

ABSTRACT

This study aims to identify recurring safety risks related to signalling-protection failures in Indonesian railway operations and to translate these contributing factors into a practical prioritisation framework for accident analysis. The research focuses on understanding which factors repeatedly appear in accident investigation reports and determining which of these factors should be prioritised for safety control. By linking accident investigation evidence with a structured human factors framework, this study seeks to support more systematic and risk-based safety decision-making in railway operations.

Secondary data were obtained from thirteen official railway accident investigation reports published by the Indonesian National Transportation Safety Committee (KNKT) between 2015 and 2024. A structured content analysis was applied using evidence statements from the reports as the unit of analysis. Contributing factors were extracted and classified using the Human Factors Analysis and Classification System for Railway Accidents (HFACS-RAs). To move beyond descriptive results, an integrated prioritisation workflow was applied to an illustrative case study of the 2015 Juanda commuter-train collision. Expert judgement was collected through questionnaires and analysed using DEMATEL to model causal influence among HFACS factors and the Analytic Network Process (ANP) to calculate priority weights while considering interdependence among factors.

The cross-case analysis shows that Equipment Resources appeared in all accident cases (13/13). Other frequently observed categories include Skill-based Errors (76.9%), Decision Errors (53.8%), System Procedures (53.8%), and Operational Standards (46.2%). The case-study prioritisation indicates that the highest-ranked risks are related to delayed braking response and ineffective braking execution. DEMATEL results further show that organisational influences and unsafe supervision act as upstream drivers, while unsafe acts mainly appear as downstream outcomes. These findings indicate that signalling-protection failures arise from interacting weaknesses across technical barriers, operational procedures, supervision, and frontline performance. The proposed framework supports safety decision-making by translating investigation evidence into a structured factor map and a ranked set of priority safety factors for targeted intervention.

Keywords: HFACS-RAs; signalling protection; KNKT reports; DEMATEL; ANP

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi risiko keselamatan yang berulang terkait kegagalan proteksi persinyalan dalam operasi perkeretaapian Indonesia serta menerjemahkan faktor-faktor kontribusi tersebut menjadi kerangka prioritas yang praktis untuk analisis kecelakaan. Penelitian ini berfokus pada pemahaman faktor apa saja yang sering muncul dalam laporan investigasi kecelakaan serta menentukan faktor mana yang perlu diprioritaskan dalam pengendalian keselamatan. Dengan mengaitkan bukti investigasi kecelakaan dengan kerangka analisis faktor manusia yang terstruktur, penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan keselamatan yang lebih sistematis dan berbasis risiko dalam operasi perkeretaapian.

Data sekunder diperoleh dari tiga belas laporan resmi investigasi kecelakaan kereta api yang diterbitkan oleh Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) pada periode 2015–2024. Analisis isi terstruktur diterapkan dengan menggunakan pernyataan bukti dari laporan sebagai unit analisis. Faktor kontribusi diekstraksi dari setiap laporan dan diklasifikasikan menggunakan Human Factors Analysis and Classification System for Railway Accidents (HFACS-RAs). Untuk melampaui hasil deskriptif, kerangka prioritas terintegrasi diterapkan pada studi kasus ilustratif tabrakan KRL di Juanda tahun 2015. Penilaian pakar dikumpulkan melalui kuesioner dan dianalisis menggunakan DEMATEL untuk memodelkan hubungan sebab–akibat antar faktor HFACS serta Analytic Network Process (ANP) untuk menghitung bobot prioritas dengan mempertimbangkan ketergantungan antar faktor.

Hasil analisis lintas kasus menunjukkan bahwa kategori Equipment Resources muncul pada seluruh kasus kecelakaan (13/13). Faktor lain yang sering muncul adalah Skill-based Errors (76,9%), Decision Errors (53,8%), System Procedures (53,8%), dan Operational Standards (46,2%). Hasil prioritas studi kasus menunjukkan bahwa risiko dengan peringkat tertinggi berkaitan dengan keterlambatan respons pengereman dan eksekusi pengereman yang tidak efektif. Analisis DEMATEL juga menunjukkan bahwa faktor organisasi dan supervisi berperan sebagai penggerak hulu, sedangkan unsafe acts terutama muncul sebagai keluaran hilir. Temuan ini menunjukkan bahwa kegagalan proteksi persinyalan terbentuk dari interaksi kelemahan pada penghalang teknis, prosedur operasi, supervisi, dan kinerja petugas lini depan. Kerangka yang diusulkan membantu pengambilan keputusan keselamatan dengan mengubah bukti investigasi menjadi peta faktor yang terstruktur serta daftar faktor keselamatan prioritas untuk intervensi yang lebih terarah.

Kata kunci: HFACS-RAs; proteksi persinyalan; laporan KNKT; DEMATEL; ANP