

Analisis risiko keselamatan penumpang akibat alur dua arah pada satu peron menggunakan metode HIRARC di stasiun Tangerang

Tasya Putri Nabila Harahap¹, Soerahman¹

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah A.R. Fachruddin, Kabupaten Tangerang

Penulis Korespondensi : Tasya Putri Nabila Harahap (e-mail: pntasya906@gmail.com)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya, menilai tingkat risiko, dan menentukan pengendalian risiko keselamatan penumpang akibat penerapan alur dua arah pada satu peron di Stasiun Tangerang. Permasalahan penelitian dilatarbelakangi oleh tingginya kepadatan penumpang pada area peron, terutama saat jam sibuk, yang menyebabkan desak-desakan, arus penumpang berlawanan, serta risiko penumpang terjatuh. Berdasarkan survey pendahuluan terhadap 30 responden, indikator kondisi peron pada saat jam sibuk memperoleh nilai tertinggi sebesar 4,37 yang menunjukkan bahwa kepadatan menjadi faktor yang paling mempengaruhi keselamatan penumpang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah HIRARC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control*). Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, penyebaran kuesioner kepada 100 responden pengguna KRL, wawancara dengan petugas keamanan dalam (PKD), serta dokumentasi kondisi peron. Tahapan penelitian meliputi identifikasi bahaya, penilaian risiko berdasarkan nilai likelihood dan consequence menggunakan matriks risiko AS/NZS 4360:2004, serta penentuan pengendalian risiko. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 7 potensi bahaya pada area peron Stasiun Tangerang. Berdasarkan hasil penilaian risiko menggunakan metode HIRARC diperoleh 1 risiko kategori *high* dan 6 risiko kategori *moderate*. Risiko tertinggi terdapat pada aktivitas naik dan turun kereta dengan nilai risiko 12 (*high*) yang disebabkan oleh kondisi desak-desakan penumpang terjatuh, terpelosok pada celah peron, serta mengalami cedera. Pengendalian risiko yang diusulkan meliputi pengaturan arus penumpang, penambahan pengawasan petugas saat jam sibuk, pemberian marka arah, serta pengaturan jalur perpindahan penumpang pada area peron.

Kata Kunci: Analisis risiko, HIRARC, Keselamatan penumpang, Peron, Stasiun Tangerang.

1. PENDAHULUAN

Kereta rel listrik merupakan moda angkutan massal yang penting bagi mobilitas perkotaan karena mampu mengangkut penumpang dalam jumlah besar secara terjadwal. Konsekuensinya, keselamatan tidak hanya ditentukan oleh perjalanan kereta, tetapi juga oleh interaksi penumpang pada area stasiun, khususnya peron. Peron berfungsi sekaligus sebagai ruang berjalan, menunggu, naik, dan turun. Ketika fungsi tersebut berlangsung pada ruang yang sama dan pada waktu yang berdekatan, kepadatan serta konflik lintasan dapat berkembang menjadi bahaya keselamatan.

Kajian keselamatan peron menunjukkan bahwa risiko dipengaruhi oleh dimensi bagian peron yang sempit, celah peron-kereta, perpotongan arus penumpang, dan intensitas operasi kereta [1]. Kepadatan objektif juga berkaitan dengan meningkatnya perilaku memasuki zona bahaya serta menurunnya persepsi aman penumpang [2]. Pada area yang menampung arus berlawanan, pembentukan pola gerak yang disengaja

melalui pembatasan arah atau pemisahan jalur dapat mengurangi waktu berjalan dan kemacetan [3]. Temuan tersebut menegaskan bahwa pengelolaan arah pergerakan merupakan bagian integral dari keselamatan, bukan sekadar aspek pelayanan.

Stasiun Tangerang merupakan stasiun terminus dengan aktivitas naik, turun, dan perpindahan penumpang yang terkonsentrasi. Data internal PT Kereta Commuter Indonesia yang digunakan dalam penelitian mencatat 5.326.789 penumpang pada 2023, 11.764.617 penumpang pada 2024, dan 9.165.413 penumpang selama Januari-Oktober 2025. Observasi awal memperlihatkan bahwa satu peron melayani pergerakan dua arah tanpa pemisahan jalur yang konsisten. Pada jam sibuk, penumpang yang turun berhadapan dengan penumpang yang akan naik atau berpindah, sehingga ruang gerak menyempit dan terjadi desak-desakan di dekat tepi peron serta tangga penghubung.

Survei pendahuluan terhadap 30 pengguna KRL memperkuat fenomena tersebut. Pernyataan bahwa

peron terasa padat dan sulit bergerak pada jam sibuk memperoleh skor rata-rata 4,37 dari skala lima. Pada survei utama terhadap 100 responden, indikator yang sama tetap menjadi skor tertinggi, yaitu 4,29. Risiko tertabrak antarpemumpang memperoleh skor 4,18 dan desak-desakan pada proses masuk-keluar kereta 4,11. Dengan demikian, kepadatan dan konflik arus merupakan kondisi yang konsisten dirasakan penumpang, bukan hanya temuan visual sesaat.

Pengelolaan keselamatan memerlukan proses sistematis untuk mengenali bahaya, menilai kemungkinan dan dampak, serta memilih pengendalian yang proporsional. Pendekatan tersebut sejalan dengan penelitian [4] yang menunjukkan bahwa identifikasi bahaya dan penilaian tingkat risiko diperlukan untuk menentukan prioritas pengendalian secara sistematis sesuai dengan karakteristik aktivitas yang dianalisis. ISO 45001:2018 menempatkan identifikasi bahaya dan penilaian risiko sebagai bagian utama perencanaan sistem keselamatan dan kesehatan kerja [5]. Dalam penelitian ini, proses tersebut dioperasionalkan melalui HIRARC dan matriks risiko AS/NZS 4360:2004 [6]. Penerapan HIRARC pada berbagai sektor menunjukkan bahwa metode ini mampu memetakan bahaya, menentukan prioritas, dan menyusun pengendalian secara terstruktur [7][8][9][10][11]. Selain manfaat keselamatan langsung, program K3 yang dikelola dengan baik juga berkaitan dengan kinerja dan produktivitas organisasi [12].

Penelitian keselamatan di Peron Stasiun Serpong telah mengidentifikasi bahaya fasilitas dan pola pergerakan serta merekomendasikan pengaturan arus dan rambu keselamatan [13]. Namun, konteks Stasiun Tangerang memiliki persoalan spesifik berupa alur dua arah pada satu peron yang memunculkan konflik langsung antara penumpang naik, turun, dan berpindah. Kebaruan penelitian ini terletak pada pemetaan tujuh aktivitas penumpang secara khusus, penggabungan persepsi 100 pengguna dengan observasi lapangan dan pengalaman petugas, serta penyusunan pengendalian yang diarahkan pada titik konflik arus.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian bertujuan mengidentifikasi potensi bahaya akibat alur dua arah pada satu peron, menilai tingkat risiko setiap bahaya dengan HIRARC, dan menentukan pengendalian yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keselamatan penumpang di Stasiun Tangerang.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di area peron Stasiun Tangerang pada periode Oktober 2025-Juli 2026 dengan desain studi kasus deskriptif. Objek penelitian adalah risiko keselamatan penumpang yang muncul selama pergerakan dua arah, proses naik-turun kereta, perpindahan antarperon, dan penggunaan tangga penghubung. Populasi penelitian adalah pengguna KRL di Stasiun Tangerang. Berdasarkan populasi 9.165.413 penumpang dan tingkat kesalahan 10%, perhitungan Slovin pada skripsi menghasilkan 99,99 sehingga sampel ditetapkan sebanyak 100 responden. Responden dipilih secara purposif dengan kriteria pernah menggunakan peron yang sama untuk naik, turun, atau

berpindah.

Pengumpulan data dilakukan dalam empat tahap. Pertama, survei pendahuluan kepada 30 responden digunakan untuk memvalidasi kondisi awal dan menyempurnakan indikator. Kedua, kuesioner skala Likert 1-5 diberikan kepada 100 responden untuk mengukur persepsi mengenai kepadatan, konflik arah, kondisi permukaan, ruang gerak, petunjuk arah, dan peran petugas. Ketiga, observasi dilakukan pada jam sibuk dan tidak sibuk untuk mencatat pola naik-turun, titik kepadatan, kedekatan dengan tepi peron, kondisi permukaan, dan hambatan pada jalur berjalan. Keempat, wawancara semi-terstruktur dilakukan kepada tiga Petugas Keamanan Dalam untuk memperoleh informasi jenis kejadian, frekuensi, dan tingkat keparahan dampak. Dokumentasi foto digunakan sebagai triangulasi visual.

Analisis mengikuti tiga tahap HIRARC. Hazard identification dilakukan dengan menyusun aktivitas, sumber bahaya, dan konsekuensi berdasarkan kesesuaian antara kuesioner, observasi, serta wawancara. Risk assessment dilakukan dengan memberi nilai likelihood (L) dan consequence (C) pada skala 1-5. Nilai L ditetapkan dari frekuensi kondisi yang teramati dan persepsi responden, sedangkan nilai C mempertimbangkan pengalaman petugas mengenai luka ringan, memar, cedera sedang, terpelosok pada celah peron, hingga kasus cedera berat. Skor risiko dihitung sebagai hasil kali L dan C. Kategori yang digunakan adalah rendah untuk skor 1-4, moderat 5-9, tinggi 10-16, dan sangat tinggi 17-25.

Risk control disusun dengan mempertimbangkan hierarki pengendalian. Karena sumber bahaya utama berkaitan dengan interaksi manusia dan keterbatasan ruang, tindakan difokuskan pada rekayasa sederhana dan pengendalian administratif: penataan jalur, marka arah, zona antre, pengaturan akses, penempatan petugas, inspeksi permukaan peron, serta komunikasi keselamatan. Pengendalian diprioritaskan menurut tingkat risiko dan ditetapkan penanggung jawab operasionalnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil observasi menunjukkan perbedaan yang jelas antara jam tidak sibuk dan jam sibuk. Pada kondisi tidak sibuk, ruang sirkulasi masih tersedia dan penumpang dapat bergerak tanpa banyak konflik. Ketika kereta datang pada jam sibuk, penumpang berkumpul di sekitar pintu, sementara arus turun, naik, dan berpindah berlangsung hampir bersamaan.



Gambar 1. Kondisi peron pada jam tidak sibuk (kiri) dan jam sibuk (kanan)

Posisi menunggu di dekat jalur berjalan mengurangi lebar efektif peron dan mendorong sebagian penumpang

bergerak lebih dekat ke garis tepi. Perbandingan kondisi tersebut ditunjukkan pada Gambar 1. Skor persepsi 100 responden pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kepadatan saat jam sibuk menjadi masalah paling dominan. Nilai 4,29 mengindikasikan persetujuan kuat bahwa ruang peron tidak memadai untuk pola gerak yang terjadi. Risiko tertabrak atau terjatuh akibat arus berlawanan memperoleh skor 4,18, sedangkan desak-desakan di jalur masuk-keluar mencapai 4,11. Petunjuk arah dan bantuan petugas dinilai relatif baik, tetapi nilainya belum meniadakan persepsi risiko. Artinya, keberadaan informasi dan petugas perlu didukung desain alur yang lebih eksplisit dan konsisten.

Tabel 1. Persepsi responden terhadap kondisi peron Stasiun Tangerang Simbol

Indikator	Skor rata-rata	Interpretasi
Alur dua arah menimbulkan risiko keselamatan	3,90	Setuju
Desak-desakan pada jalur masuk/keluar	4,11	Setuju
Kesulitan berpindah antarperon	3,93	Setuju
Arus berlawanan menyebabkan tertabrak/terjatuh	4,18	Setuju
Permukaan peron berpotensi menimbulkan kecelakaan	3,97	Setuju
Peron padat dan sulit bergerak pada jam sibuk	4,29	Sangat setuju
Ruang gerak sempit akibat alur dua arah	4,07	Setuju
Petunjuk arah mudah dipahami	3,96	Setuju
Petugas aktif mengatur arus penumpang	4,03	Setuju
Petugas tanggap mencegah insiden	3,98	Setuju

Temuan tersebut selaras dengan studi platform di Swiss yang menemukan bahwa kepadatan yang lebih tinggi berkaitan dengan lebih banyak pelanggaran zona aman dan persepsi keselamatan yang lebih rendah [2]. Wawancara dengan petugas juga mengonfirmasi bahwa kejadian yang paling sering dijumpai berupa penumpang terjatuh, memar, atau luka ringan; pada kondisi tertentu pernah terjadi penumpang terpelosok pada celah antara peron dan kereta serta cedera berat. Informasi ini menunjukkan bahwa indikator persepsi berhubungan dengan konsekuensi operasional yang benar-benar pernah ditangani.

3.1. Identifikasi dan Penilaian Risiko

Identifikasi menghasilkan tujuh bahaya utama. Seluruh bahaya berhubungan dengan keterbatasan ruang efektif, pertemuan arus, atau kondisi fisik permukaan. Hasil penilaian pada Tabel 2 memperlihatkan satu risiko kategori tinggi dan enam risiko kategori moderat. Aktivitas naik dan turun kereta memiliki skor tertinggi karena peluang terjadinya desak-desakan dinilai sering ($L=4$), sementara dampaknya dapat mencapai cedera sedang atau memerlukan penanganan lebih lanjut ($C=3$).

Tabel 2. Hasil Identifikasi dan Penilaian Risiko HIRARC

Aktivitas	Potensi bahaya	Risiko	L	C	Skor/level
Pergerakan alur dua arah	Arus berlawanan	Benturan dan kehilangan keseimbangan	4	2	8 / Moderat
Naik dan turun kereta	Desak-desakan	Jatuh, terpelosok celah peron, cedera	4	3	12 / High
Perpindahan antarperon	Kepadatan saat berpindah	Terdorong dan kehilangan keseimbangan	4	2	8 / Moderat
Berjalan di area peron	Arus tidak teratur	Tertabrak atau terjatuh	3	2	6 / Moderat
Berjalan pada permukaan peron	Lantai licin/tidak rata	Terpeleset dan cedera	3	2	6 / Moderat
Aktivitas saat jam sibuk	Kepadatan berlebih	Sulit bergerak dan terinjak	4	2	8 / Moderat
Pergerakan di ruang sempit	Lebar efektif terbatas	Kehilangan keseimbangan dan terjatuh	4	2	8 / Moderat

Risiko tertinggi terletak pada antarmuka peron-kereta, yaitu saat penumpang turun dan naik melalui bukaan pintu yang sama. Pada fase ini, perbedaan tujuan gerak menciptakan konflik frontal; penumpang yang turun mencari ruang keluar, sedangkan penumpang yang naik cenderung mendekati pintu. Model risiko platform pada penelitian terdahulu juga menempatkan perpotongan arus dan celah peron-kereta sebagai faktor yang berkaitan dengan kejadian kecelakaan [1]. Dengan demikian, skor tinggi bukan semata-mata akibat jumlah penumpang, tetapi kombinasi kepadatan, arah berlawanan, waktu singkat, dan kedekatan dengan bahaya fisik.

Enam risiko moderat tetap memerlukan tindakan karena muncul berulang pada sistem yang sama. Skor moderat 8 pada perpindahan antarperon, aktivitas jam sibuk, dan ruang gerak sempit menunjukkan bahwa konsekuensi umumnya ringan hingga sedang, tetapi paparannya sering. Jika beberapa kondisi terjadi serentak, misalnya lantai licin, arus berlawanan, dan penumpang membawa barang, risiko aktual dapat lebih besar daripada skor tiap bahaya secara terpisah. Hal ini menjadi alasan pengendalian perlu diterapkan sebagai paket, bukan tindakan tunggal.

Distribusi satu risiko tinggi dan enam risiko moderat berbeda dari studi manufaktur atau konstruksi yang sering menghasilkan proporsi risiko tinggi lebih besar [9][10][11]]. Perbedaan tersebut wajar karena konteks peron didominasi bahaya interaksi manusia dengan konsekuensi yang pada kebanyakan kejadian berada pada tingkat ringan-sedang. Namun, potensi jatuh ke celah atau mendekati rel memberikan karakter berkonsekuensi serius meskipun frekuensinya lebih rendah. Oleh sebab itu, prioritas tetap diberikan pada proses naik-turun kereta.

3.2 Pengendalian Risiko

Usulan pengendalian disusun dengan mengutamakan perubahan alur dan rekayasa sederhana

sebelum mengandalkan imbauan. Pengendalian pertama adalah membentuk pola yang mudah dibaca: penumpang turun diberi koridor keluar, penumpang naik menunggu di sisi kanan-kiri pintu, dan jalur berpindah tidak memotong zona antrai.

Tabel 3 merangkum tindakan prioritas, risiko sasaran, dan pihak penanggung jawab.

Prioritas	Risiko sasaran	Pengendalian yang diusulkan	PIC
1	Naik-turun kereta (tinggi)	Membentuk zona turun di depan pintu dan zona antrai naik di kedua sisi; menempatkan petugas pada titik pintu dengan kepadatan tertinggi selama jam sibuk.	PKD/ Operasional
2	Arus berlawanan dan perpindahan	Menerapkan marka satu arah atau jalur terpisah menuju tangga/pintu keluar; mengatur akses masuk dan keluar agar tidak saling memotong.	Operasional
3	Kepadatan dan ruang sempit	Mengosongkan jalur berjalan dari penumpang menunggu, mengatur antrian, dan mendistribusikan penumpang ke bagian peron yang kurang padat.	PKD
4	Permukaan licin/tidak rata	Melakukan inspeksi berkala, pembersihan cepat saat hujan, perbaikan permukaan, dan pemasangan peringatan sementara.	Fasilitas
5	Pemantauan residual	Mencatat insiden dan near miss per lokasi serta mengevaluasi ulang nilai risiko setelah pengendalian diterapkan.	Manajemen stasiun

Marka lantai perlu ditempatkan pada titik yang konsisten dengan posisi berhenti pintu kereta dan dilengkapi rambu vertikal agar tetap terlihat ketika lantai tertutup kerumunan. Rekomendasi pemisahan arah didukung oleh simulasi stasiun yang menunjukkan bahwa pembentukan pola arus yang disengaja dapat mempersingkat waktu berjalan dan mengurangi kemacetan [3]. Pada tingkat sistem, pengendalian masuk penumpang dan distribusi beban juga merupakan pendekatan penting pada jaringan metro yang jenuh [14]. Untuk Stasiun Tangerang, strategi tersebut tidak harus diawali dengan pembangunan besar; marka,

barrier portabel, penempatan petugas, dan pengaturan waktu akses dapat diuji sebagai intervensi operasional berbiaya relatif rendah.

Dalam jangka menengah, evaluasi tata letak perlu mempertimbangkan pelebaran jalur efektif, pengurangan hambatan, atau pemisahan akses naik dan turun. Pendekatan digital twin pada stasiun kereta telah menunjukkan manfaat untuk prediksi aliran pejalan kaki, peringatan dini kepadatan, optimasi tata letak, dan manajemen gerbang [15]. Walaupun teknologi tersebut berada di luar lingkup penelitian ini, prinsip dasarnya relevan: keputusan pengendalian sebaiknya didasarkan pada data waktu dan lokasi kepadatan, bukan hanya respons setelah insiden.

Pengendalian administratif tetap diperlukan, tetapi tidak boleh berdiri sendiri. Imbauan keselamatan akan kurang efektif apabila penumpang tidak memiliki ruang atau jalur alternatif. Karena itu, pesan petugas harus didukung marka dan pembatas yang membentuk perilaku. Pelaksanaan juga perlu dievaluasi melalui indikator sederhana, seperti jumlah near miss, kepatuhan penumpang menunggu di sisi pintu, waktu pengosongan zona turun, dan distribusi kepadatan sepanjang peron. Evaluasi ulang HIRARC setelah masa uji akan menunjukkan apakah skor tinggi dapat diturunkan menjadi moderat atau rendah.

4. KESIMPULAN

Penerapan HIRARC pada alur dua arah di peron Stasiun Tangerang mengidentifikasi tujuh potensi bahaya yang berasal dari konflik arus, kepadatan, keterbatasan ruang, dan kondisi permukaan. Aktivitas naik dan turun kereta merupakan risiko utama dengan skor 12 atau kategori tinggi karena desak-desakan dapat menyebabkan penumpang jatuh, terpelosok pada celah peron-kereta, dan mengalami cedera. Enam aktivitas lainnya berada pada kategori moderat dengan skor 6-8. Temuan ini menjawab bahwa keselamatan peron terutama dipengaruhi oleh cara arus penumpang diorganisasi pada saat kereta datang. Pengendalian yang paling relevan adalah pemisahan zona naik dan turun, marka arah, penataan jalur perpindahan, pengaturan antrian, penempatan petugas pada titik konflik, serta pemeliharaan permukaan peron. Penelitian selanjutnya perlu mengukur kepadatan per satuan luas dan mengevaluasi risiko residual sebelum dan sesudah uji pengaturan arus agar efektivitas pengendalian dapat dibuktikan secara

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Terabe, T. Kato, and H. Yaginuma, "Risk Assessment Model for Railway Passengers on a Crowded Platform," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2673, no. 4, pp. 495–507, 2019.
- [2] A. Schneider, E. Krueger, B. Vollenwyder, J. Thureau, and A. Elfering, "Understanding the relations between crowd density, safety perception and risk-taking behavior on train station platforms: A case study from Switzerland," *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 10, p. 100390, 2021.

- [3] T. Yamada and M. Utaka, "Evaluating ticket gate directional restrictions using simulations of pedestrian flow considering stationary people in a railroad station concourse," *J. Asian Archit. Build. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 2058–2073, 2023.
- [4] A. Soerahman, Syamsudin, Rouf and A. Nurfaqih, "Applying the HIRADC Method to Occupational Safety Risk Assessment and Control in a Private Higher Education Institution," vol. 8, no. 1, 2026.
- [5] I. O. for Standardization, "ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management Systems—Requirements with Guidance for Use." International Organization for Standardization, Geneva, 2018.
- [6] S. Australia and S. N. Zealand, "AS/NZS 4360:2004 Risk Management." Standards Australia/Standards New Zealand, Sydney and Wellington, 2004.
- [7] S. N. Trisaid, "Analisis risiko kecelakaan kerja pada kegiatan rig service menggunakan metode HIRARC dengan pendekatan FTA," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 1, pp. 25–33, 2020.
- [1] S. Terabe, T. Kato, and H. Yaginuma, "Risk Assessment Model for Railway Passengers on a Crowded Platform," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2673, no. 4, pp. 495–507, 2019.
- [2] A. Schneider, E. Krueger, B. Vollenwyder, J. Thureau, and A. Elfering, "Understanding the relations between crowd density, safety perception and risk-taking behavior on train station platforms: A case study from Switzerland," *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 10, p. 100390, 2021.
- [3] T. Yamada and M. Utaka, "Evaluating ticket gate directional restrictions using simulations of pedestrian flow considering stationary people in a railroad station concourse," *J. Asian Archit. Build. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 2058–2073, 2023.
- [4] A. Soerahman, Syamsudin, Rouf and A. Nurfaqih, "Applying the HIRADC Method to Occupational Safety Risk Assessment and Control in a Private Higher Education Institution," vol. 8, no. 1, 2026.
- [5] I. O. for Standardization, "ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management Systems—Requirements with Guidance for Use." International Organization for Standardization, Geneva, 2018.
- [6] S. Australia and S. N. Zealand, "AS/NZS 4360:2004 Risk Management." Standards Australia/Standards New Zealand, Sydney and Wellington, 2004.
- [7] S. N. Trisaid, "Analisis risiko kecelakaan kerja pada kegiatan rig service menggunakan metode HIRARC dengan pendekatan FTA," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 1, pp. 25–33, 2020.
- [8] R. A. Imran, "Identifikasi hazard pada proses produksi billet pada area tungku peleburan dengan metode HIRARC (studi kasus: PT. XYZ)," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 3, pp. 153–160, 2020.
- [9] L. Setiawan, I. Muhammad, A. Rahmatullah, A. S. Rini, S. Hanan, and T. R. H. Pratama, "Penerapan K3 menggunakan HIRARC (Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control) pada perusahaan konstruksi di Cilegon," *Ind. J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 2, pp. 268–278, 2024.
- [10] H. Fadili, M. F. Perdana, Suryadi, and D. Suryapranatha, "Identifikasi potensi bahaya keselamatan dan kesehatan kerja dengan menggunakan metode HIRARC (studi kasus: PT. GGS)," *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 4, no. 3, pp. 802–814, 2025.
- [11] S. M. Putra, I. K. Wiryajati, and I. A. S. Adnyani, "Dealing with occupational health and safety practices using JSA with HIRARC method," *Int. J. Informatics Comput.*, vol. 7, no. 1, pp. 193–205, 2025.
- [12] N. C. Iswanto, Soerahman, A. Naim, and R. Saputra, "The influence of occupational safety and health (K3) on employee work productivity with multiple linear regression methods at PT. UDM," *Int. J. Sci. Soc.*, vol. 5, no. 5, pp. 39–52, 2023.
- [13] J. F. Yenni, E. Basri, and M. P. Montanasyah, "Analisis keselamatan dan pengaturan pola pergerakan penumpang di peron Stasiun Serpong," Politeknik Transportasi Darat Indonesia-STTD, Bekasi, 2025.
- [14] J. Liang, G. Lyu, C.-P. Teo, and Z. Gao, "Online passenger flow control in metro lines," *Oper. Res.*, vol. 71, no. 2, pp. 768–775, 2023.
- [15] A. Padovano, F. Longo, L. Manca, and R. Grugni, "Improving safety management in

railway stations through a simulation-based digital twin approach,” *Comput. Ind. Eng.*,

vol. 187, p. 109839, 2024.