

Analisis Kecelakaan Sengatan Listrik pada Shovel di Lingkungan Kerja PT Freeport Indonesia Affiliated Freeport McMoRan

Yunus Yowel Howay^{1,3}, Ronald Sukwadi *^{1,2}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51 Jakarta 12930

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta

³PT. Freeport Indonesia, Jl. Mandala Raya Selatan No.1 Kuala Kencana, Timika 99920, Papua Tengah

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i>	<i>This analysis aims to find out more about the factors that cause potentially fatal accidents. The analysis is carried out by studying and understanding all information related to these accidents that is reported regularly in meetings and discussions about occupational safety and health in the mining sector within the company. This study uses qualitative methods, namely collecting all data and information from various sources to explain the causes of the accident. The results of the analysis showed that the electric shock experienced by the electrician was caused by a human error from the employee himself because he failed to implement the Lockout, Tagout, and Trayout (LOTOTO) procedures and measures to isolate the flow of electrical energy before starting the repair work, resulting in injuries to the left hand, arm, and leg.</i>
Received January 15, 2026	
Accepted January 19, 2026	
<i>Keywords:</i> Accident, electric shock, shovel, LOTOTO	

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i>	Analisis ini bertujuan untuk mengetahui lebih lanjut tentang faktor-faktor yang menyebabkan kecelakaan yang berpotensi fatal. Analisis ini dilakukan dengan mempelajari dan memahami semua informasi terkait kecelakaan tersebut yang dilaporkan secara rutin dalam pertemuan dan diskusi tentang keselamatan dan kesehatan kerja di sektor pertambangan di dalam perusahaan. Studi ini menggunakan metode kualitatif, yaitu mengumpulkan semua data dan informasi dari berbagai sumber yang untuk menjelaskan penyebab kecelakaan. Hasil analisis menunjukkan bahwa sengatan listrik yang dialami oleh teknisi listrik disebabkan oleh kesalahan manusia dari karyawan itu sendiri karena ia gagal menerapkan prosedur dan tindakan Lockout, Tagout, dan Trayout (LOTOTO) untuk mengisolasi aliran energi listrik sebelum memulai pekerjaan perbaikan, yang mengakibatkan luka pada tangan kiri, lengan, dan kaki.
Diserahkan: 15 Januari 2025	
Diterima: 19 Januari 2025	

1. PENDAHULUAN

Dalam *Regularly Safety Meeting Freeport Indonesia Safety Health Management System* (FRESH MS) di tingkat unit organisasi Divisi Learning and Organizational Development (L&OD) PT Freeport Indonesia (PTFI) pada hari Senin, 12 Januari 2026, salah satu topik kecelakaan potensi fatal yang dilaporkan dan diskusikan adalah terkait dengan kejadian

*Corresponding author. Ronald Sukwadi

Email address: ronald.sukwadi@atmajaya.ac.id

sengatan listrik teknisi listrik Shovel di lokasi penambangan Freeport McMoRan di site Cerro Verde-Peru sebagaimana digambarkan dalam laporan *potential fatal event* pada Gambar 1 berikut.

PFE – Sengatan Listrik di Shovel

Preliminary Incident Details

Operation	Cerro Verde
Date / Time	21 November 2025 / pukul 11:40 waktu setempat.
Event Type	Cidera – Lost Time
Summary	Tiga orang teknisi listrik sedang melakukan pemeliharaan pada shovel. Saat memeriksa monitor kabel <i>ground</i> pada kabinet tegangan tinggi bagian bawah, salah satu teknisi mendekati saklar utama tegangan tinggi yang bertegangan tinggi 7,2 kV dan mengalami sengatan listrik.
Risk Category	Actionable – Significant (3) Likely (3)
Findings / Missing Controls	<ul style="list-style-type: none"> Teknisi listrik gagal mengimplementasikan prosedur <i>Lockout, Tagout, Try Out (LOTOTO)</i> di <i>electrical substation</i> sebelum melakukan pekerjaan di kabinet tegangan tinggi. Teknisi listrik yang terluka gagal menyadari adanya aliran listrik ketika mendekati saklar utama tegangan tinggi utama (7,2 kV).
Applicable Policies / Procedures	<ul style="list-style-type: none"> FCX-HS03 Kebijakan Keselamatan Listrik FCX-04 Kebijakan Lockout/Tagout (LOTOTO) SSOs0036: Standar Lockout LOTOTO SMMpr0117 Perwatan pencegahan dan penggantian komponen kecil pada shovel listrik.
Employee Condition	Karyawan tersebut mengalami luka bakar pada lengan kiri, tangan kiri, dan luka pada kaki kiri.
Contact	Hugo Román, Manager-Mine Maintenance

Photos / Links

Ilustrasi sengatan listrik

Gambar 1.

Laporan Potential Fatal Event Sengatan Listrik di Shovel

Kejadian ini terjadi pada tanggal 21 November 2025 jam 11:40 waktu setempat. Ketika tiga orang teknisi listrik sedang melakukan pemeliharaan Shovel, dan saat memeriksa monitor kabel *ground* pada kabinet tegangan tinggi bagian bawah, salah satu teknisi mendekati saklar utama tegangan tinggi yang bertegangan tinggi utama 7,2 kV dan mengalami sengatan listrik sehingga mengalami luka bakar pada lengan kiri, tangan kiri, dan luka pada kaki kiri. Kecelakaan hampir fatal ini terjadi karena teknisi listrik gagal mengimplementasikan prosedur *Lockout, Tagout, Tryout (LOTOTO)* di *electrical substation* sebagaimana diatur dalam kebijakana dan prosedur perusahaan FCX-HS03 tentang Kebijakan Keselamatan Listrik dan FCX-04 tentang Kebijakan *Lockout/Tagout/Tryout (LOTOTO)*, SSOs0036 tentang Standar *Lockout (LOTOTO)*, dan SMMpr0117 tentang Perwatan pencegahan dan penggantian komponen kecil pada shovel listrik.

Sengatan listrik pada alat berat shovel sering terjadi karena kontak tidak sengaja dengan kabel listrik tegangan tinggi saat operasi, menyebabkan korban terpental, luka bakar parah, hingga cedera otak atau jantung, dengan risiko tinggi karena kombinasi alat berat dan Listrik (Saefudin *et al.*, 2020; Pangkey *et al.*, 2024). Kecelakaan kerja fatal di lingkungan industri pertambangan sering kali terjadi bukan pada saat produksi normal, melainkan justru ketika mesin atau peralatan sedang dalam proses perbaikan dan pemeliharaan. Data dari *International Labour Organization (ILO)* tahun 2018 menunjukkan bahwa lebih dari 380.000 kecelakaan kerja (13,7%) terjadi saat aktivitas pemeliharaan. Salah satu penyebab utamanya adalah energisasi mesin yang tidak terduga atau pelepasan energi berbahaya secara tiba-tiba karena tidak diterapkannya sistem pengendalian energi yang memadai.

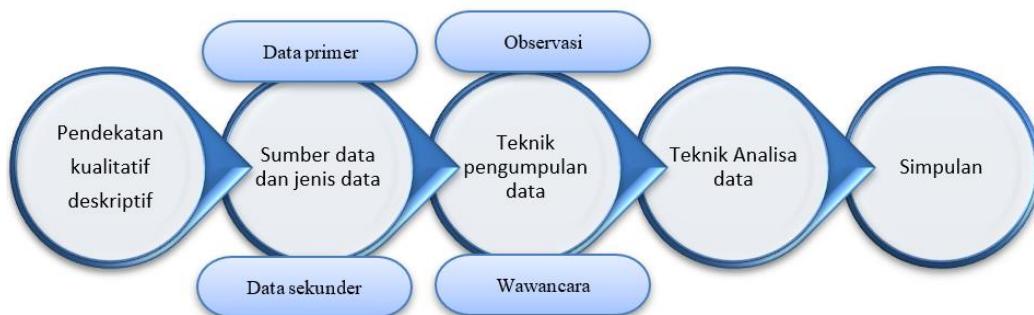
2. METODOLOGI

Metode analisis kejadian kecelakaan sengatan listrik pada *shovel* dilakukan secara kualitatif dengan mengumpulkan data dan informasi serta tulisan-tulisan terkait yang berasal

dari laporan keselamatan, kesehatan kerja dan lingkungan (K3L) di perusahaan, dokumen tentang kebijakan dan prosedur keselamatan pertambangan (STD-4.01.10-PTFI-2022., 2022), peraturan pemerintah, informasi dari *International Labour Organizational* (ILO) serta berbagai tulisan dari organisasi atau lembaga yang mengelola dan menangani keselamatan dan kesehatan kerja. Semua data dan informasi serta tulisan yang diperoleh digunakan untuk menganalisis dan menjelaskan kejadian kecelakaan sengatan listrik.

Metodologi penelitian ini (Gambar 2) dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut: Pendekatan kualitatif deskriptif yang bertujuan menggambarkan secara sistematis, faktual, dan akurat mengenai implementasi kebijakan K3L di lapangan. Pendekatan ini dipilih karena implementasi K3L berkaitan erat dengan proses, perilaku karyawan, serta dokumentasi yang memerlukan pengamatan langsung dan analisis mendalam.

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi, menggunakan checklist berdasarkan kebijakan dan prosedur keselamatan pertambangan, kemudian mengamati langsung kondisi fasilitas, proses produksi, penyimpanan, alur dokumentasi, dan penerapan prosedur K3L. Teknik analisa data dilakukan secara kualitatif melalui tahapan pengumpulan dan penyajian data, analisis, kemudian penarikan kesimpulan.



Gambar 2.
Diagram alur penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tidak sedikit karyawan mengalami cedera serius bahkan kematian akibat mesin yang tiba-tiba menyalah, pelepasan energi listrik, hidrolik, pneumatik, atau energi tersimpan lainnya saat mereka sedang melakukan perbaikan. Kondisi ini sebenarnya dapat dicegah dengan penerapan prosedur keselamatan yang tepat, yaitu sistem *Lockout/Tagout* (LOTO) yang adalah prosedur keselamatan kerja yang dirancang untuk melindungi pekerja dari bahaya energi berbahaya dengan cara mengisolasi, mengunci, dan memberi tanda peringatan pada sumber energi mesin atau peralatan yang sedang dalam proses perbaikan, pemeliharaan, atau pembersihan (Melati *et al.*, 2024). *Lockout* juga merupakan tindakan memasang perangkat pengunci (*lockout device*) pada alat isolasi energi untuk memastikan sumber energi berada dalam posisi aman dan tidak dapat diaktifkan kembali hingga pengunci dilepas oleh orang yang memasangnya.

Tagout adalah pemasangan label atau tanda peringatan yang jelas pada alat isolasi energi untuk memberitahukan kepada pekerja lain bahwa peralatan tersebut sedang dalam perbaikan dan tidak boleh dioperasikan hingga label tersebut dilepas. Menurut definisi *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), LOTO mengacu pada praktik dan prosedur spesifik untuk melindungi pekerja dari energisasi atau *start-up* mesin dan peralatan yang tidak terduga, atau pelepasan energi berbahaya selama aktivitas *service* atau

pemeliharaan (Hidayah *et al.*, 2023; Ramadhani *et al.*, 2025). Jenis energi berbahaya yang dikendalikan, antara lain:

1. Energi Listrik, yaitu Energi dari aliran listrik yang dapat menyebabkan tersengat, luka bakar, atau kematian. Contoh: panel listrik, motor listrik, peralatan bertenaga listrik.
2. Energi Mekanik, yaitu Energi dari gerakan mekanis seperti rotasi, translasi, atau getaran. Contoh: mesin dengan bagian bergerak, konveyor belt, poros berputar.
3. Energi Hidrolik, yaitu Energi dari tekanan fluida dalam sistem hidrolik. Contoh: mesin press hidrolik, excavator, sistem hidrolik industri.
4. Energi Pneumatik Energi, yaitu dari udara atau gas bertekanan. Contoh: sistem pneumatik, kompresor udara, actuator pneumatik.
5. Energi Termal/Panas, yaitu Energi dari suhu tinggi atau rendah ekstrem. Contoh: boiler, tungku, sistem pendingin, pipa uap panas.
6. Energi Kimia, yaitu Energi dari bahan kimia reaktif atau berbahaya. Contoh: sistem penyemprotan bahan kimia, reaktor kimia.

LOTOTO atau *Lockout Tagout Tryout* merupakan pengembangan dari sistem LOTO (*Lockout Tagout*). Prosedur LOTO standar fokus pada tiga komponen utama, yaitu:

1. Prosedur pengendalian energi: langkah-langkah sistematis untuk mengisolasi energi
2. Pelatihan: pelatihan untuk *authorized* dan *affected employees*
3. Inspeksi berkala: audit dan evaluasi penerapan LOTO secara periodik.

Sedangkan LOTOTO menambahkan satu tahapan penting, yaitu *tryout* atau verifikasi/*testing*. Tahap *tryout* ini melibatkan pengujian aktif untuk memastikan bahwa mesin atau peralatan benar-benar tidak dapat diaktifkan kembali setelah dilakukan *lockout* dan *tagout*. Perbedaan utamanya adalah pada LOTO, setelah perangkat dikunci dan diberi label, karyawan langsung melakukan pekerjaan dengan asumsi bahwa isolasi energi telah berhasil. Namun pada LOTOTO, setelah penguncian dan pelabelan, dilakukan tahap *tryout* dengan mencoba mengaktifkan kontrol atau tombol *start* untuk memverifikasi bahwa mesin tidak dapat dihidupkan. Tahap *tryout* ini penting karena dapat mengidentifikasi empat hal berikut:

1. Adanya energi tersisa (*residual energy*) yang belum sepenuhnya dilepaskan.
2. *Malfungsi* pada saklar kontrol atau perangkat isolasi.
3. Isolasi yang tidak sempurna atau ada jalur energi yang terlewat.
4. Memastikan semua sumber energi benar-benar dalam kondisi *zero energy*.

Berbagai pengalaman dan contoh kasus menunjukkan bahwa kegagalan dalam memverifikasi isolasi dapat berakibat fatal. Jika perangkat isolasi mengalami kerusakan atau saklar kontrol tidak berfungsi dengan baik, mesin dapat menyala secara tiba-tiba meskipun telah dilakukan *lockout*. Oleh karena itu, banyak industri terkemuka kini mengadopsi prosedur LOTOTO untuk meningkatkan keamanan kerja dan keselamatan bagi karyawan.

Dari aspek regulasi pemerintah Republik Indonesia, terdapat beberapa peraturan terkait dengan pekerjaan yang harus menggunakan LOTOTO, yaitu Permenaker No. 11 Tahun 2023 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Ruang Terbatas, Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 11 Tahun 2023 yang disahkan pada 21 November 2023 merupakan regulasi terbaru yang secara spesifik mengatur tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Ruang Terbatas. Peraturan ini menjadi regulasi teknis tertinggi di tingkat menteri terkait K3 ruang terbatas, seperti pada Pasal 14: Penguncian dan/atau Isolasi Sumber Energi, kemudian

Pasal 14 Permenaker No. 11 Tahun 2023 secara khusus mengatur tentang isolasi energi dengan ketentuan:

1. Pelaku usaha dan/atau pengurus wajib melakukan penguncian dan/atau isolasi sumber energi pada ruang terbatas.
2. Penguncian dan/atau isolasi sumber energi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) bertujuan untuk: mencegah terjadinya pelepasan energi berbahaya yang tidak terduga, melindungi pekerja yang bekerja di dalam ruang terbatas, memastikan peralatan tidak dapat diaktifkan selama pekerjaan berlangsung, serta penguncian dan/atau isolasi sumber energi harus dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan perusahaan.

Selain Permenaker No. 11 Tahun 2023, terdapat beberapa regulasi lain yang mendasari hal ini, yaitu UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, Undang-Undang Dasar yang mewajibkan pengusaha untuk memastikan keselamatan pekerja di tempat kerja, termasuk dalam pengoperasian mesin dan peralatan, Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Elemen 6 dari PP ini mengatur tentang pengendalian operasional yang mencakup prosedur pengendalian energi berbahaya, dan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827/K30/MEM/2018 Mengatur pedoman pelaksanaan kaidah pertambangan yang baik, termasuk prosedur LOTO di sektor pertambangan.

3.1 Analisis Kebijakan dan Prosedur Perusahaan

Menurut standar *Freeport Indonesia Safety Health* (FRESH), yaitu STD-4.01.10-PTFI-2022 tentang Prosedur Kerja Keselamatan Pertambangan yang bertujuan untuk menyediakan persyaratan minimum dalam membuat, mengomunikasikan, menerapkan, dan memelihara prosedur kerja keselamatan pertambangan untuk setiap aktivitas yang ditugaskan. Prosedur ini menjelaskan bahwa prosedur kerja keselamatan pertambangan adalah dokumen tertulis yang memberikan pedoman untuk mengidentifikasi dengan jelas langkah-langkah utama atau kritis dari sebuah kegiatan, sumber daya, keterampilan, wewenang, dan/atau prosedur kegiatan yang dibutuhkan untuk melaksanakan pekerjaan dengan aman, efektif, dan dengan standar kualitas tinggi. Contoh: *Standard Operating Procedures* (SOP), *Job Safety Analysis* (JSA), *Work Instruction* (WI) dan *Original Equipment Manual* (OEM). SOP adalah dokumen yang memberikan pedoman untuk mengidentifikasi dengan jelas langkah-langkah utama/kritis dari sebuah tugas, sumber daya, keterampilan, wewenang, dan/atau prosedur tugas yang dibutuhkan untuk melaksanakan pekerjaan dengan selamat, efektif, dan dengan standar kualitas tinggi.

JSA adalah dokumen yang memberikan pedoman dalam mengidentifikasi secara jelas bahaya-bahaya dan potensial insiden yang berkaitan dengan setiap langkah kegiatan dan mengembangkan solusi untuk mengontrol bahaya, resiko dan insiden (Saleh *et al.*, 2025). Sedangkan WI adalah dokumen yang memberikan instruksi pekerjaan dan informasi rinci tambahan jika diperlukan dalam melaksanakan tugas atau serangkaian tugas. Kemudian OEM adalah dokumen dasar untuk sistem manajemen keselamatan pertambangan yang memberikan gambaran tentang tujuan dan struktur sistem manajemen, dan memberikan arahan untuk dokumentasi terkait. Selain itu, ada juga *Hazard Identification, Risk Assessment, Determine Control* (HIRADC) yang adalah metode yang digunakan untuk melakukan identifikasi terhadap bahaya dari setiap pekerjaan, menilai risiko yang muncul dari bahaya tersebut, dan menentukan cara pengendalian dari setiap risiko yang sudah diidentifikasi dan dinilai (Tanisri *et al.*, 2022; Wijaya *et al.*, 2024; Irawan *et al.*, 2025).

3.2 Analisis Kecelakaan Sengatan Listrik di Shovel (*Power Shovel*)

Shovel listrik (*power shovel*) dikenal sebagai sekop tenaga listrik, sekop pengupasan, sekop depan, sekop pertambangan, atau sekop tali. Alat berat ini memiliki sangat besar dalam menggali dan mengangkut material. Kemampuannya yang serbaguna memungkinkannya untuk menaklukkan berbagai medan, menggali material keras, dan memuat berton-ton material dengan efisiensi yang tak tertandingi. Di balik kemampuan tersebut, shovel listrik dilengkapi dengan teknologi hidrolik canggih yang memungkinkannya untuk beroperasi dengan presisi dan kekuatan luar biasa.

Banyak pekerja pada alat berat sering menghiraukan risiko tersengat listrik jika alat tersebut beroperasi di dekat saluran listrik yang hidup. Jika ada bagian dari peralatan yang bertemu dengan saluran listrik atau sumber listrik lainnya, seluruh mesin dapat menghantarkan listrik itu langsung ke tubuh siapa pun yang menyentuh mesin, termasuk teknisi operator dan teknisi Listrik (Tamim & Ismail, 2020).

Dalam beberapa kasus, kecelakaan dapat mengamputasi satu atau lebih anggota tubuh dari karyawan, bahkan sampai ada bagian tubuh yang perlu diamputasi untuk menyelamatkan nyawa. Cedera tersengat listrik dan luka bakar juga terjadi pada beberapa kecelakaan alat berat dalam kondisi apabila kendaraan mengalami malfungsi listrik atau menemukan sumber listrik hidup, cedera listrik yang parah dapat terjadi. Tidak seperti kejutan listrik satu kali, sengatan listrik dapat menyebabkan kerusakan parah pada bagian tubuh mana pun, termasuk otak dan jantung. Sengatan listrik juga dapat menyebabkan luka bakar yang parah, yang mungkin sulit dan menyakitkan untuk diobati. Meskipun pengawasan aktivitas operasional penambangan terus ditingkatkan dengan penerapan *Health and Safety Environment* (HSE) tapi kecelakaan masih sering terjadi karena memang tingkat resikonya tinggi.

3.3 Analisis Risiko Kegagalan Teknisi Listrik

Risiko teknologi muncul dari kegagalan alat berat, conveyor, shovel, crusher, atau sistem kelistrikan. Risiko proses kerja berkaitan dengan peledakan, instalasi dan perbaikan listrik, pekerjaan di ketinggian, dan pengangkutan material. Sementara itu, risiko dari aspek manusia berkaitan dengan kelelahan, pelanggaran prosedur, dan kurangnya kompetensi yang dengan kata lain disebut *human error*. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), kegagalan adalah keadaan atau sesuatu yang tidak tercapai atau tidak berhasil dilakukan. Jadi, teknisi listrik dalam contoh kasus kecelakaan yang dibahas ini tidak berhasil dalam menerapkan prosedur SOP dan JSA maupun HIRADC terkait LOTOTO dengan baik dan benar sehingga tersengat listrik. Apabila teknisi listrik menyadari bahwa SOP dan JAS serta HIRADC LOTOTO pada shovel listrik harus dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pekerjaan, pasti diketahui resiko bahaya yang akan terjadi supaya dipasang alat LOTOTO untuk mengisolasi energi listrik sehingga tidak menyentuh langusng badan teknisi listrik selama bekerja.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Analisis kecelakaan sengatan listrik pada shovel ini menyimpulkan beberapa hal penting, yaitu:

- a) Terjadi *human error*, yaitu teknisi listrik gagal menerapkan prosedur dan tahapan SOP, JSA dan HORADC terkait penggunaan LOTOTO dengan baik dan benar untuk mengisolasi aliran atau energi listrik makanya terjadi sengatan listrik yang

menyebabkan kecelakaan hampir fatal, yaitu luka pada tangan, lengan dan kaki bagian kiri

- b) Prosedur penerapan LOTOTO sangat tegas diatur dalam peraturan pemerintah serta kebijakan dan prosedur perusahaan untuk wajib diketahui, diperhatikan dan diterapkan oleh karyawan termasuk teknisi listrik sebab semua jenis pekerjaan berat di sektor pertambangan memiliki resiko bahaya kritis yang selalu terjadi secara tiba-tiba tanpa disadari kapan saja dan di mana saja dalam lingkungan kerja perusahaan.
- c) Karyawan wajib mengikuti pelatihan dan praktik kerja terkait dengan melakukan pekerjaan kelistrikan pada alat berat dengan aman dan selamat, dan memiliki lisensi agar menjamin karyawan benar-benar memiliki kompetensi (pengetahuan, keterampilan dan sikap) yang baik dalam melakukan pekerjaan kelistrikan.

4.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis antara lain sebagai berikut: (1) investigasi kecelakaan ini harus dilakukan dengan baik dan benar oleh manajemen perusahaan bersama pihak-pihak terkait lainnya untuk menemukan faktor apa yang menyebabkan terjadinya *human error*, yaitu kegagalan teknisi listrik agar memudahkan penentuan solusi yang tepat dalam rangka mencegah kecelakaan yang sama terjadi di kemudian hari; (2) karyawan wajib mengikuti pelatihan dan praktik kerja terkait dengan melakukan pekerjaan kelistrikan pada alat berat dengan aman dan selamat secara berkelanjutan, dan memiliki lisensi agar menjamin karyawan benar-benar memiliki kompetensi (pengetahuan, keterampilan dan sikap) yang baik dalam melakukan pekerjaan kelistrikan dengan aman dan selamat; (3) pengawas wajib mengawasi dan mengintervensi karyawan dengan baik dan benar agar karyawan atau teknisi listrik dapat bekerja dengan aman dan selamat sesuai dengan prosedur dan langkah-langkah teknis yang telah ditentukan dalam SOP, JSA dan HIRADC terkait dengan penerapan LOTOTO.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih manajemen PT. Freeport Indonesia, Timika Papua Tengah dan pihak Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya atas dukungannya selama penyusunan artikel ini

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Hidayah, N., Rahmawati, A., & Nisa, R. (2023). Analisis Analisis Penerapan Lockout/Tagout (LOTO) Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja di PT. Pertamina Patra Niaga Fuel Terminal Cikampek: Penerapan Lockout/Tagout (LOTO) Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja. *Afiasi: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(3), 500-511.
2. 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.
3. Melati, D. A., Retnaningtyas, E., & Kholidah, D. (2024). Analisis tingkat pengetahuan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) mengenai lockout/tagout (LOTO) terhadap tindakan tidak aman (unsafe action) dalam lockout/tagout (LOTO) pekerja divisi manufaktur dan divisi engineering pada PT. X Kabupaten Banyuwangi. *Detector: Jurnal Inovasi Riset Ilmu Kesehatan*, 2(3), 99-108.

4. Pangkey, S. J. I., Lengkong, V. P., & Saerang, R. T. (2023). Analisis implementasi kesehatan dan keselamatan kerja (K3) sebagai upaya terhadap pencegahan kecelakaan kerja di PT PLN (Persero) UP3 Manado. *Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 11(4), 200-211.
5. Ramadhani, S. Z., Siregar, A. P., Billa, N., & Hasibuan, A. (2025). Analisis penerapan prosedur lockout dan tagout (LOTO) sebagai upaya pencegahan kecelakaan kerja di lingkungan industri manufaktur. *Jurnal Kesehatan*, 3(4), 169-178.
6. Saefudin, T. H., Rosihan, R. I., & Wiryawanti, V. E. (2020). Sosialisasi K3 tentang bahaya kelistrikan dan kebakaran pada Desa Kedung Pengawas, Babelan, Kab, Bekasi. *Jurnal Sains Teknologi Dalam Pemberdayaan Masyarakat*, 1(1), 45-50.
7. Saleh, H., Sibua, A., Kusman, M. R., & Weka, D. (2025). Identifikasi dan analisis resiko kecelakaan kerja dengan metode JSA (JOB SAFETY ANALYSIS) di PT. PLN ULP Daruba. *Jurnal Teknik SILITEK*, 5(01), 385-396.
8. STD-4.01.10-PTFI-2022. (2022). Prosedur Kerja Keselamatan Pertambangan, *Freeport Indonesia Safety Health (FRESH)*
9. Tamim, F., & Ismail, A. (2020). Analisis manajemen risiko dan pengendalian Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) pada pekerjaan powerhouse. *Jurnal Konstruksi*, 18(1), 1-10.
10. Tanisri, R. H., Kharisno, K., & Siregar, D. (2022). Pengendalian bahaya dan risiko K3 menggunakan metode HIRADC dan FTA pada industri kerupuk. *Journal of Industrial and Engineering System*, 3(2), 128-139.
11. Wijaya, H., Rifki, G. A., & Gautama, P. (2024). Analisa penerapan K3 pada pemeliharaan gardu distribusi listrik di PT. PLN (Persero) ULP Cikande menggunakan metode HIRADC. *Jurnal Industri dan Teknologi Terpadu*, 7(1), 50-58.