkan kuesioner untuk menggambarkan konfigurasi ruang terbatas yang dipilih, lingkungannya, dan situasi kerja. Jawabannya menghasilkan jenis risiko berdasarkan 7 kategori risiko yakni risiko *mechanical*, *atmospheric*, *falling*, *physical*, *ergonomic*, *chemical*, dan *biological* (Burlet-vienney & Gonzalez-

cortes, 2021). b) Langkah 2 identifikasi bahaya sesuai dengan pekerjaan di *confined space*. c) Langkah 3 menilai risiko awal (1st *Risk Assessment*) sesuai dengan matriks risiko perusahaan yang dilakukan sebelum adanya intervensi/pengendalian. d) Langkah 4 menentukan *risk reduction*/pengendalian yang tepat dan melakukan penilaian risiko akhir (2nd *Risk Assessment*). e) Langkah 5 adalah langkah terakhir yakni membuat ringkasan penilaian risiko berupa *radar chart*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhatian khusus pada serangkaian pekerjaan di reaktor hidrogenasi sangat diperlukan untuk mengidentifikasi bahayanya secara rinci, dalam hal ini langkah awal penelitian adalah dengan melakukan penyebaran kuesioner kepada 5 *expert judgment* yang terdiri dari 2 orang *safety inspector*, 1 orang dari *dept. concern area* yakni produksi, 1 orang penanggung jawab pekerjaan di reaktor yang berasal dari departemen *maintenance*, dan 1 orang pekerja yang melakukan pekerjaan di dalam reaktor untuk mengisi 26 pertanyaan terkait dengan *confined space* reaktor hidrogenasi baik dari konfigurasi, maupun pekerjaan yang dilakukan di dalamnya. Jawaban kuesioner mencakup faktor-faktor yang harus diperhatikan saat memasuki ruang terbatas, termasuk tujuan masuk, lama waktu, akses dan cara keluar, jumlah orang yang memasuki, konfigurasi fisik, dan yang paling penting adalah kemungkinan bahaya yang mungkin muncul selama pekerjaan (Zamree Amin & Roslina Mohammad, 2023). Jawaban dari kuesioner CSRA akan diolah sehingga dapat ditemukan macam-macam kategori risiko yang ada pada reaktor hidrogenasi. Hasil dari kuesioner CSRA yang telah dikategorisasi disajikan pada Tabel 1.

3.1 Kategorisasi Risiko Berdasarkan Hasil Kuesioner CSRA

Tabel 1 Kategorisasi risiko berdasarkan hasil kuesioner CSRA bersama *expert judgment*

Q.	Jawaban	Kategori Risiko	Tipe Risiko
3	Akses masuk pada reaktor R-410 A hanya 22"/<24" (61cm)	Ergonomic	Entry/egress
4	Reaktor R-410 A memiliki akses masuk secara vertikal dengan tinggi dari <i>bed</i> 1-4 adalah 17,6m dan tinggi dari tanah 20,1m. Tidak ada media akses untuk masuk sehingga menggunakan tali <i>hoist</i>	Falling	Fall from height, Falling object
5	Terdapat interior yang menghalangi, membatasi pergerakan di dalam ruangan	Ergonomic	Work posture, Psychology/stress
	Tidak mudah bergerak di dalam ruangan karena karena pijakan/bidang kerja yang kurang bisa digunakan untuk pijakan di dalam reaktor	Falling	Fall on same level, Fall from height
	Adanya struktur yang tajam di dalam reaktor	Ergonomic	Internal Layout
	Adanya penerangan yang kurang di dalam reaktor	Mechanical	Sharp objects
	Temperatur di dalam reaktor yang ekstrim terutama saat terdapat <i>hot work</i>	Ergonomic	Inadequate lighting/Reduced visibility
	Terdapat tingkat kebisingan tinggi saat <i>unloading</i> katalis, dan penggerindaan temperatur indikator	Ergonomic	Heat constraints
		Physical	Heat
6	Terdapat bahan beracun sisa 2-EH di dalam reaktor	Physical	Noise
		Chemical	Toxic
		Atmospheric	Poisoning, Fire/Explosion, Asphyxiation
		Physical	Engulfment
	Terdapat bahan mudah terbakar/meledak H2, EPA, dan 2EH, serta debu katalis mudah menyala.	Chemical	Toxic
		Atmospheric	Poisoning Fire/Explosion Asphyxiation
7	Terdapat debu katalis yang membuat iritasi mata dan <i>carcinogens</i> /dapat menyebabkan kanker	Chemical	Irritant, toxic or carcinogenic products
		Atmospheric	Asphyxiation
		Physical	Engulfment
9	Reaktor terhubung dengan pipa yang harus ditutup/diisolasi dengan <i>blind plate</i>	Chemical	Irritant, toxic or carcinogenic products
		Atmospheric	Fire/exploion, Asphyxiation
		Physical	Engulfment
	Reaktor mengandung material debu katalis yang mengalir bebas dan memungkinkan pekerja terpapar dengan risiko terhirup	Chemical	Carcinogens
		Atmospheric	Asphyxiation
		Physical	Engulfment

10	Reaktor secara teknis tidak mudah dimasuki	<i>Ergonomic</i>	<i>Physical exertion, access</i>
		<i>Falling</i>	<i>Fall from height</i>
11	Reaktor terpapar dengan kondisi cuaca buruk	<i>Physical</i>	<i>Electricity (lightning)</i>
		<i>Ergonomic</i>	<i>Heat constraints</i>
	Adanya pekerjaan lain	<i>Falling</i>	<i>Falling Object</i>
12	Memungkinkan bekerja di area yang dapat berdampak dengan kondisi di dalam Reaktor Spesifikasi : <i>repair pipe isolation, grease motor ARC</i>	<i>Chemical</i>	<i>Irritant, toxic or carcinogenic products</i>
		<i>Atmospheric</i>	<i>Fire/Explosion, Asphyxiation</i>
13	Terdapat material terseimpan di dalam reaktor Spesifikasi :H2, EPA	<i>Atmospheric</i>	<i>Poisoning, Asphyxiation, Fire/Explosion</i>
		<i>Chemical</i>	<i>Irritant, toxic or carcinogenic products</i>
14	Adanya kemungkinan terjadinya perubahan kondisi di dalam Reaktor Spesifikasi : Blower tidak menyala, kebocoran gas H2, EPA, 2-EH	<i>Chemical</i>	<i>Irritant, toxic or carcinogenic products</i>
		<i>Atmospheric</i>	<i>Fire/Explosion, Asphyxiation, poisoning,</i>
18	Pekerjaan membutuhkan pekerja dengan bentuk tubuh dan sehat secara mental dan fisik Spesifikasi : Berat badan proporsional, tekanan darah normal	<i>Ergonomic</i>	<i>Psychology/stress, access</i>
21	Bekerja tidak dalam waktu yang pendek	<i>Ergonomic</i>	<i>Physical exertion</i>
22	Adanya kendala waktu yang dapat membuat pekerja merasa tertekan Spesifikasi : waktu singkat, tenggat waktu	<i>Ergonomic</i>	<i>Psychology/stress</i>
23	Tipe jalur yang dibutuhkan dari <i>manhole</i> sampai ke tempat dilakukannya pekerjaan adalah jalur vertikal	<i>Falling</i>	<i>Fall from height</i>
25	Terdapat <i>hot work</i> (pengelasan, penggerindaan)	<i>Atmospheric</i>	<i>Poisoning, Fire/explosion, Asphyxiation</i>
		<i>Physical</i>	<i>Heat, Optical radiation, Electricity, Vibration</i>
	Bekerja pada ketinggian	<i>Falling</i>	<i>Fall from height</i>
	Menggunakan alat khusus (misalnya mekanik, listrik, hidrolik, udara terkompresi)	<i>Physical</i>	<i>Electricity, Optical radiation, Electrical, Heat, Noise</i>
		<i>Mechanical</i>	<i>Moving parts, Sharp objects, Parts with potential energy, Flying parts</i>
	Penerangan sementara di ruang terbatas (lampu portabel)	<i>Physical</i>	<i>Electricity</i>
		<i>Atmospheric</i>	<i>Fire/explosion</i>
	Penggunaan genset	<i>Atmospheric</i>	<i>Poisoning, Fire/explosion</i>
		<i>Physical</i>	<i>Noise</i>
	Penggunaan bahan kimia elektroda las	<i>Chemical</i>	<i>Irritant, toxic or carcinogenic products</i>
	Pelepasan partikel, debu, aerosol	<i>Chemical</i>	<i>Carcinogens</i>
		<i>Atmospheric</i>	<i>Asphyxiation</i>
	Bekerja di ketinggian, benda jatuh	<i>Falling</i>	<i>Fall from height, Falling Object</i>
	Kendala ergonomi saat memakai pakaian atau APD	<i>Ergonomic</i>	<i>Heat constraints, Physical exertion, Work posture</i>

Tabel 1 menunjukkan hasil 16 dari 26 pertanyaan terjawab sesuai dengan keadaan di dalam reaktor pada kuesioner CSRA. Hal tersebut memperlihatkan bahwa situasi di dalam reaktor hidrogenasi menghasilkan 6 kategorisasi risiko yaitu *atmospheric*, *chemical*, *physical*, *ergonomic*, *mechanical*, dan *falling*. Pertanyaan lain yang berhubungan dengan bahaya yang dapat menimbulkan risiko *biological* tidak terjawab dalam kuesioner, karena risiko tersebut tidak ada di dalam reaktor. Dapat disimpulkan dari hasil tersebut bahwa penentuan bahaya di ruang terbatas dengan penerapan metode CSRA menghasilkan jumlah potensi bahaya dan kategori risiko yang komprehensif diperoleh melalui kuesioner bersama *expert judgment* (Dewa dkk., 2021).

3.2 Penilaian Risiko Awal

Dari adanya daftar bahaya pada Tabel 1, *expert judgment* memilih bahaya yang benar-benar sesuai dengan situasi di dalam reaktor hidrogenasi, oleh karena itu hasilnya akan diidentifikasi lebih lanjut untuk mengetahui

risiko yang dapat terjadi dan menentukan nilai risiko berdasarkan *risk matrix* (Tabel 2) sebelum adanya intervensi. Tabel 3, merupakan contoh hasil identifikasi yang diambil berdasarkan studi kasus ketika tidak adanya pemeriksaan kesehatan mental pekerja dan LOTO yang kurang memadai sehingga dapat berpengaruh pada serangkaian pekerjaan di reaktor hidrogenasi.

Tabel 2 *Risk matrix*

Likelihood	Sering terjadi (Almost Certain)	5	Moderate 5	High 10	High 15	Extreme 20	Extreme 25
	Kemungkinan Besar Terjadi (Likely)	4	Low to Moderate 4	Moderate 8	High 12	High 16	Extreme 20
	Mungkin Terjadi (Possible)	3	Low to Moderate 3	Moderate 6	Moderate 9	High 12	High 15
	Kemungkinan Kecil Terjadi (Unlikely)	2	Low 2	Low to Moderate 4	Moderate 6	Moderate 8	High 10
	Jarang Terjadi (Rare)	1	Low 1	Low 2	Low to Moderate 3	Low to Moderate 4	Moderate 5
	DESKRIPSI	Rating	1	2	3	4	5
			Tidak signifikan (Insignificant)	Cidera Ringan (Minor)	Cidera Berat (Medium)	Kematian/ Cacat tetap (Major)	Bencana (Catastrophic)
	Severity						

Tabel 2 menyajikan *risk matrix* yang dapat menunjukkan bahwa semakin besarnya perkalian skor *likelihood* dan *severity*, maka semakin level risiko yang dihasilkan juga semakin tinggi.

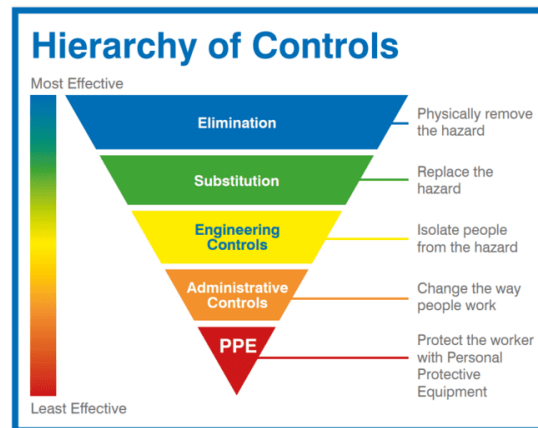
Tabel 3 Cuplikan hasil identifikasi bahaya berdasarkan contoh studi kasus

No.	Hazard				Activities				I st RA (LxS)
	Origin	Category	Type	Specifics	Hazardous Action	Who	Hazardous Event	Harm	
1.	Confined Space	Ergonomic	Psychology/ stress	Bekerja di ruang terbatas	Bekerja di dalam reaktor tanpa adanya pemeriksaan kesehatan mental; Kondisi mental sedang tidak stabil	Pekerja	Kurangnya fokus pada keadaan sekitar; klaustrofobia	Terjebak di dalam reaktor; cedera jatuh dari ketinggian; sesak nafas; pingsan; nyeri dada dll (Mambu dkk., 2021)	3 x 4 = 12
2.	Confined space	Atmospheric	Fire/ Explosion	Potensi gas H2 dan EPA masuk; adanya hot work	Akumulasi gas di atmosfer bersamaan dengan suhu ekstrem yang dihasilkan dari hot work	Pekerja	Kebakaran dan ledakan yang berdampak ke sekitar perusahaan	Luka bakar; kematian; kerugian material	4 x 5 = 20

Tabel 3 menyajikan pemecahan dari potensi bahaya dan analisis penyebab terjadinya risiko berdasarkan hasil jawaban kuesioner kategorisasi ruang terbatas. Hasil dari perkalian tingkat kemungkinan (*likelihood*) dan tingkat keparahannya (*severity*) menunjukkan bahwa risiko yang dapat terjadi sebelum adanya intervensi memperlihatkan skor yang masih sangat tinggi. Oleh karena itu, perlu adanya *risk reduction* terhadap risiko yang ada pada serangkaian pekerjaan di reaktor hidrogenasi agar peristiwa yang tidak diinginkan dapat dicegah.

3.3 Menentukan *Risk Reduction* dan Penilaian Risiko Akhir

Penentuan *risk reduction* sangat penting untuk mengurangi level risiko hingga ke tingkat yang paling rendah yang dapat diturunkan. Dalam hal ini, *risk reduction* didasarkan pada hierarki pengendalian yakni eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, pengendalian administrasi, dan Alat Pelindung Diri (APD) yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Hierarki pengendalian risiko
Sumber : (ISO 45001:2018)

Gambar 2 menunjukkan pengendalian dalam struktur hierarki yang semakin kebawah dianggap kurang efektif oleh karena itu kombinasi kontrol pada hierarki diperlukan untuk mengurangi risiko karena pengendalian tersebut berperan penting dalam memberikan rekomendasi (Santoso dkk., 2021). Pengendalian yang diterapkan mampu menurunkan risiko dari segi *likelihood* dan *severity*. Penurunan skor risiko pada metode CSRA didasarkan pada Tabel 4. (Chinniah dkk., 2017).

Tabel 4 Dampak pengendalian risiko terhadap komponen risiko

Tindakan pengendalian risiko		Dampak pada komponen risiko	
		Tingkat keparahan (<i>Severity</i>)	Tingkat kemungkinan (<i>Likelihood</i>)
1.	Menghilangkan risiko pada tahap desain (Eliminasi) Contoh: menghilangkan ruang terbatas, sumber energi, bentuk berbahaya, penggunaan produk beracun, kemungkinan masuk.	++	++
		Bahaya atau kemungkinan paparan dihilangkan.	
2.	Mengurangi intensitas bahaya pada tahap desain (Substitusi) Contoh: membatasi kecepatan menyetir, arus listrik, desibel, radiasi, getaran, konsentrasi produk berbahaya; menggantinya dengan produk yang lebih aman; menambah ukuran ruang untuk pekerja	++	0
		Kekuatan/intensitas bahaya berkurang pada tahap desain, secara intrinsik. Paparan tetap sama.	
3.	Mengurangi kebutuhan untuk masuk pada tahap desain (Substitusi) Contoh: memindahkan beberapa elemen ruang terbatas; menggunakan alat dari luar, robot, kamera; pemeliharaan preventif, seperti (i) sistem pembersihan mandiri, (ii) material, struktur, perawatan permukaan yang tahan lama.	0	++
		Bahaya itu sendiri tidak ditangani. Namun, paparan terhadap bahaya dikurangi seminimal mungkin.	
4.	Menggabungkan cara perlindungan kolektif (Rekayasa Teknik) Contoh: penambahan <i>barrier</i> , <i>guards</i> , <i>railings</i> , <i>ladders/platforms</i> yang disesuaikan, <i>anchor points</i> , <i>permanent ventilation</i> .	+	+
		Cara perlindungan kolektif dapat membantu membatasi kekuatan dan paparan terhadap bahaya. Namun, sumber bahaya tidak ditangani.	
5.	Terapkan prosedur teknis (Administrasi) Contoh: penguncian, isolasi sistem perpipaan, ventilasi portabel, pembersihan/pengurasan ruang terbatas sebelum masuk.	+	+
		Jika diikuti dengan benar, prosedur teknis dapat membantu membatasi bahaya dan paparan terhadapnya. Akan tetapi, bahaya itu sendiri tidak ditangani secara langsung.	
6.	Terapkan prosedur administratif, (Administrasi) Contoh: prosedur pembacaan gas detektor, peringatan, pictogram, komunikasi, pengawasan, mengurangi waktu yang dihabiskan di ruang terbatas, rotasi pekerja.	0	+
		Jika diikuti dengan benar, prosedur administratif dapat membantu membatasi paparan risiko. Bahaya itu sendiri tidak ditangani.	
7.	Gunakan APD Contoh: sabuk pengaman, respirator, pelindung pendengaran, alas kaki keselamatan, helm pengaman, sarung tangan, pelindung mata, <i>coveralls</i> .	0	+
		Jika digunakan dengan benar, APD dapat membantu membatasi paparan risiko. Penggunaannya tidak mengubah bahaya itu sendiri.	

* 0: Tidak berdampak; +: berdampak sedang; ++: berdampak besar

Tabel 4 menjelaskan dampak pengendalian berdasarkan hierarki terhadap pengurangan risiko baik aspek *likelihood* maupun *severity*, hal ini dapat berdampak besar, berdampak sedang, maupun tidak berdampak sama

sekali terhadap risiko bergantung pada pengendalian yang diterapkan. Penerapan dari *risk reduction* ini disajikan pada Tabel 5 yang juga akan menunjukkan level risiko setelah adanya intervensi (2nd Risk Assessment).

Tabel 5 Cuplikan *risk reduction* dengan hierarki pengendalian

No.	Control	2 nd RA (LxS)
1.	1. Sosialisasi APD, SOP, dan bahaya pekerjaan 2. Melakukan <i>safety induction</i> 3. Pelatihan ruang terbatas 4. Sertifikasi pekerja di ruang terbatas 5. Pemberlakuan rotasi kerja 6. Pemeriksaan kesehatan mental pekerja sebelum bekerja 7. Adanya pengawasan/ <i>safety patrol</i> 8. Adanya komunikasi antar pekerja dengan penanggungjawab pekerjaan 9. Penyediaan kotak P3K. 10. Penggunaan APD yang sesuai (<i>Safety helmet, Disposable clothes, safety shoes, air line mask, safety gloves, safety googgles</i>)	$1 \times 3 = 3$
2.	1. Penguncian (<i>Lock-Out</i>) dan penandaan sumber bahaya/penandaan valve (<i>Tag-Out</i>) 2. <i>Purging</i> LEL dengan nitrogen 3. Pelaksanaan gas tes secara berkala selama pekerjaan berlangsung. 4. Pengoperasian <i>blower</i> 5. Sosialisasi APD, SOP, dan bahaya pekerjaan 6. Melakukan <i>safety induction</i> 7. Memastikan pekerja mampu bekerja dan berpengalaman 8. Melakukan pengawasan pada pekerja 9. Pengaturan rotasi kerja untuk mengurangi paparan 10. Adanya komunikasi antar pekerja dengan penanggungjawab pekerjaan 11. Penyediaan kotak P3K. 12. Penggunaan APD yang sesuai (<i>Safety helmet, Disposable clothes, safety shoes, air line mask, safety gloves, safety googgles</i>)	$2 \times 3 = 6$

Hasil dari Tabel 5 menunjukkan bahwa kombinasi dari pengendalian berdasarkan hierarki dapat mereduksi level risiko yang ada. Dengan adanya hal ini, risiko residual dapat turun ke hasil yang dapat diterima (*acceptable*). Nilai risiko residual ini dapat digunakan sebagai parameter untuk menilai keefektifan tindakan pengendalian yang direkomendasikan terhadap potensi bahaya yang ada.

3.4 Ringkasan Estimasi Penilaian Risiko

Setelah adanya identifikasi bahaya dan penilaian risiko, langkah berikutnya adalah membuat ringkasan estimasi penilaian risiko berdasarkan 1st *risk assessment* dan 2nd *risk assessment*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hasil keseluruhan penilaian risiko dari awal serangkaian pekerjaan di reaktor hidrogenasi hingga akhir. Akumulasi dari hasil penilaian risiko awal dan akhir disajikan dalam Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6 1st Risk Assessment

No.	Kategori Risiko	Frekuensi tiap risiko					Jumlah level risiko
		E	H	M	LM	L	
1.	<i>Falling</i>	6	10	22	-	-	38
2.	<i>Ergonomic</i>	-	22	62	4	-	88
3.	<i>Atmospheric</i>	1	12	16	-	-	29
4.	<i>Physical</i>	-	15	23	-	-	38
5.	<i>Chemical</i>	-	8	10	-	-	18
6.	<i>Biological</i>	-	-	-	-	-	0
7.	<i>Mechanical</i>	2	12	11	6	-	31
Total		9	79	144	10	-	242
Keterangan: E (<i>Extreme</i>), H (<i>High</i>), M (<i>Moderate</i>), LM (<i>Low to Moderate</i>), L (<i>Low</i>)							

Tabel 7 2nd Risk Assessment

No.	Kategori Risiko	Frekuensi tiap risiko					Jumlah level risiko
		E	H	M	LM	L	
1.	<i>Falling</i>	-	-	6	30	2	38
2.	<i>Ergonomic</i>	-	-	9	73	6	88
3.	<i>Atmospheric</i>	-	-	9	20	-	29
4.	<i>Physical</i>	-	-	15	18	5	38
5.	<i>Chemical</i>	-	-	8	4	6	18
6.	<i>Biological</i>	-	-	-	-	-	0
7.	<i>Mechanical</i>	-	-	10	14	7	31
Total		-	-	57	159	26	242
Keterangan: E (<i>Extreme</i>), H (<i>High</i>), M (<i>Moderate</i>), LM (<i>Low to Moderate</i>), L (<i>Low</i>)							

Mengacu pada Tabel 6 dan Tabel 7, terlihat bahwa tingkat risiko dari serangkaian pekerjaan di reaktor hidrogenasi menunjukkan penurunan setelah pengendalian diterapkan. Hasil evaluasi risiko setelah pengendalian menunjukkan bahwa dari total 234 risiko yang terdiri dari 38 risiko *falling*, 88 risiko *ergonomic*, 29 risiko *atmospheric*, 38 risiko *physical*, 18 risiko *chemical*, dan 31 risiko *mechanical*, terdapat 57 level risiko *moderate*, 159 risiko *low to moderate*, dan 26 risiko *low*. Berikut ini perhitungan persentase dari masing masing kategori risiko dan frekuensi level risiko.

Persentase kategori risiko

$$\text{Falling: } \frac{38}{242} \times 100\% = 17,9\%$$

$$\text{Ergonomic: } \frac{88}{242} \times 100\% = 39,9\%$$

$$\text{Atmospheric: } \frac{29}{242} \times 100\% = 10,7\%$$

$$\text{Physical: } \frac{38}{242} \times 100\% = 17,9\%$$

$$\text{Chemical: } \frac{18}{242} \times 100\% = 5,4\%$$

$$\text{Mechanical: } \frac{31}{242} \times 100\% = 11,3\%$$

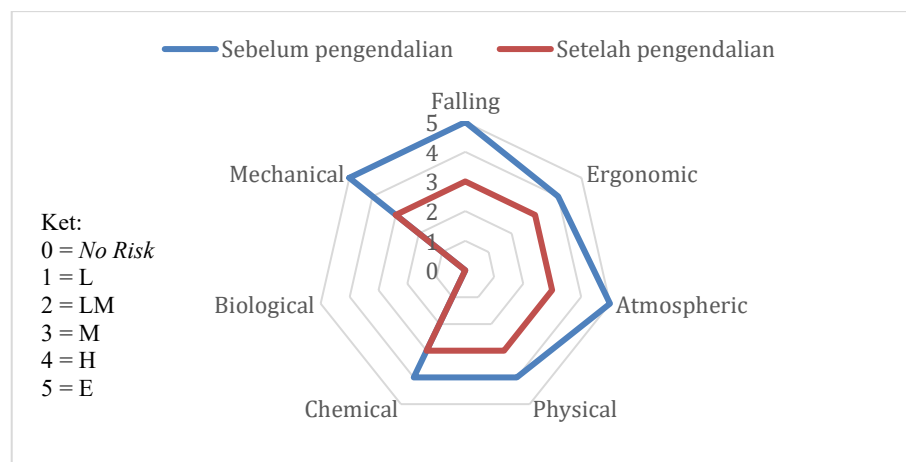
Persentase level risiko 2nd risk assessment

$$\text{Moderate: } \frac{57}{242} \times 100\% = 23,6\%$$

$$\text{Low to moderate: } \frac{159}{242} \times 100\% = 65,7\%$$

$$\text{Low: } \frac{26}{242} \times 100\% = 10,7\%$$

Selanjutnya, tersedia grafik radar yang membandingkan nilai risiko sebelum dan sesudah pengendalian. Grafik radar berasal dari rangkuman evaluasi risiko Tabel 6 dan Tabel 7. Grafik radar terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik radar ringkasan estimasi penilaian risiko

Gambar 3 menunjukkan penurunan level risiko di semua kategori terkait pemeliharaan dan penggantian katalis di Reaktor R-410 A. Nilai nol menandakan tidak ada risiko, sementara nilai 1-5 menunjukkan tingkat risiko dari rendah hingga ekstrem. Hasil risiko sebelum dan sesudah pengendalian, yang tercermin dalam grafik radar, sesuai dengan tingkat risiko maksimum dari masing-masing kategori. Jika indeks melebihi batas risiko yang dapat diterima (*unacceptable*), perusahaan harus mengidentifikasi langkah-langkah yang diperlukan lebih lanjut (Chinniah dkk., 2016).

4. KESIMPULAN

Hasil Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko menggunakan metode CSRA menghasilkan 242 risiko yang terdiri dari 6 kategori risiko yakni *atmospheric*, *chemical*, *physical*, *mechanical*, *ergonomic*, dan *falling* dengan persentase 17,9% risiko *falling*, 39,9% *ergonomic*, 10,7% *atmospheric*, 17,9% *physical*, 5,4% *chemical*, dan 11,3% *mechanical*. Penilaian awal menunjukkan 3,8% *extreme*, 61,1% *high*, 30,8% *moderate*, dan 4,3% *low*. Penilaian akhir menunjukkan 20,9% *moderate*, 69,7% *low to moderate*, dan 9,4% *low*. Pengendalian diberikan berdasarkan hierarki pengendalian yakni eliminasi, substitusi, rekayasa Teknik, pengendalian administrasi, dan APD yang

dapat berdampak besar, sedang, maupun tidak berdampak sama sekali dalam mengurangi nilai risiko. Oleh karena itu, pengendalian yang diberikan berdasarkan hierarki pengendalian dalam mereduksi level risiko dapat dilakukan dengan mengkombinasikan hierarki pengendalian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Botti, L., Mora, C., & Ferrari, E. (2024). *Design of digital tool for the identification of confined spaces. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, April.
- Burlet-vienney, D., & Gonzalez-cortes, A. (2021). *PhareSST Risk assessment tool and prevention through design for confined space entries : An approach based on safety of machinery*. 6–7.
- Chao, E. L., & Henshaw, J. L. (2002). *Control of Hazardous Energy Lockout/Tagout. Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*, 1910.147, 1–17.
- Chinniah, Yuvin. Bahloul, Ali. Burlet-Vienney, Damien. Roberge, B. (2017). *Development of a Confined Space Risk Analysis and Work Categorization Tool*.
- Chinniah, Y., Bahloul, A., & Roberge, B. (2016). *RISK ASSESSMENT TOOL FOR CONFINED SPACE ENTRIES*. 1–2.
- Dewa, A. A., Anindita, G., & Dhani, M. R. (2021). Analisis Risiko Pekerjaan Pengelasan di Confined Space dengan Metode Confined Space Risk Analysis. *Proceeding 5th Conference on Safety Engineering and It's Application*, 392–398.
- Hidayah, N., Rahmawati, A., & Nisa, R. (2023). Analisis Penerapan *Lockout/Tagout* (LOTO) Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja di PT. Pertamina Patra Niaga Fuel Terminal Cikampek Analysis of the Application of Lockout/Tagout (LOTO) as an Effort to Prevent Work Accidents at PT. Pertamina Patra Niaga. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(3), 500–511.
- ISO 45001. (2018). *Sistem Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja Requirements with Guidance For Use*. London: BSI Standards Limited.
- Ma, X., & Chen, R. (2025). *Analysis of research hotspots and trends of phytoestrogens for menopausal syndrome based on CiteSpace. Chinese Journal of Health Management*, 19(3), 220–225. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115624-20241205-01002>
- Mambu, J. Y., Purnawindi, I. G., Luntungan, R., & Mottoh, S. (2021). *ClausTher VR : Virtual Reality untuk Terapi Claustrophobia Reality. Jurnal Sisforenika*, 11(2), 148–160. <https://ojs.bibsys.no/index.php/NISK/article/view/462>
- Mohd Fuad, M. N., & Hussain, M. A. (2015). *Systematic Design of Chemical Reactors with Multiple Stages via Multi-Objective Optimization Approach. In Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 37, Issue June). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63578-5.50140-7>
- Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 11 Tahun 2023. (2023). Tentang Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Di Ruang Terbatas. *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2023*, 1–20.
- Santoso, T., Budiharti, N., & Haryanto, S. (2021). Upaya Pengendalian Resiko Kecelakaan Kerja dengan Metode Job Safety Analysis Pada Pekerjaan Pembuatan Produk Tahu di Desa Ploso, Kab. Jombang, Jawa Timur. *Jurnal Valtech (Jurnal Mahasiswa Teknik Industri)*, 4(2), 238–247. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/valtech/article/view/3877>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja. (1970). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja*, 14, 1–20. <https://jdih.esdm.go.id/storage/document/uu-01-1970.pdf>

- Vadakkan, C., & Siddiqui, W. (2023). Klaustrofobia. StatPearls Publishing LLC. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542327/>
- Wijayanto, R., Herman Susila, & Handoyo, S. (2024). Evaluasi Kualitas Udara Pada Pekerjaan Terowongan Pengambilan (Studi Kasus K3 Proyek Bendungan Jlantah Karanganyar). *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 29(1), 24–32. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v29i1.2879>
- Winarto, D. A. (2022). *MINI REVIEW HIDROGENASI KARET ALAM Mini*. 6(August), 1025–1035. <http://medcraveonline.com>
- Zamree Amin, & Roslina Mohammad. (2023). *Bowtie analysis for risk assessment of confined space at sewerage construction project. Progress in Energy and Environment*, 24(1), 22–34. <https://doi.org/10.37934/progee.24.1.2234>