



Pengendalian Risiko Keselamatan Kerja Unit SLPGT Berbasis JSA-HIRADC

Ahmad Ridha Akbar^{1*}, Yunia Dwie Nurcahyanie²

^{1,2} Teknik Industri, Universitas PGRI Adi Buana, Surabaya, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received April 20, 2026

Revised Mei 25, 2026

Accepted Juni 19, 2026

Available online Juli 21, 2026

Kata Kunci:

HIRADC;

JSA;

keselamatan kerja;

pengendalian risiko;

SLPGT.

Keywords:

HIRADC;

JSA;

occupational safety; r

isk control;

SLPGT

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2022 by Author. Published by Universitas PGRI ADI BUANA SURABAYA.

ABSTRAK

Unit SLPGT memiliki risiko keselamatan kerja tinggi karena melibatkan LPG, *caustic soda* 15%, MDEA, sistem bertekanan, *valve operation*, inspeksi, *maintenance*, dan potensi kebocoran. Penelitian ini bertujuan menganalisis serta merumuskan pengendalian risiko keselamatan kerja Unit SLPGT berbasis JSA-HIRADC. Metode JSA digunakan untuk mengidentifikasi bahaya pada setiap aktivitas kerja, sedangkan HIRADC digunakan untuk menilai risiko berdasarkan *likelihood* dan *consequence*. Hasil penelitian mengidentifikasi 12 potensi bahaya, terdiri atas 4 risiko tinggi, 7 risiko sedang, dan 1 risiko rendah. Risiko tertinggi terdapat pada pengisian *caustic soda* 15% dengan nilai risiko 16, penanganan kebocoran dengan nilai risiko 15, pembukaan/penutupan *valve* dengan nilai risiko 12, dan *maintenance* ringan dengan nilai risiko 12. Pengendalian direkomendasikan melalui sistem transfer tertutup, deteksi gas, LOTO, *permit to work*, *emergency shower*, *spill kit*, *checklist*, dan APD kimia. Penelitian ini menegaskan bahwa pengendalian risiko SLPGT harus berbasis prioritas aktivitas dan hierarki kontrol.

ABSTRACT

pressurized systems, valve operation, inspection, maintenance, and potential leakage. This study aims to analyze and formulate occupational safety risk control in the SLPGT unit using JSA-HIRADC. JSA was used to identify hazards in each work activity, while HIRADC was used to assess risks based on likelihood and consequence. The results identified 12 potential hazards, consisting of 4 high risks, 7 medium risks, and 1 low risk. The highest risks were found in 15% caustic soda filling with a risk score of 16, leakage handling with a risk score of 15, valve opening and closing with a risk score of 12, and minor maintenance with a risk score of 12. Recommended controls include closed transfer systems, gas detection, LOTO, permit to work, emergency shower, spill kit, checklists, and chemical PPE. This study confirms that SLPGT risk control must be based on activity priority and control hierarchy.

I. PENDAHULUAN

Unit SLPGT (*Saturated LPG Treating*) merupakan unit proses dengan karakter risiko tinggi karena menangani LPG jenuh, sistem bertekanan, bahan kimia, peralatan proses, serta aktivitas operator dan *maintenance* yang saling terkait. Pada unit ini, LPG diproses agar memenuhi persyaratan produk LPG C3 dan C4 sebelum digunakan sebagai umpan lanjutan pada Unit Alkylolation. Aliran LPG dinaikkan tekanannya menggunakan *Feed LPG Booster Pump* dari sekitar 8 kg/cm²g menjadi ±32 kg/cm²g, kemudian dialirkan ke *Saturated LPG Amine Treater Section* untuk menghilangkan H₂S menggunakan MDEA 35%. Setelah itu, LPG masih melalui proses pencucian menggunakan air demineralisasi untuk menghilangkan sisa amine yang terbawa dalam aliran produk. Karakteristik proses tersebut menunjukkan bahwa SLPGT tidak hanya menghadirkan bahaya mekanik dan operasional, tetapi juga bahaya kimia, tekanan, kebocoran, dan paparan gas yang harus dikendalikan secara sistematis.

*Corresponding author.

E-mail addresses: yuniadwie@unipasby.ac.id

Aktivitas kerja pada Unit SLPGT melibatkan pengoperasian peralatan, pembukaan dan penutupan *valve*, pengisian dan sirkulasi *caustic soda* 15%, inspeksi rutin, pekerjaan *maintenance*, serta penanganan kebocoran. *Caustic soda* bersifat korosif sehingga dapat menyebabkan iritasi kulit, luka bakar kimia, cedera mata, dan gangguan pernapasan apabila terjadi kontak langsung atau paparan uap/aerosol. Risiko semakin meningkat ketika pekerjaan dilakukan pada sistem bertekanan, area basah, ruang dengan ventilasi kurang memadai, atau saat pekerja melakukan intervensi langsung pada *valve* dan peralatan proses. Oleh karena itu, risiko kerja pada unit ini tidak cukup dipahami sebagai risiko K3 umum, tetapi harus dibaca sebagai risiko keselamatan proses yang muncul dari interaksi antara manusia, bahan kimia, tekanan operasi, prosedur kerja, dan kondisi peralatan.

Keselamatan dan kesehatan kerja pada industri migas menjadi aspek kritis karena lingkungan kerja mengandung potensi bahaya yang dapat menimbulkan cedera, gangguan kesehatan, kerugian aset, gangguan produksi, hingga konsekuensi lingkungan. K3 berfungsi sebagai sistem pengujian kritis terhadap unsur manusia, sarana, lingkungan, dan prosedur agar kelemahan dapat dikoreksi sebelum menimbulkan kecelakaan[1]–[3]. Analisis kesehatan kerja di kilang migas penting untuk memahami paparan bahan berbahaya dan faktor yang berkontribusi terhadap insiden[4], [5]. Pendekatan K3 harus bergerak dari kepatuhan formal menuju identifikasi bahaya berbasis aktivitas, karena sumber risiko muncul pada langkah kerja spesifik seperti pengisian bahan kimia, pembukaan *valve*, inspeksi, dan *maintenance*.

Risiko dalam pekerjaan industri merupakan kombinasi antara kemungkinan terjadinya kejadian berbahaya dan tingkat keparahan dampaknya. Risiko yang berpotensi menimbulkan kerugian besar harus dikendalikan sejak awal karena dapat mengancam keselamatan pekerja[6]–[8]. Risiko sebagai dampak merugikan yang berasal dari aktivitas kerja, sedangkan risiko sebagai perpaduan antara probabilitas kejadian dan derajat keparahan cedera atau gangguan kesehatan [9], [10]. Semakin tinggi peluang kejadian dan semakin besar dampaknya, semakin tinggi tingkat risiko yang harus dikendalikan [11]–[13]. Berdasarkan konsep tersebut, risiko pada Unit SLPGT perlu dinilai melalui dua komponen utama, yaitu *likelihood* dan *consequence*, bukan hanya berdasarkan persepsi bahaya secara umum.

Metode *Job Safety Analysis* (JSA) relevan digunakan karena mampu memecah pekerjaan menjadi langkah-langkah kerja yang lebih rinci, kemudian mengidentifikasi bahaya pada setiap tahapan. JSA digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan risiko dalam aktivitas industri[14]. JSA sebagai metode untuk mengidentifikasi langkah kerja, potensi bahaya, serta pengendalian yang tepat [15]. Tahapan JSA mencakup pemilihan pekerjaan, penentuan urutan kerja, pengenalan bahaya pada setiap langkah, dan penentuan cara kerja yang lebih aman[16]. Dalam fasilitas LPG, JSA efektif untuk membaca risiko aktivitas yang melibatkan bahan mudah terbakar, tekanan, dan kesalahan prosedural.

HIRADC melengkapi JSA karena tidak hanya mengidentifikasi bahaya, tetapi juga menilai tingkat risiko dan menentukan kontrol. Pengelolaan risiko tidak dapat dilakukan dengan baik tanpa identifikasi bahaya dan penilaian risiko[17]. HIRADC dapat digunakan untuk menganalisis potensi bahaya dan menentukan pengendalian berdasarkan tingkat risiko [11]. Dalam penelitian ini, HIRADC menggunakan matriks risiko AS/NZS 4360 dengan skala *likelihood* dan *consequence* 1–5, sehingga risiko dapat diklasifikasikan menjadi rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Matriks ini penting untuk membedakan aktivitas yang memerlukan pengendalian segera dari aktivitas yang cukup dikendalikan melalui prosedur standar.

State of the art penelitian JSA-HIRADC menunjukkan bahwa kedua metode tersebut telah banyak digunakan dalam kajian risiko kerja. Namun, sebagian penelitian masih berhenti pada daftar bahaya dan rekomendasi umum. Pada unit proses seperti SLPGT, kebutuhan analisis lebih spesifik karena risiko tidak tersebar merata pada seluruh aktivitas. Risiko tertinggi cenderung terkonsentrasi pada aktivitas tertentu, terutama penanganan bahan kimia korosif, pembukaan *valve*, pengoperasian pompa, inspeksi peralatan bertekanan, *maintenance*, dan penanganan kebocoran. Karena itu, penelitian ini tidak hanya menyusun daftar risiko, tetapi memprioritaskan pengendalian berdasarkan tingkat risiko aktivitas.

Research gap penelitian ini terletak pada kurangnya kajian yang mengintegrasikan JSA dan HIRADC secara spesifik pada aktivitas kerja Unit SLPGT yang melibatkan LPG, MDEA, *caustic soda*, sistem tekanan tinggi, dan pekerjaan *maintenance*. Banyak penelitian K3 membahas risiko kerja secara umum, sementara risiko di SLPGT memiliki karakter proses yang khas, yaitu bahan mudah terbakar, bahan kimia korosif, tekanan operasi tinggi, potensi paparan gas, dan aktivitas operator yang langsung berinteraksi dengan peralatan proses. Gap berikutnya adalah masih kuatnya kecenderungan

pengendalian risiko yang berpusat pada APD, padahal pekerjaan dengan risiko kimia dan tekanan membutuhkan pengendalian berlapis melalui *engineering control*, pengendalian administratif, dan APD.

Novelty penelitian ini terletak pada penyusunan prioritas pengendalian risiko keselamatan kerja Unit SLPGT berbasis integrasi JSA-HIRADC. JSA digunakan untuk membedah aktivitas kerja menjadi langkah operasional, sedangkan HIRADC digunakan untuk menghitung tingkat risiko melalui kombinasi *likelihood* dan *consequence*. Dengan pendekatan ini, hasil penelitian tidak berhenti pada identifikasi bahaya, tetapi menghasilkan pemeringkatan risiko dan rekomendasi kontrol yang sesuai dengan karakter bahaya. Fokus pada Unit SLPGT membuat penelitian ini berada pada wilayah *process safety risk control*, bukan sekadar kajian K3 administratif.

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif berbasis JSA-HIRADC. Data diperoleh melalui observasi, wawancara, kuesioner, dan dokumen pendukung. Responden terdiri atas operator lapangan, supervisor atau *lead operator*, petugas *maintenance*, dan staf HSE yang memahami proses kerja serta potensi bahaya di Unit SLPGT. Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat 12 potensi bahaya yang diidentifikasi, terdiri atas 4 risiko tinggi, 5 risiko sedang, dan 3 risiko rendah. Risiko tertinggi ditemukan pada aktivitas penanganan *caustic soda* dan pembukaan *valve* karena memiliki peluang paparan cukup sering serta dampak cedera serius.

Penelitian ini bertujuan menganalisis dan merumuskan pengendalian risiko keselamatan kerja Unit SLPGT berbasis JSA-HIRADC. Fokus penelitian diarahkan pada aktivitas pengolahan LPG yang melibatkan *caustic soda*, MDEA, sistem bertekanan, operasi *valve*, inspeksi, *maintenance*, dan penanganan kebocoran. Kontribusi penelitian ini adalah menghasilkan dasar pengendalian risiko yang lebih terukur melalui pemetaan langkah kerja, identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan rekomendasi pengendalian berdasarkan prioritas. Dengan demikian, artikel berjudul “Pengendalian Risiko Keselamatan Kerja Unit SLPGT Berbasis JSA-HIRADC” menegaskan bahwa pengendalian risiko pada unit proses LPG harus berbasis aktivitas, tingkat risiko, dan hierarki pengendalian, bukan sekadar pemenuhan prosedur K3 umum.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif berbasis integrasi *Job Safety Analysis* (JSA) dan *Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control* (HIRADC). Pendekatan ini digunakan karena tujuan penelitian bukan hanya mendeskripsikan potensi bahaya, tetapi menyusun prioritas pengendalian risiko keselamatan kerja pada aktivitas operasional Unit SLPGT. JSA digunakan untuk memecah pekerjaan menjadi langkah kerja rinci, sedangkan HIRADC digunakan untuk menilai tingkat risiko berdasarkan kombinasi kemungkinan kejadian dan tingkat keparahan dampak.

Objek penelitian adalah aktivitas kerja pada Unit SLPGT PT Kilang Pertamina Balikpapan, khususnya aktivitas yang berhubungan dengan pengolahan LPG, pengoperasian peralatan, pengisian dan sirkulasi *caustic soda*, pembukaan *valve*, inspeksi, *maintenance*, serta penanganan kebocoran. Unit SLPGT dipilih karena melibatkan LPG, MDEA 35%, *caustic soda* 15%, sistem bertekanan, *vessel*, pompa, *valve*, dan aktivitas pekerja yang memiliki potensi bahaya kimia, mekanik, tekanan, gas, serta paparan kondisi tidak normal.

Subjek penelitian terdiri atas 10 responden yang dipilih secara *purposive*, yaitu 4 operator lapangan, 2 supervisor atau *lead operator*, 2 petugas *maintenance*, dan 2 staf HSE. Kriteria responden meliputi keterlibatan langsung dalam aktivitas Unit SLPGT, pengalaman kerja minimal dua tahun, memahami proses kerja, mengetahui potensi bahaya, dan bersedia memberikan informasi mengenai kondisi keselamatan kerja. Pemilihan responden ini sesuai dengan kebutuhan JSA-HIRADC karena analisis risiko membutuhkan informasi dari pekerja yang memahami urutan kerja, kondisi peralatan, kebiasaan operasi, dan pengendalian yang sudah berjalan.

Tabel 1. Desain Variabel Penelitian

Variabel	Kode	Definisi Operasional	Fungsi	Skala
Potensi bahaya kerja	X	Sumber bahaya pada aktivitas Unit SLPGT, meliputi bahaya kimia, tekanan, mekanik, gas, ergonomi, dan lingkungan kerja.	Variabel bebas	Kualitatif-kategorik
Tingkat risiko keselamatan kerja	Y	Besarnya risiko yang dihitung dari kombinasi <i>likelihood</i> dan <i>consequence</i> pada setiap aktivitas kerja.	Variabel terikat	Skor risiko

Variabel	Kode	Definisi Operasional	Fungsi	Skala
Pengendalian risiko	Z	Tindakan teknis, administratif, dan APD yang ditetapkan berdasarkan tingkat risiko.	Output rekomendasi	Kualitatif-prioritas

Sumber : Hasil Observasi (2026)

Variabel bebas berupa potensi bahaya yang muncul pada setiap tahapan aktivitas kerja. Variabel terikat berupa tingkat risiko yang dihitung melalui nilai *likelihood* dan *consequence*. Output akhir penelitian berupa pengendalian risiko yang disusun berdasarkan kategori risiko dan hierarki pengendalian.

Tabel 2. Aktivitas Kerja yang Dianalisis dengan JSA

Kode	Aktivitas Kerja	Fokus Bahaya Utama	Alasan Pemilihan
A1	Persiapan kerja dan <i>briefing</i>	Ketidaksesuaian informasi, APD tidak lengkap, izin kerja belum jelas	Aktivitas awal yang menentukan kesiapan kerja aman.
A2	Pembukaan dan penutupan <i>valve</i>	Tekanan tinggi, kebocoran LPG, paparan gas, salah urutan <i>valve</i>	Aktivitas langsung berhubungan dengan sistem bertekanan.
A3	Pengoperasian pompa LPG/ <i>chemical</i>	Peralatan berputar, kebisingan, getaran, kebocoran <i>seal</i>	Aktivitas berpotensi menimbulkan bahaya mekanik dan proses.
A4	Pengisian <i>caustic soda</i> 15%	Paparan bahan kimia korosif, percikan, luka bakar kimia	Aktivitas dengan bahaya kimia paling dominan.
A5	Sirkulasi <i>caustic soda</i>	Kebocoran line, kontak kulit/mata, area licin	Aktivitas berulang dengan potensi paparan kimia.
A6	Inspeksi rutin peralatan	Paparan gas, tekanan, area panas, terpeleset	Aktivitas lapangan pada unit yang sedang beroperasi.
A7	Sampling/pengecekan proses	Paparan uap/gas, cairan proses, salah <i>handling</i>	Aktivitas kontak dekat dengan material proses.
A8	<i>Maintenance</i> ringan	Energi tersimpan, peralatan bertekanan, <i>pinch point</i>	Aktivitas memerlukan isolasi energi dan koordinasi.
A9	Penanganan kebocoran	Paparan LPG, caustic, H ₂ S, kebakaran	Aktivitas kondisi tidak normal dengan konsekuensi tinggi.
A10	<i>Housekeeping</i> area kerja	Area basah, tumpahan bahan kimia, tersandung	Aktivitas pendukung untuk mencegah slip/trip/fall.
A11	Penggantian komponen/ <i>valve</i> kecil	Sisa tekanan, kontak bahan kimia, salah isolasi	Aktivitas <i>maintenance</i> dengan risiko pelepasan energi.
A12	<i>Emergency response</i> awal	Keterlambatan respons, salah komunikasi, paparan gas	Aktivitas kritis saat kondisi abnormal terjadi.

Sumber : Hasil Observasi (2026)

Tabel 2 menunjukkan aktivitas kerja yang dianalisis karena memiliki potensi paparan langsung terhadap LPG, caustic soda, MDEA, tekanan, peralatan berputar, dan kondisi darurat. Pemilihan aktivitas tidak dilakukan secara umum, tetapi berdasarkan keterkaitan langsung dengan operasi SLPGT dan potensi kecelakaan kerja yang dapat muncul pada setiap langkah kerja.

Tabel 3. Skala Likelihood

Skor	Kategori	Definisi Operasional
1	<i>Very unlikely</i>	Hampir tidak pernah terjadi dalam kondisi kerja normal.
2	<i>Unlikely</i>	Dapat terjadi, tetapi jarang.
3	<i>Possible</i>	Dapat terjadi pada kondisi tertentu.
4	<i>Likely</i>	Dapat terjadi secara berkala.
5	<i>Almost certain</i>	Dapat terjadi kapan saja atau sering muncul pada aktivitas kerja.

Sumber : Hasil Observasi (2026)

Tabel 4. Skala Consequence

Skor	Kategori	Definisi Operasional
1	<i>Insignificant</i>	Tidak menimbulkan cedera atau hanya kerugian kecil.

Skor	Kategori	Definisi Operasional
2	<i>Minor</i>	Cedera ringan, penanganan sederhana, gangguan kerja terbatas.
3	<i>Moderate</i>	Cedera sedang, membutuhkan penanganan medis, kerugian produksi terbatas.
4	<i>Major</i>	Cedera berat, gangguan produksi signifikan, potensi kerusakan aset.
5	<i>Catastrophic</i>	<i>Fatality</i> , dampak luas, kerusakan besar, operasi berhenti total.

Sumber : Hasil Observasi (2026)

Penilaian *likelihood* dan *consequence* mengacu pada matriks risiko AS/NZS 4360 yang digunakan dalam proposal penelitian. Skor *likelihood* menunjukkan peluang terjadinya bahaya, sedangkan *consequence* menunjukkan tingkat keparahan dampak bila bahaya terjadi.

Tabel 5. Kategori Tingkat Risiko

Skor Risiko	Kategori	Interpretasi	Tindakan Pengendalian
1–3	<i>Low</i>	Risiko rendah dan masih dapat diterima dengan Monitoring dan APD standar. pengendalian rutin.	
4–9	<i>Medium</i>	Risiko perlu dikendalikan melalui prosedur dan SOP, <i>briefing</i> , inspeksi, supervisi. pengawasan.	
10–16	<i>High</i>	Risiko tidak dapat dibiarkan tanpa pengendalian <i>Engineering control</i> , izin kerja, tambahan. pengawasan ketat.	
20–25	<i>Very high</i>	Risiko kritis dan memerlukan penghentian/penundaan <i>Stop work, redesign</i> , isolasi, kerja sampai kontrol efektif. kontrol teknis wajib.	

Sumber : Hasil Observasi (2026)

Skor risiko dihitung menggunakan rumus:

$$RR = L \times C$$

Keterangan:

RR : *Risk rating* atau tingkat risiko

L : *Likelihood* atau kemungkinan kejadian

C : *Consequence* atau tingkat keparahan dampak

Metode HIRADC digunakan untuk menentukan prioritas pengendalian. Aktivitas dengan risiko tinggi dan sangat tinggi harus memperoleh kontrol lebih kuat dibanding aktivitas dengan risiko sedang atau rendah.

Tabel 6. Tahapan Analisis JSA-HIRADC

Tahap	Teknik	Tujuan	Keluaran
1	Observasi lapangan	Mengamati aktivitas aktual di Unit SLPGT.	Daftar aktivitas kerja dan kondisi bahaya.
2	Wawancara responden	Menggali pengalaman pekerja terkait bahaya dan kontrol yang berjalan.	Informasi bahaya aktual dan potensi kejadian.
3	Kuesioner risiko	Mengumpulkan persepsi pekerja terhadap <i>likelihood</i> dan <i>consequence</i> .	Skor pendukung penilaian risiko.
4	<i>Job Safety Analysis</i>	Memecah pekerjaan menjadi langkah kerja dan bahaya tiap langkah.	Matriks JSA aktivitas-bahaya-dampak.
5	HIRADC	Menilai <i>likelihood</i> , <i>consequence</i> , dan <i>risk rating</i> .	Kategori risiko <i>low</i> , <i>medium</i> , <i>high</i> , <i>very high</i> .
6	Penentuan kontrol	Menyusun pengendalian berdasarkan hierarki kontrol.	Rekomendasi <i>engineering</i> , administratif, dan APD.
7	Prioritas pengendalian	Menentukan aktivitas yang harus dikendalikan lebih dulu.	Daftar prioritas pengendalian risiko.

Sumber : Hasil Observasi (2026)

Data primer diperoleh melalui observasi, wawancara, dan kuesioner. Observasi digunakan untuk melihat kondisi kerja aktual, seperti kondisi area, aktivitas operator, penggunaan APD, potensi tumpahan, posisi *valve*, akses kerja, dan aktivitas *maintenance*. Wawancara digunakan untuk memperoleh informasi dari operator, supervisor, *maintenance*, dan HSE terkait bahaya yang pernah muncul, aktivitas paling berisiko, serta pengendalian yang sudah diterapkan. Kuesioner digunakan untuk mendukung penilaian *likelihood* dan *consequence* secara lebih sistematis.

Data sekunder diperoleh dari dokumen pendukung seperti SOP, instruksi kerja, dokumen K3, standar APD, catatan inspeksi, dan referensi metode JSA-HIRADC. Data sekunder tidak digunakan sebagai pengganti observasi, tetapi sebagai dasar validasi agar penilaian risiko tetap sesuai dengan kondisi operasi dan standar keselamatan perusahaan.

Pengolahan data dilakukan melalui tiga tahap utama. Tahap pertama adalah penyusunan JSA. Pada tahap ini, setiap aktivitas kerja dipecah menjadi langkah kerja, potensi bahaya, dampak, dan kontrol awal. Tahap kedua adalah penilaian HIRADC. Pada tahap ini, setiap bahaya diberi skor *likelihood* dan *consequence*, kemudian dihitung risk rating. Tahap ketiga adalah penentuan pengendalian risiko berdasarkan kategori risiko dan hierarki kontrol.

Pengendalian risiko disusun dengan mempertimbangkan prinsip hierarki pengendalian. Prioritas pertama adalah pengendalian teknik, seperti deteksi gas, ventilasi, perbaikan desain akses, containment, pengamanan line, dan penggunaan peralatan yang lebih aman. Prioritas kedua adalah pengendalian administratif, seperti SOP, izin kerja, safety briefing, inspeksi berkala, *checklist*, pembatasan area, komunikasi kerja, dan pelatihan. Prioritas ketiga adalah APD, seperti sarung tangan tahan bahan kimia, *goggles*, *face shield*, respirator, *chemical suit*, dan *safety shoes*. Pendekatan ini digunakan karena risiko kimia dan tekanan di Unit SLPGT tidak cukup dikendalikan hanya melalui APD.

Analisis akhir dilakukan dengan membandingkan jumlah risiko pada setiap kategori. Aktivitas dengan *risk rating* tinggi diposisikan sebagai prioritas utama karena memiliki kombinasi *likelihood* dan *consequence* yang lebih serius. Dalam penelitian ini, hasil awal menunjukkan bahwa terdapat 12 potensi bahaya yang terdiri atas 4 risiko tinggi, 5 risiko sedang, dan 3 risiko rendah. Risiko tertinggi ditemukan pada aktivitas penanganan *caustic soda* dan pembukaan *valve* karena memiliki potensi paparan kimia, pelepasan tekanan, dan cedera serius.

Penelitian tidak berhenti pada identifikasi bahaya, tetapi menghasilkan pemetaan risiko dan prioritas pengendalian yang dapat digunakan perusahaan untuk memperkuat keselamatan kerja Unit SLPGT. Pendekatan JSA-HIRADC memastikan bahwa setiap rekomendasi kontrol berangkat dari aktivitas aktual, tingkat risiko, dan kebutuhan perlindungan pekerja pada proses LPG yang melibatkan bahan kimia dan sistem bertekanan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Profil Responden dan Aktivitas Kerja Unit SLPGT

Penelitian ini melibatkan 10 responden yang dipilih secara purposive karena memiliki keterlibatan langsung dalam aktivitas operasional, pemeliharaan, dan pengawasan keselamatan kerja Unit SLPGT. Responden terdiri atas operator lapangan, supervisor atau *lead operator*, petugas *maintenance*, dan staf HSE. Komposisi tersebut dinilai memadai untuk analisis JSA-HIRADC karena responden mewakili pihak yang memahami urutan kerja, potensi bahaya, kondisi peralatan, serta kontrol keselamatan yang berjalan di area kerja.

Tabel 7. Profil Responden Penelitian

Responden	Jumlah	Persentase	Peran dalam Analisis Risiko
Operator lapangan	4	40%	Memberikan informasi aktivitas aktual, penggunaan APD, pembukaan <i>valve</i> , inspeksi, dan kondisi area kerja.
Supervisor/ <i>lead operator</i>	2	20%	Memvalidasi urutan kerja, pengawasan, izin kerja, dan kepatuhan SOP.
Petugas <i>maintenance</i>	2	20%	Mengidentifikasi risiko perawatan, isolasi energi, penggantian komponen, dan potensi pelepasan tekanan.

Responden	Jumlah	Persentase	Peran dalam Analisis Risiko
Staf HSE	2	20%	Memvalidasi penilaian risiko, kontrol K3, dan rekomendasi pengendalian.
Total	10	100%	-

Sumber : Hasil Olahan Data (2026)

Aktivitas kerja yang dianalisis mencakup operasi normal, penanganan bahan kimia, inspeksi, *maintenance*, serta respon awal terhadap kebocoran atau kondisi darurat. Berdasarkan observasi dan wawancara, bahaya paling dominan muncul pada aktivitas yang melibatkan kontak dengan *caustic soda*, sistem bertekanan, pembukaan *valve*, area basah, dan kemungkinan paparan gas. Temuan ini konsisten dengan karakter Unit SLPGT yang menggunakan LPG, MDEA, *caustic soda*, pompa, *vessel*, *valve*, dan peralatan proses bertekanan.

b) Hasil Identifikasi Bahaya dengan JSA

Job Safety Analysis digunakan untuk memecah aktivitas kerja menjadi unit analisis yang lebih spesifik. Setiap aktivitas dievaluasi berdasarkan potensi bahaya, dampak, dan kontrol awal yang telah diterapkan. Hasil identifikasi menunjukkan terdapat 12 potensi bahaya utama pada Unit SLPGT.

Tabel 8. Hasil Identifikasi Bahaya Berbasis JSA

Kode	Aktivitas Kerja	Potensi Bahaya	Dampak Potensial	Kontrol Eksisting
H1	Persiapan kerja dan <i>briefing</i>	Informasi kerja tidak lengkap, APD tidak sesuai	Salah prosedur, paparan bahaya sejak awal pekerjaan	<i>Briefing</i> , <i>toolbox meeting</i> , pemeriksaan APD
H2	Pembukaan/penutupan <i>valve</i>	Tekanan tinggi, pelepasan LPG/gas, salah urutan <i>valve</i>	Paparan gas, cedera tekanan, kebakaran	SOP, <i>permit to work</i> , komunikasi operator
H3	Pengoperasian pompa	Bagian berputar, kebisingan, getaran, kebocoran <i>seal</i>	Cedera mekanik, gangguan pendengaran, kebocoran fluida	<i>Guarding</i> , inspeksi, APD
H4	Pengisian <i>caustic soda</i> 15%	Percikan bahan kimia korosif	Luka bakar kimia, iritasi kulit/mata	Sarung tangan, goggles, face shield
H5	Sirkulasi <i>caustic soda</i>	Kebocoran line, area licin, kontak kimia	Terpeleset, luka kimia, paparan uap/aerosol	Inspeksi line, <i>housekeeping</i> , APD
H6	Inspeksi rutin peralatan	Paparan gas, permukaan panas, area basah	Iritasi pernapasan, luka ringan, <i>slip/trip/fall</i>	Gas detector, <i>safety shoes</i> , rute inspeksi
H7	Sampling/pengecekan proses	Paparan cairan proses, uap/gas, salah <i>handling</i>	Iritasi, luka kimia, inhalasi gas	SOP <i>sampling</i> , APD, wadah <i>sampling</i>
H8	Maintenance ringan	Energi tersimpan, <i>pinch point</i> , salah isolasi	Cedera tangan, pelepasan tekanan, kontak bahan kimia	LOTO, <i>permit</i> , supervisi
H9	Penanganan kebocoran	LPG/gas, H ₂ S, <i>caustic</i> , potensi kebakaran	Keracunan, luka kimia, kebakaran/ledakan	<i>Emergency response</i> , <i>gas detector</i> , isolasi area
H10	<i>Housekeeping</i> area kerja	Tumpahan, area basah, material berserakan	Terpeleset, tersandung, kontak bahan kimia	Pembersihan berkala, rambu, drainase
H11	Penggantian komponen/ <i>valve</i> kecil	Sisa tekanan, sisa bahan kimia, alat kerja tidak sesuai	Cedera tekanan, luka kimia, cedera mekanik	LOTO, <i>depressurizing</i> , <i>tools inspection</i>
H12	Respons kondisi darurat	Komunikasi terlambat, salah tindakan awal	Eskalasi insiden, keterlambatan evakuasi	Alarm, jalur evakuasi, simulasi darurat

Sumber : Hasil Olahan Data (2026)

Hasil JSA menunjukkan bahwa bahaya kimia, tekanan, dan pelepasan gas menjadi pola dominan pada aktivitas Unit SLPGT. Risiko tidak hanya berasal dari material proses, tetapi juga dari interaksi pekerja dengan peralatan, keterbatasan kontrol awal, dan potensi kegagalan komunikasi. Aktivitas pembukaan *valve*, pengisian *caustic soda*, *maintenance*, dan penanganan kebocoran menjadi titik paling kritis karena langsung berhubungan dengan pelepasan energi, bahan kimia, dan kondisi tidak normal.

c) Hasil Penilaian Risiko dengan HIRADC

Setelah bahaya diidentifikasi melalui JSA, setiap bahaya dinilai menggunakan HIRADC dengan parameter *likelihood* dan *consequence*. Skor risiko dihitung dengan rumus $RR = L \times C$. Hasil penilaian risiko ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Penilaian Risiko HIRADC

Kode	Aktivitas Kerja	L	C	RR	Kategori Risiko	Prioritas
H4	Pengisian <i>caustic soda</i> 15%	4	4	16	High	1
H9	Penanganan kebocoran	3	5	15	High	2
H2	Pembukaan/penutupan <i>valve</i>	4	3	12	High	3
H8	<i>Maintenance</i> ringan	3	4	12	High	4
H5	Sirkulasi <i>caustic soda</i>	3	3	9	Medium	5
H11	Penggantian komponen/ <i>valve</i> kecil	3	3	9	Medium	6
H7	<i>Sampling</i> /pengecekan proses	3	3	9	Medium	7
H6	Inspeksi rutin peralatan	3	2	6	Medium	8
H3	Pengoperasian pompa	2	3	6	Medium	9
H10	<i>Housekeeping</i> area kerja	2	2	4	Medium	10
H12	Respon kondisi darurat	2	2	4	Medium	11
H1	Persiapan kerja dan <i>briefing</i>	1	2	2	Low	12

Sumber : Hasil Olahan Data (2026)

Berdasarkan Tabel 9, terdapat 4 risiko kategori tinggi, 7 risiko kategori sedang, dan 1 risiko kategori rendah. Risiko tertinggi ditemukan pada aktivitas pengisian *caustic soda* 15% dengan skor 16. Aktivitas ini memiliki *likelihood* tinggi karena pekerjaan dilakukan secara langsung dengan bahan kimia korosif, sedangkan *consequence* tinggi karena paparan dapat menyebabkan luka bakar kimia, cedera mata, dan iritasi pernapasan.

Penanganan kebocoran berada pada prioritas kedua dengan skor risiko 15. Walaupun *likelihood* lebih rendah dibanding aktivitas rutin, *consequence* sangat tinggi karena kebocoran LPG/gas dapat menimbulkan paparan toksik, kebakaran, ledakan, atau eskalasi insiden. Pembukaan dan penutupan *valve* memperoleh skor 12 karena aktivitas ini berkaitan langsung dengan sistem bertekanan dan potensi pelepasan LPG atau gas apabila urutan kerja tidak tepat.

Maintenance ringan juga masuk kategori tinggi dengan skor 12. Risiko ini muncul karena adanya kemungkinan energi tersimpan, isolasi yang tidak sempurna, kontak dengan bahan kimia, dan potensi cedera mekanik. Temuan ini menunjukkan bahwa pekerjaan *maintenance* pada unit proses tidak dapat diperlakukan sebagai pekerjaan rutin biasa, tetapi harus dikendalikan melalui isolasi energi, izin kerja, dan pengawasan ketat.

d) Distribusi Kategori Risiko

Distribusi risiko digunakan untuk membaca profil keselamatan Unit SLPGT secara keseluruhan. Distribusi ini membantu menentukan proporsi aktivitas yang membutuhkan pengendalian segera.

Tabel 10. Distribusi Kategori Risiko

Kategori Risiko	Jumlah Bahaya	Persentase	Makna Pengendalian
High	4	33,33%	Membutuhkan pengendalian tambahan dan prioritas segera.
Medium	7	58,33%	Membutuhkan penguatan SOP, supervisi, dan monitoring.
Low	1	8,33%	Dapat dikendalikan melalui kontrol rutin.

Kategori Risiko Jumlah Bahaya Persentase				Makna Pengendalian
Total	12	100%	-	

Sumber : Hasil Olahan Data (2026)

Sebanyak 33,33% bahaya berada pada kategori tinggi. Angka ini menunjukkan bahwa sepertiga aktivitas kerja utama pada Unit SLPGT memiliki tingkat risiko yang tidak dapat diterima tanpa pengendalian tambahan. Kategori medium mendominasi sebesar 58,33%, yang berarti sebagian besar aktivitas kerja masih memerlukan penguatan kontrol administratif dan *monitoring*. Hanya satu bahaya berada pada kategori rendah, yaitu persiapan kerja dan briefing, karena aktivitas tersebut memiliki konsekuensi rendah bila dilakukan sesuai prosedur.

Distribusi ini menegaskan bahwa pengendalian risiko pada SLPGT harus diprioritaskan pada aktivitas *high risk*, tetapi *medium risk* tetap tidak boleh diabaikan karena aktivitas seperti *sampling*, inspeksi, dan sirkulasi *caustic* dilakukan berulang dan dapat meningkat menjadi risiko tinggi jika kontrol melemah.

e) Prioritas Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko disusun berdasarkan kategori risiko dan karakter bahaya. Aktivitas *high risk* membutuhkan pengendalian teknik dan administratif yang lebih kuat, sedangkan aktivitas *medium risk* membutuhkan pengawasan, SOP, inspeksi, dan perbaikan disiplin kerja.

Tabel 11. Prioritas Pengendalian Risiko Unit SLPGT

Prioritas	Aktivitas	Risiko Utama	Kontrol yang Direkomendasikan	Jenis Kontrol
1	Pengisian <i>caustic soda</i> 15%	Luka bakar kimia, iritasi mata, paparan aerosol	Sistem transfer tertutup, <i>eyewash-shower</i> , <i>containment tray</i> , <i>chemical spill kit</i> , APD kimia lengkap	Engineering, APD
2	Penanganan kebocoran	Paparan LPG/H ₂ S, kebakaran, ledakan	<i>Fixed gas detector</i> , <i>portable gas detector</i> , isolasi area, <i>emergency shutdown</i> , latihan respon kebocoran	Engineering, administratif
3	Pembukaan/penutupan <i>valve</i>	Pelepasan tekanan, kebocoran LPG/gas	<i>Valve operating procedure</i> , <i>double-check system</i> , komunikasi <i>closed-loop</i> , <i>depressurizing checklist</i>	Administratif, engineering
4	<i>Maintenance</i> ringan	Energi tersimpan, salah isolasi, kontak kimia	LOTO, <i>permit to work</i> , <i>line breaking procedure</i> , <i>gas test</i> , supervisi HSE	Administratif, engineering
5	Sirkulasi <i>caustic soda</i>	Kebocoran <i>line</i> , area licin, paparan kimia	<i>Inspeksi flange/line</i> , <i>bunding</i> , <i>housekeeping</i> , <i>chemical-resistant glove</i>	Engineering, APD
6	Penggantian komponen/ <i>valve</i> kecil	Sisa tekanan, sisa bahan kimia	<i>Depressurizing</i> , <i>flushing</i> , LOTO, <i>tools inspection</i>	Administratif
7	<i>Sampling</i> /pengecekan proses	Paparan uap/gas dan cairan proses	<i>Closed sampling</i> , SOP <i>sampling</i> , <i>face shield</i> , respirator sesuai kebutuhan	Engineering, APD
8	Inspeksi rutin	Paparan gas, area panas, slip/trip	Rute inspeksi aman, <i>gas detector</i> , inspeksi <i>housekeeping</i>	Administratif
9	Pengoperasian pompa	Bagian berputar, getaran, kebocoran <i>seal</i>	<i>Guarding</i> , <i>vibration monitoring</i> , <i>seal inspection</i> , <i>hearing protection</i>	Engineering, APD
10	<i>Housekeeping</i>	Tumpahan dan area basah	<i>Drainase</i> , <i>spill response</i> , rambu area licin	Administratif
11	Respon kondisi darurat	Salah tindakan awal, keterlambatan komunikasi	<i>Emergency drill</i> , <i>muster point check</i> , simulasi komunikasi	Administratif
12	Persiapan kerja	Informasi tidak lengkap	<i>Toolbox meeting</i> , APD <i>checklist</i> , <i>permit verification</i>	Administratif

Sumber : Hasil Olahan Data (2026)

Prioritas pertama adalah pengisian *caustic soda* karena aktivitas ini memiliki paparan langsung terhadap bahan kimia korosif. Pengendalian tidak cukup hanya menggunakan sarung tangan dan *face shield*. Diperlukan sistem transfer yang lebih tertutup, *containment tray*, *eyewash-shower*, dan *spill kit* agar risiko kontak langsung dapat ditekan sejak sumber bahaya. Prioritas kedua adalah penanganan kebocoran. Aktivitas ini perlu dikendalikan melalui deteksi gas, isolasi area, ESD, dan latihan respon kebocoran. Bahaya kebocoran tidak boleh hanya dikendalikan melalui respons pekerja setelah kejadian, tetapi harus didukung sistem deteksi dan isolasi yang cepat.

Prioritas ketiga adalah pembukaan dan penutupan *valve*. Aktivitas ini tampak rutin, tetapi memiliki risiko tinggi karena salah urutan pembukaan *valve* dapat menyebabkan pelepasan tekanan, kebocoran, atau gangguan proses. Pengendalian utama harus menekankan *valve operating procedure*, *double-check*, komunikasi *closed-loop*, dan *checklist depressurizing*. Prioritas keempat adalah *maintenance* ringan. Aktivitas *maintenance* membutuhkan kontrol administratif yang ketat karena berhubungan dengan energi tersimpan, *line breaking*, dan potensi kontak bahan kimia. LOTO, *permit to work*, *gas test*, dan supervisi harus menjadi syarat kerja, bukan sekadar formalitas.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa risiko keselamatan kerja Unit SLPGT terkonsentrasi pada aktivitas yang melibatkan bahan kimia korosif, sistem bertekanan, dan kondisi tidak normal. Pengisian *caustic soda* menjadi risiko tertinggi karena pekerja berhadapan langsung dengan bahan kimia yang dapat menimbulkan luka bakar dan cedera mata. Aktivitas ini harus diposisikan sebagai risiko kimia kritis, bukan pekerjaan rutin pengisian bahan.

Penanganan kebocoran menjadi risiko prioritas karena memiliki *consequence* paling tinggi. Kebocoran LPG atau gas berbahaya dapat berkembang menjadi kebakaran, ledakan, atau paparan toksik. Walaupun kejadian kebocoran tidak selalu sering, dampaknya sangat besar. Karena itu, *risk rating* aktivitas ini tetap berada pada kategori *high*. Temuan ini menunjukkan pentingnya memperkuat deteksi gas, isolasi area, dan latihan respon darurat.

Pembukaan *valve* menjadi aktivitas dengan risiko tinggi karena pekerja berinteraksi langsung dengan sistem bertekanan. *Valve operation* sering dianggap rutin, tetapi pada sistem LPG bertekanan, kesalahan kecil dapat menghasilkan pelepasan gas atau *pressure surge*. Pengendalian *valve operation* harus berbasis prosedur langkah demi langkah, verifikasi dua pihak, dan komunikasi yang jelas.

Maintenance ringan juga masuk risiko tinggi karena potensi energi tersimpan tidak selalu terlihat. Peralatan yang tampak tidak aktif masih dapat menyimpan tekanan, fluida kimia, atau energi mekanik. Oleh sebab itu, LOTO dan *line breaking procedure* harus menjadi kontrol utama. Tanpa isolasi energi yang benar, pekerjaan *maintenance* dapat menjadi sumber pelepasan energi tidak terkendali.

Hasil temuan bahwa sebagian besar risiko berada pada kategori *medium* menunjukkan bahwa Unit SLPGT membutuhkan pengendalian berlapis. Risiko *medium* seperti *sampling*, inspeksi, sirkulasi *caustic*, dan *housekeeping* tetap berbahaya karena aktivitas tersebut dilakukan berulang. Aktivitas berulang dengan risiko sedang dapat menghasilkan akumulasi *exposure* yang signifikan. Karena itu, pengawasan, *housekeeping*, dan konsistensi APD tetap menjadi bagian penting dari pengendalian.

Integrasi JSA-HIRADC terbukti membantu membaca risiko secara lebih tajam. JSA membedah pekerjaan ke dalam aktivitas spesifik, sedangkan HIRADC memberikan skor prioritas. Tanpa JSA, risiko dapat terlalu umum. Tanpa HIRADC, daftar bahaya tidak memiliki prioritas. Kombinasi keduanya membuat rekomendasi pengendalian lebih berbasis aktivitas dan tingkat risiko.

Secara praktis, hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendalian risiko tidak boleh hanya menekankan APD. APD diperlukan, tetapi bukan kontrol utama untuk bahaya kimia dan tekanan. Risiko *caustic soda* membutuhkan *containment*, *eyewash*, dan sistem transfer yang lebih aman. Risiko kebocoran membutuhkan deteksi gas dan isolasi area. Risiko *valve operation* membutuhkan prosedur dan verifikasi. Risiko *maintenance* membutuhkan LOTO dan *permit to work*. Dengan demikian, pengendalian risiko harus mengikuti hierarki kontrol.

I. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian risiko keselamatan kerja pada Unit SLPGT perlu dilakukan secara terstruktur melalui integrasi JSA dan HIRADC. Hasil identifikasi JSA menemukan 12 potensi bahaya utama yang berasal dari aktivitas persiapan kerja, pembukaan dan penutupan *valve*, pengoperasian pompa, pengisian dan sirkulasi *caustic soda*, inspeksi, *sampling*, *maintenance*,

penggantian komponen, penanganan kebocoran, housekeeping, serta respon kondisi darurat. Bahaya dominan berkaitan dengan paparan bahan kimia korosif, tekanan tinggi, kebocoran LPG/gas, energi tersimpan, area basah, dan kesalahan prosedural.

Hasil penilaian HIRADC menunjukkan bahwa terdapat 4 risiko kategori tinggi, 7 risiko kategori sedang, dan 1 risiko kategori rendah. Risiko tertinggi terdapat pada aktivitas pengisian caustic soda 15% dengan nilai risiko 16, diikuti penanganan kebocoran dengan nilai risiko 15, pembukaan/penutupan valve dengan nilai risiko 12, dan maintenance ringan dengan nilai risiko 12. Temuan ini menegaskan bahwa risiko utama Unit SLPGT terkonsentrasi pada aktivitas yang melibatkan bahan kimia korosif, sistem bertekanan, dan kondisi operasi tidak normal.

Pengendalian risiko yang direkomendasikan perlu mengikuti hierarki kontrol. Aktivitas pengisian caustic soda membutuhkan sistem transfer tertutup, *containment tray*, *eyewash-shower*, *spill kit*, dan APD kimia lengkap. Penanganan kebocoran memerlukan *fixed gas detector*, *portable gas detector*, isolasi area, *emergency shutdown*, dan latihan respons kebocoran. Aktivitas valve operation membutuhkan prosedur pembukaan valve, *double-check system*, komunikasi *closed-loop*, dan checklist depressurizing. Pekerjaan maintenance memerlukan LOTO, *permit to work*, *line breaking procedure*, *gas test*, dan supervisi HSE.

Penelitian ini menegaskan bahwa pengendalian risiko Unit SLPGT tidak cukup mengandalkan APD, tetapi harus memperkuat pengendalian teknik dan administratif. Integrasi JSA-HIRADC membantu perusahaan menentukan aktivitas prioritas, memilih jenis kontrol yang sesuai, dan memperkuat sistem keselamatan kerja berbasis tingkat risiko. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan pengukuran kuantitatif paparan kimia, konsentrasi gas, data historis insiden, serta evaluasi efektivitas kontrol setelah rekomendasi diterapkan

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT Kilang Pertamina Balikpapan, khususnya Unit SLPGT, atas dukungan data, akses observasi, dan informasi teknis yang diberikan selama penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada operator lapangan, supervisor, petugas *maintenance*, dan staf HSE yang telah berpartisipasi sebagai responden. Penulis berterima kasih kepada dosen pembimbing dan pihak akademik atas arahan dalam penyusunan artikel ini. Dukungan seluruh pihak membantu penelitian ini dalam merumuskan pengendalian risiko keselamatan kerja Unit SLPGT berbasis JSA-HIRADC secara lebih terarah dan relevan dengan kondisi operasi.

REFERENCES

- [1] M. A. Jumali and E. B. Utomo, "CHANGE-ORIENTED LEADERSHIP: SAFETY COMMITMENT OR PERFORMANCE BEHAVIOR," *J. Tek. WAKTU*, vol. 16, no. 2, pp. 36–46, 2018, [Online]. Available: <http://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/waktu/article/view/1666/1542>
- [2] M. Albar and A. Prasetyo, "Occupational Safety Management in Oil and Gas Industry," *J. Ind. Saf.*, 2022.
- [3] M. A. Jumali, Rusdiyantoro, Yitno Utomo, Moch. Fatur Aangga Pratama, and Harno Suntoko, "Implementation of Workplace Safety in the Welding Industry: Challenges and Solutions," *Tibuana*, vol. 8, no. 1, pp. 9–14, 2025, doi: 10.36456/tibuana.8.1.9978.9-14.
- [4] R. Septian, "Occupational Health Analysis in Refinery Operations," *Indones. J. Process Saf.*, 2023.
- [5] M. A. Jumali, Rusdiyantoro, A. R. Maulidah, and Y. Utomo, "Rearranging First-In First-Out (FIFO) Parts Layouts," *PROZIMA (Productivity, Optim. Manuf. Syst. Eng.)*, vol. 6, no. 2 SE-Articles, Jan. 2023, doi: 10.21070/prozima.v6i2.1580.
- [6] B. Prasisko and M. A. Jumali, "Identifikasi Jalur Kritis pada Proses Pemindahan Sarana Produksi Krimer Retail dengan Metode CPM pada PT X," *Fact. J. Ind. Manaj. dan Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 4, no. 2 SE-Articles, pp. 246–257, Jan. 2026, doi: 10.56211/factory.v4i2.1382.

- [7] R. D. Hernando and M. A. Jumali, "ANALISIS PENJADWALAN PROYEK PEMINDAHAN PENATAAN SELECTIVE RACKING DI GUDANG LOGISTIK MENGGUNAKAN CPM-PERT," *J. Bisnis, Logistik dan Supply Chain*, vol. 5, no. 2 SE-Articles, pp. 44–50, Nov. 2025, doi: 10.55122/blogchain.v5i2.1848.
- [8] B. Setiyoso and H. Nugroho, "Risk Assessment and Safety Evaluation in Industrial Operations," *J. Risk Eng.*, 2019.
- [9] F. Nadhila and A. Putri, "Probability and Consequence Approach in Occupational Risk Assessment," *J. Occup. Health*, 2018.
- [10] R. Triswandana and N. Armaeni, "Occupational Risk Identification in Industrial Workplace," *J. Saf. Environ.*, 2020.
- [11] T. Ihsan, T. Edwin, and R. Irawan, "Implementation of HIRADC for Workplace Risk Control," *J. Eng. Saf.*, 2020.
- [12] M. GANGULY, R. AYNAYAS, and A. NANDAN, "JSACC model: an approach to optimize the gap in job safety analysis (JSA) to map out inherent risks," *Int. J. Innov. Eng. Res. Manag. ISSN*, pp. 2348–4918, 2018.
- [13] W. Li, Q. Cao, M. He, and Y. Sun, "Industrial non-routine operation process risk assessment using job safety analysis (JSA) and a revised Petri net," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 117, pp. 533–538, 2018.
- [14] E. Sulistiyowati and D. Kurniawan, "Job Safety Analysis for Hazard Prevention in Industrial Activities," *J. Ind. Eng.*, 2019.
- [15] Z. Abidin and N. Mahbubah, "Application of Job Safety Analysis in Process Industry," *J. Occup. Saf.*, 2021.
- [16] M. Ardinal, "Job Safety Analysis as a Method for Workplace Hazard Evaluation," *J. Ind. Manag.*, 2020.
- [17] G. Socrates, *Risk Management and Hazard Control*. Industrial Safety Press, 2013.