



Evaluasi SMKK dan Prioritas Pengendalian Risiko Pemeliharaan Jalan Tol Surabaya–Gempol dengan AHP–TOPSIS

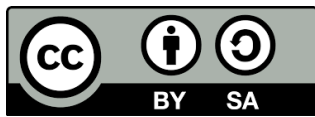
Daniel Assa, Daisy D. G. Pangemanan*, Don R. G. Kabo

Politeknik Negeri Manado, Indonesia

Email: daisypangemanan79@gmail.com*

Keywords:

Construction Safety;
HIRADC; AHP; TOPSIS;
Toll Road



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

Copyright © 2026 by Author. Published by Publikasiku Publisher

Kata Kunci:

Keselamatan Konstruksi;
HIRADC; AHP; TOPSIS;
Jalan Tol

Abstract

Toll road maintenance involves safety risks because operations occur near traffic, workers, project vehicles, and heavy equipment. This study aimed to evaluate the Construction Safety Management System (CSMS) and determine risk control priorities for pavement reconstruction on the Surabaya–Gempol Toll Road at STA 10+200–11+400. A descriptive-evaluative design employed a quantitative approach supported by observation and practitioner validation. Data were collected from 40 respondents using an instrument comprising 40 CSMS indicators, while three experts provided judgments for decision analysis. CSMS implementation was assessed using percentages, hazards were evaluated through HIRADC/IBPRP, criterion weights were calculated using the Analytical Hierarchy Process (AHP), and control alternatives were ranked using the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). The findings showed that CSMS implementation reached 71.86%, indicating a good category, although performance evaluation was the weakest element. Ten hazards were identified; following additional controls, no extreme risks remained, but two hazards were classified as high. AHP identified risk-reduction effectiveness as the most important criterion. TOPSIS ranked improved signage, warning lights, and speed control first, with a preference value of 0.8175. The study concluded that good CSMS implementation must be reinforced through performance evaluation and prioritized technical controls to reduce safety risks sustainably.

Abstrak

Pekerjaan pemeliharaan jalan tol memiliki risiko tinggi karena dilaksanakan berdekatan dengan arus lalu lintas aktif, pekerja, kendaraan proyek, dan alat berat. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) dan menentukan prioritas pengendalian risiko pada pekerjaan rekonstruksi perkerasan Jalan Tol Surabaya–Gempol STA 10+200–11+400. Penelitian menggunakan desain deskriptif-evaluatif dengan pendekatan kuantitatif yang didukung observasi dan validasi praktisi. Data diperoleh dari 40 responden melalui instrumen berisi 40 indikator SMKK, sedangkan tiga ahli memberikan penilaian untuk analisis pengambilan keputusan. Penerapan SMKK dianalisis secara persentase, bahaya dinilai menggunakan HIRADC/IBPRP, bobot kriteria dihitung dengan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), dan alternatif pengendalian diperingkat menggunakan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Hasil penelitian menunjukkan tingkat penerapan SMKK sebesar 71,86% atau kategori baik, dengan evaluasi

kinerja sebagai elemen terendah. Sebanyak sepuluh bahaya teridentifikasi; setelah pengendalian, tidak terdapat risiko ekstrem, tetapi dua bahaya tetap berkategori tinggi. AHP menempatkan efektivitas penurunan risiko sebagai kriteria utama. TOPSIS menetapkan peningkatan rambu, lampu peringatan, dan pengendalian kecepatan sebagai prioritas pertama dengan nilai 0,8175. Temuan tersebut menegaskan perlunya integrasi evaluasi sistem dan tindakan operasional lapangan. Penelitian menyimpulkan bahwa penerapan SMKK yang baik perlu diperkuat melalui evaluasi kinerja dan pengendalian teknis berbasis prioritas untuk menurunkan risiko keselamatan secara berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Pekerjaan pemeliharaan jalan tol dilaksanakan tanpa menghentikan seluruh fungsi pelayanan jalan (Koswara & Rochim, 2025; Kurniawan & Najid, 2022; Putriani & Setiawan, 2023). Kondisi tersebut menciptakan ruang kerja yang dinamis karena tenaga kerja, kendaraan proyek, alat berat, dan pengguna jalan berada dalam koridor yang berdekatan. Risiko meningkat pada pekerjaan malam ketika jarak pandang berkurang dan perubahan lajur harus dipahami pengemudi dalam waktu singkat. Chitturi et al. (2025) menunjukkan bahwa lebar lajur serta jarak bebas terhadap penghalang memengaruhi peluang kendaraan menyentuh marka atau barrier. Penilaian berbasis lintasan kendaraan juga dapat mengenali risiko tabrakan di zona kerja secara lebih objektif (Tang et al., 2025).

Keselamatan pada kondisi tersebut tidak dapat bergantung hanya pada alat pelindung diri. Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) diperlukan agar komitmen pimpinan, perencanaan, kompetensi, komunikasi, pengendalian operasi, pemantauan, dan tindakan koreksi bekerja sebagai satu kesatuan. Peraturan Menteri PUPR Nomor 10 Tahun 2021 mengatur lima elemen SMKK, yaitu kepemimpinan dan partisipasi tenaga kerja, perencanaan, dukungan, operasi, serta evaluasi kinerja. Prinsip tersebut selaras dengan ISO 45001:2018 yang menempatkan identifikasi bahaya, partisipasi pekerja, pengendalian operasi, evaluasi, dan perbaikan berkelanjutan sebagai bagian sistem manajemen keselamatan.

Penerapan sistem yang tidak konsisten dapat menyebabkan bahaya yang sebenarnya dapat dikendalikan berkembang menjadi kecelakaan, penghentian pekerjaan, keterlambatan, kerusakan peralatan, dan tambahan biaya (Ayu Kurnia Sari & Putri Ayu Sekar Sari, 2026; Ekadamiyanti Sumule, 2024). Ahmadi et al. (2025) menunjukkan bahwa penggabungan indeks risiko dan pemetaan lokasi mampu mengenali titik kritis secara lebih tajam. Aydinli et al. (2025) menekankan bahwa pemilihan tindakan keselamatan perlu mempertimbangkan penurunan risiko sekaligus konsekuensi biaya. Dalam proyek dengan keterbatasan sumber daya, rencana keselamatan juga perlu diseimbangkan dengan waktu dan risiko (Shafikhani et al., 2025).

HIRADC/IBPRP dapat menjelaskan hubungan aktivitas, bahaya, dampak, pengendalian yang tersedia, risiko awal, dan risiko sisa. Namun, register risiko belum dengan sendirinya menentukan tindakan mana yang harus didahulukan ketika beberapa alternatif sama-sama diperlukan. *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dapat mengubah pertimbangan ahli menjadi bobot kriteria serta menguji konsistensinya, sedangkan TOPSIS membandingkan alternatif berdasarkan kedekatan terhadap solusi ideal. Hartono et al. (2025) menerapkan AHP untuk

membobot aktivitas dan risiko konstruksi jembatan. Laal et al. (2025) menggunakan Fuzzy-AHP dan TOPSIS untuk memprioritaskan indikator keselamatan pendahulu dan tertinggal.

Penelitian terdahulu umumnya bergerak pada salah satu sisi: penilaian risiko, pengukuran kinerja zona kerja, perilaku keselamatan, atau optimasi tindakan. Ansari et al. (2025) merangkum ukuran kinerja keselamatan zona kerja, sementara Shuang et al. (2025) membahas perilaku kewargaan keselamatan profesional konstruksi jalan. Chou et al. (2025) mengembangkan strategi risiko untuk pekerjaan sementara. Belum banyak penelitian yang menautkan tingkat penerapan SMKK, risiko aktivitas aktual, bobot keputusan, dan peringkat tindakan dalam satu alur pada pemeliharaan jalan tol. Kebaruan penelitian ini bersifat aplikatif, yaitu mengintegrasikan evaluasi 40 indikator SMKK, HIRADC/IBPRP, AHP, dan TOPSIS untuk menghasilkan urutan pengendalian yang dapat ditelusuri. Penelitian bertujuan mengevaluasi tingkat penerapan SMKK dan menentukan prioritas pengendalian risiko pada pekerjaan rekonstruksi perkerasan Jalan Tol Surabaya–Gempol.

Berdasarkan perkembangan penelitian tersebut, terdapat kesenjangan konseptual dan empiris yang perlu dijawab. Penelitian keselamatan zona kerja umumnya menitikberatkan perilaku pengemudi, karakteristik geometrik, konflik kendaraan, atau sistem peringatan, sedangkan penelitian keselamatan konstruksi lebih banyak membahas identifikasi risiko, kinerja keselamatan, dan optimasi sumber daya secara terpisah. Belum banyak penelitian yang menyusun satu alur analisis untuk mengevaluasi tingkat penerapan SMKK, mengidentifikasi bahaya dan risiko aktual melalui HIRADC/IBPRP, menentukan bobot kriteria keputusan melalui AHP, serta memeringkat alternatif pengendalian menggunakan TOPSIS. Kesenjangan empiris juga terlihat dari terbatasnya penelitian pada proyek pemeliharaan Jalan Tol Surabaya–Gempol, khususnya pekerjaan rekonstruksi perkerasan yang menghadapi risiko intrusi kendaraan, keterbatasan visibilitas malam, interaksi alat berat dan pekerja, serta ruang kerja yang berdekatan dengan lalu lintas aktif. Akibatnya, keputusan pengendalian masih berpotensi didasarkan pada skor risiko tunggal atau pertimbangan praktis tanpa jejak keputusan multikriteria yang transparan.

Penelitian ini menjadi penting karena tingkat penerapan SMKK yang tergolong baik belum tentu menunjukkan bahwa seluruh bahaya telah dikendalikan sampai pada tingkat yang dapat diterima. Kelemahan pada aspek operasi, pelaporan kejadian nyaris celaka, penyelidikan insiden, evaluasi kinerja, dan penutupan tindakan koreksi dapat mempertahankan risiko tinggi meskipun dokumen keselamatan telah tersedia. Selain itu, keterbatasan anggaran, tenaga, waktu, dan peralatan mengharuskan pengelola proyek menentukan pengendalian yang harus dilaksanakan terlebih dahulu berdasarkan efektivitas penurunan risiko, kepatuhan terhadap peraturan, kelayakan teknis, efisiensi biaya, dan kecepatan penerapan. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi evaluasi 40 indikator dalam lima elemen SMKK dengan HIRADC/IBPRP, AHP, dan TOPSIS dalam satu kerangka keputusan yang dapat ditelusuri. Kerangka tersebut tidak hanya mengukur tingkat penerapan sistem dan risiko aktivitas, tetapi juga menghubungkan hasil evaluasi dengan urutan alternatif pengendalian yang paling sesuai dengan kondisi aktual pekerjaan rekonstruksi perkerasan jalan tol.

Atas dasar kesenjangan dan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi tingkat penerapan SMKK serta menentukan prioritas pengendalian risiko pada pekerjaan rekonstruksi perkerasan Jalan Tol Surabaya–Gempol STA 10+200–11+400. Secara khusus, penelitian ini diarahkan untuk mengukur penerapan lima elemen SMKK, mengidentifikasi

bahaya dan perubahan tingkat risiko awal menjadi risiko sisa, menentukan bobot kriteria pengendalian berdasarkan penilaian ahli, serta memeringkat alternatif pengendalian melalui integrasi AHP dan TOPSIS. Secara teoretis, penelitian ini diharapkan memperkaya kajian keselamatan konstruksi dengan menghubungkan evaluasi sistem manajemen, penilaian risiko aktivitas, dan pengambilan keputusan multikriteria dalam satu model analisis. Secara praktis, hasil penelitian dapat menjadi dasar bagi pengelola jalan tol, kontraktor, ahli K3, dan petugas keselamatan untuk menetapkan pengendalian yang lebih objektif, mengalokasikan sumber daya secara tepat, memperkuat evaluasi kinerja SMKK, dan menurunkan risiko kecelakaan bagi pekerja maupun pengguna jalan.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan desain deskriptif-evaluatif dengan pendekatan kuantitatif yang diperkuat observasi dan validasi praktisi. Lokasi penelitian berada pada pekerjaan rekonstruksi perkerasan sebagai bagian pemeliharaan Jalan Tol Surabaya–Gempol STA 10+200–11+400. Pengumpulan data dilakukan pada Juni 2026 setelah memperoleh persetujuan penggunaan data dari instansi. Sampel berjumlah 40 responden dan ditetapkan dengan sampling jenuh terhadap kelompok personel yang tersedia. Responden terdiri atas unsur manajemen proyek, ahli K3, safety officer, pelaksana, flagman, manajer keuangan, dan pekerja harian. Tiga ahli dipilih secara purposive karena terlibat dalam keputusan teknis dan keselamatan.

Instrumen evaluasi SMKK terdiri atas 40 indikator dengan skala 0–4 yang dikelompokkan dalam lima elemen. Persentase penerapan dihitung dengan membandingkan skor aktual dan skor maksimum. Kategori yang digunakan adalah sangat baik untuk 85–100%, baik untuk 70–<85%, cukup untuk 55–<70%, kurang untuk 40–<55%, dan sangat kurang untuk nilai di bawah 40%. Validitas butir diperiksa dengan korelasi item–total terkoreksi menggunakan batas operasional $r = 0,312$ pada taraf 5%, sedangkan reliabilitas dinilai menggunakan Cronbach's alpha dengan batas penerimaan 0,70.

Identifikasi bahaya dan penilaian risiko menggunakan HIRADC/IBPRP. Nilai risiko dihitung sebagai hasil perkalian kemungkinan dan keparahan pada skala 1–5. Risiko dikelompokkan menjadi rendah (1–4), sedang (5–9), tinggi (10–14), dan ekstrem (15–25). Penilaian dilakukan pada kondisi awal dan setelah usulan pengendalian untuk memperoleh risiko sisa. Sepuluh bahaya diperiksa bersama petugas K3 agar aktivitas, dampak, pengendalian, dan penanggung jawab mempunyai hubungan yang logis.

AHP digunakan untuk menghitung bobot lima kriteria: efektivitas penurunan risiko, kepatuhan terhadap peraturan, kelayakan teknis, efisiensi biaya, dan kecepatan penerapan. Tiga matriks ahli dihitung terpisah menggunakan rata-rata geometrik baris. Konsistensi diuji melalui consistency ratio (CR) dengan batas 0,10 (Saaty, 1980). Bobot gabungan diperoleh dari rata-rata geometrik bobot ahli dan dinormalisasi. Selanjutnya, skor lima alternatif dirata-ratakan menjadi matriks keputusan TOPSIS. Seluruh kriteria diperlakukan sebagai benefit karena kriteria biaya dirumuskan sebagai efisiensi biaya. Matriks dinormalisasi, dikalikan dengan bobot AHP, lalu dihitung jaraknya terhadap solusi ideal positif dan negatif. Nilai preferensi yang lebih besar menunjukkan prioritas yang lebih tinggi (Hwang & Yoon, 1981).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Data dan Penerapan SMK K

Seluruh responden mengisi 40 indikator sehingga diperoleh 1.600 skor tanpa nilai kosong atau nilai di luar rentang. Komposisi responden didominasi pekerja harian, tetapi unsur pengambil keputusan dan petugas keselamatan tetap terwakili seperti terlihat pada Tabel 1. Struktur ini memungkinkan evaluasi menangkap pengalaman pelaksana sekaligus pandangan manajemen.

Tabel 1. Komposisi responden penelitian

Kelompok responden	Jumlah	Persentase
Manajemen proyek dan keuangan	5	12,5%
Pelaksana dan ahli K3	2	5,0%
Safety officer	3	7,5%
Flagman	5	12,5%
Pekerja harian	25	62,5%

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

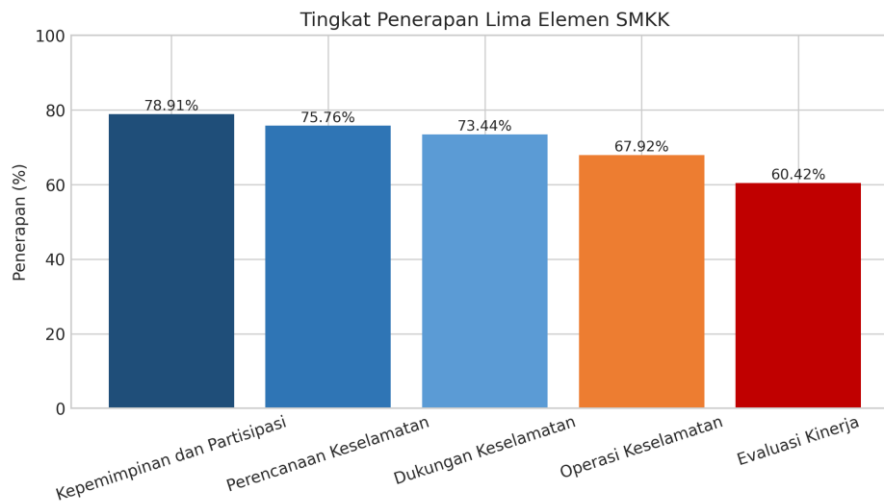
Nilai Cronbach's alpha sebesar 0,968 menunjukkan konsistensi internal yang sangat tinggi. Tingkat penerapan keseluruhan mencapai 71,86% atau kategori baik. Tabel 2 menunjukkan bahwa kepemimpinan dan partisipasi mempunyai capaian tertinggi, sedangkan evaluasi kinerja menjadi elemen terendah. Perbedaan tersebut memperlihatkan bahwa komitmen dan komunikasi telah lebih berkembang daripada mekanisme verifikasi tindakan koreksi, pelaporan kejadian nyaris celaka, penyelidikan insiden, dan tinjauan berkala.

Tabel 2. Tingkat penerapan lima elemen SMK K

Kode	Elemen SMK K	Penerapan	Kesenjangan	Kategori
A	Kepemimpinan dan partisipasi	78,91%	21,09%	Baik
B	Perencanaan keselamatan	75,76%	24,24%	Baik
C	Dukungan keselamatan	73,44%	26,56%	Baik
D	Operasi keselamatan	67,92%	32,08%	Cukup
E	Evaluasi kinerja	60,42%	39,58%	Cukup

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Pola capaian antarelemen diperjelas pada Gambar 1. Turunnya nilai dari kepemimpinan menuju evaluasi kinerja menunjukkan bahwa keberadaan kebijakan belum selalu diikuti siklus pemeriksaan dan penutupan temuan yang sama kuat. Temuan ini sejalan dengan Laal et al. (2025) yang menempatkan indikator pendahulu dan tertinggal sebagai unsur yang perlu diprioritaskan secara bersama agar organisasi tidak hanya bereaksi setelah kecelakaan terjadi.



Gambar 1. Tingkat penerapan lima elemen SMK

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Profil Risiko HIRADC/IBPRP

HIRADC/IBPRP mengidentifikasi 10 bahaya. Distribusi pada Tabel 3 menunjukkan bahwa risiko awal didominasi kategori ekstrem. Setelah tambahan pengendalian, tidak terdapat risiko ekstrem; lima bahaya bergeser menjadi sedang dan tiga menjadi rendah. Perubahan terutama terjadi melalui penurunan kemungkinan, sedangkan keparahan akibat tertabrak kendaraan tetap tinggi.

Tabel 3. Perubahan kategori risiko awal dan risiko sisa

Kategori	Risiko awal	Risiko sisa	Perubahan
Ekstrem	7	0	-7
Tinggi	2	2	0
Sedang	1	5	+4
Rendah	0	3	+3

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Dua bahaya masih mempunyai risiko sisa 10 atau kategori tinggi, yaitu intrusi kendaraan pada penutupan lajur dan keterbatasan visibilitas saat pekerjaan malam. Nilai tersebut tidak layak diturunkan hanya karena penambahan prosedur atau alat pelindung diri. Pengendalian perlu diarahkan pada pembatas fisik, ruang penyangga, pencahayaan, pengendalian kecepatan, dan pemeriksaan konfigurasi zona kerja. Temuan ini mendukung Chitturi et al. (2025), yang menunjukkan bahwa geometri lajur dan jarak terhadap barrier berkaitan dengan keselamatan kendaraan. Sistem peringatan juga perlu dirancang berdasarkan risiko mengemudi yang benar-benar terjadi di zona kerja (Hang et al., 2025).

Penguatan pengendalian tersebut dapat didukung teknologi deteksi objek secara waktu nyata untuk membantu mengenali kendaraan, pekerja, dan objek pada zona kerja (Lin et al., 2025). Namun, perangkat teknis perlu disertai komunikasi risiko kepada pengguna jalan karena gangguan telepon seluler dan respons pengemudi memengaruhi keselamatan zona kerja (Gyamfi & Perrault, 2025). Kajian berbasis simulasi mengemudi dan pelacakan mata juga menegaskan pentingnya rancangan zona kerja yang mempertimbangkan perilaku visual pengemudi (Zhang et al., 2025).

Bobot Kriteria dan Prioritas Pengendalian

Seluruh matriks perbandingan ahli memenuhi batas konsistensi. Nilai CR masing-masing ahli adalah 0,0637; 0,0621; dan 0,0772. Dengan demikian, bobot dapat digunakan dalam tahap TOPSIS. Tabel 4 menunjukkan efektivitas penurunan risiko sebagai kriteria terpenting, diikuti kepatuhan terhadap peraturan. Susunan ini masuk akal karena tindakan pada zona kerja harus terlebih dahulu mampu menurunkan kemungkinan atau paparan sebelum dipertimbangkan dari sisi kemudahan penerapan.

Tabel 4. Bobot kriteria AHP

Kode	Kriteria	Bobot	Peringkat
K1	Efektivitas penurunan risiko	0,2438	1
K2	Kepatuhan terhadap peraturan	0,2266	2
K3	Kelayakan teknis pelaksanaan	0,1973	3
K4	Efisiensi biaya	0,1799	4
K5	Kecepatan penerapan	0,1524	5

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

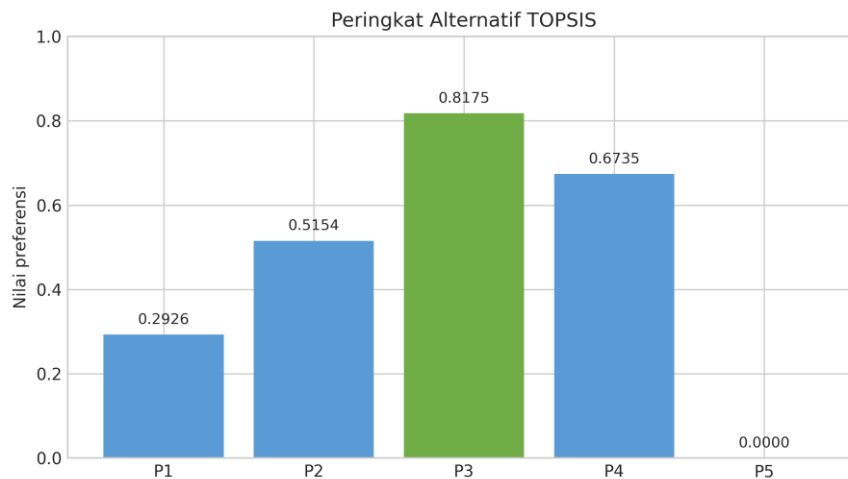
Hasil TOPSIS pada Tabel 5 menempatkan P3 sebagai prioritas pertama dengan nilai preferensi 0,8175. Alternatif tersebut berupa peningkatan rambu, lampu peringatan, dan pengendalian kecepatan. P4 berupa pemisahan jalur alat dan pekerja berada pada peringkat kedua, sedangkan penguatan barrier dan ruang penyangga berada pada peringkat ketiga. Nilai P5 sama dengan nol karena alternatif tersebut menjadi solusi ideal negatif pada kombinasi penilaian yang digunakan; hasil ini tidak berarti rapat keselamatan dan pelatihan boleh dihilangkan, tetapi menunjukkan bahwa keduanya tidak cukup sebagai pengendalian utama untuk risiko intrusi dan interaksi alat.

Tabel 5. Peringkat alternatif pengendalian dengan TOPSIS

Kode	Alternatif pengendalian	Nilai preferensi	Peringkat
P3	Rambu, lampu peringatan, dan pengendalian kecepatan	0,8175	1
P4	Pemisahan jalur alat berat dan pekerja	0,6735	2
P2	Penguatan barrier dan ruang penyangga	0,5154	3
P1	Penambahan petugas pengatur lalu lintas	0,2926	4
P5	Rapat keselamatan, pelatihan, dan inspeksi kompetensi	0,0000	5

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Perbandingan nilai preferensi pada Gambar 2 memperlihatkan jarak yang cukup jelas antara P3 dan alternatif lainnya. Uji sensitivitas dengan mengubah bobot efektivitas dari 80% sampai 120% kondisi dasar tidak menggeser P3 dari peringkat pertama. Stabilitas tersebut memperkuat keputusan bahwa peringatan visual dan pengendalian kecepatan perlu menjadi tindakan awal, kemudian dilengkapi pemisahan jalur dan perlindungan fisik.



Gambar 2. Nilai preferensi alternatif pengendalian TOPSIS

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Implikasi Pengelolaan Keselamatan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa capaian SMKK yang tergolong baik tidak otomatis menghilangkan risiko tinggi. Elemen operasi dan evaluasi kinerja masih berada pada kategori cukup, sementara dua bahaya tetap tinggi setelah pengendalian. Implikasi praktisnya adalah setiap konfigurasi zona kerja perlu diperiksa sebelum pergantian shift dan setelah perubahan lalu lintas, cuaca, atau metode. Setiap temuan harus memiliki penanggung jawab, batas waktu, dan bukti penutupan. Strategi tersebut menghubungkan evaluasi sistem dengan tindakan lapangan, bukan menempatkannya sebagai dua kegiatan yang terpisah.

Integrasi HIRADC/IBPRP, AHP, dan TOPSIS memberi jejak keputusan yang lebih transparan dibandingkan pemilihan tindakan berdasarkan satu skor risiko. Pendekatan ini sejalan dengan Zeibak-Shini et al. (2024), yang menggunakan AHP untuk alokasi sumber daya keselamatan, serta Aydinli et al. (2025), yang menilai keselamatan dari beberapa dimensi. Keterbatasan penelitian terletak pada satu lokasi, 40 responden, dan tiga ahli dari organisasi proyek yang sama. Biaya juga dinilai sebagai efisiensi relatif, bukan nilai moneter aktual. Penelitian berikutnya dapat membandingkan beberapa ruas, memasukkan volume dan kecepatan lalu lintas, serta menguji biaya aktual setiap alternatif.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) pada pekerjaan rekonstruksi perkerasan Jalan Tol Surabaya–Gempol STA 10+200–11+400 mencapai 71,86% dan termasuk kategori baik. Kepemimpinan dan partisipasi menjadi elemen dengan capaian tertinggi, sedangkan evaluasi kinerja memperoleh nilai terendah sehingga masih memerlukan penguatan dalam pelaporan kejadian nyaris celaka, penyelidikan insiden, pemantauan tindakan koreksi, dan tinjauan berkala. HIRADC/IBPRP mengidentifikasi sepuluh bahaya yang pada kondisi awal didominasi risiko ekstrem. Setelah penambahan pengendalian, tidak ditemukan risiko ekstrem, tetapi risiko intrusi kendaraan pada penutupan lajur dan keterbatasan visibilitas saat pekerjaan malam tetap berada pada kategori tinggi. Integrasi AHP–TOPSIS menempatkan peningkatan rambu, lampu peringatan, dan pengendalian kecepatan sebagai prioritas utama dengan nilai preferensi 0,8175, diikuti

pemisahan jalur alat berat dan pekerja serta penguatan barrier dan ruang penyangga. Dengan demikian, capaian SMKK yang baik belum secara otomatis menghilangkan risiko tinggi sehingga evaluasi sistem perlu dihubungkan langsung dengan pengendalian teknis di lapangan.

Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan beberapa ruas jalan tol, jumlah responden dan pakar yang lebih besar, serta organisasi proyek yang berbeda agar hasilnya lebih representatif dan dapat dibandingkan. Analisis berikutnya juga perlu memasukkan data objektif, seperti volume dan kecepatan lalu lintas, kondisi cuaca, intensitas pencahayaan, rekaman kejadian nyaris celaka, serta frekuensi perubahan konfigurasi zona kerja. Komponen biaya sebaiknya dihitung berdasarkan nilai moneter aktual, bukan hanya efisiensi relatif, sehingga keputusan pengendalian dapat dilengkapi dengan analisis efektivitas biaya. Selain itu, efektivitas alternatif prioritas perlu diuji melalui desain longitudinal atau sebelum–sesudah untuk mengetahui perubahan risiko setelah rambu, lampu peringatan, pengendalian kecepatan, pemisahan jalur, dan perlindungan fisik diterapkan. Pengembangan metode dapat dilakukan dengan membandingkan AHP–TOPSIS dengan metode multikriteria lain dan melakukan uji sensitivitas yang lebih luas untuk memastikan stabilitas peringkat pengendalian.

REFERENSI

- Ahmadi, F., Sadeghi-Yarandi, M., Ghiyasi, S., Mousavi, M., & Soltanzadeh, A. (2025). Advancing construction safety: A hybrid construction safety risk index and kernel density estimation approach for assessing construction safety risks. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 83(2), 303–319. <https://doi.org/10.1177/10519815251366999>
- Ansari, F. A., Pani, A., Oh, S., & Mohapatra, S. S. (2025). Systematic review and meta-analysis exploring safety performance measures of work zone. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 32(3), 460–473. <https://doi.org/10.1080/17457300.2025.2537684>
- Aydinli, S., Alboga, Ö., Oral, M., & Erdiş, E. (2025). A multi-dimensional construction safety risk optimization model. *Buildings*, 15(6), 985. <https://doi.org/10.3390/buildings15060985>
- Ayu Kurnia Sari, S., & Putri Ayu Sekar Sari, S. (2026). *Laporan Akhir Penelitian Internal Dosen: Analisis Dan Penilaian Risiko Kecelakaan Kerja Konstruksi Menggunakan Metode Hiradc Pada Proyek Rekonstruksi Jalan*.
- Chitturi, M. V., Vorhes, G., He, Z., Claros, B., Qin, X., Bill, A. R., & Noyce, D. A. (2025). Safety and mobility impacts of work zone lane and shoulder widths. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2679(10), 714–730. <https://doi.org/10.1177/03611981251342772>
- Chou, J.-S., Lin, T.-Y., Molla, A., & Lin, C.-C. J. (2025). Advanced risk management strategies for safety enhancement in temporary building construction works. *Journal of Safety Research*, 95, 545–568. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2025.08.003>
- Ekadamiyanti Sumule, P. (2024). *Analisis Biaya Pencegahan Kecelakaan Kerja dalam Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Proyek Konstruksi Gedung Seni dan Olahraga Kota Palopo*. unhas.
- Gyamfi, P. A., & Perrault, E. K. (2025). The salience of highway work zone safety and cell phone use among US young adults: Formative evaluation for future campaign development. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 114, 1241–1252. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.07.013>
- Hang, J., Li, X., Yan, X., Duan, K., Wang, Q., & Xue, Q. (2025). Driving risks assessment and in-vehicle warning design for improving work zone safety. *Accident Analysis &*

- Prevention, 215, 107991. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2025.107991>
- Hartono, W., Kristiawan, S. A., Handayani, D., & Sutopo, W. (2025). Safety risk assessment model for bridge construction. *Civil Engineering Journal*, 11(1), 161–184. <https://doi.org/10.28991/cej-2025-011-01-010>
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making: Methods and applications. Springer-Verlag.
- Koswara, D., & Rochim, A. (2025). Pengaruh Penerapan Aplikasi Safetyculture Dalam Meningkatkan Mutu Pemeliharaan Jalan Tol. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 11(7. B), 32–46.
- Kurniawan, I., & Najid, N. (2022). Evaluasi Tingkat Pelayanan Jalan Studi Kasus: Jalan Gatot Subroto Jakarta. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 481–488.
- Laal, F., Komeili, A., Alboghobeish, A., & Ansari, A. M. (2025). Prioritizing leading and lagging safety and health indicators using Fuzzy-AHP and TOPSIS methods. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 27(1), 19–37. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2025.2562533>
- Lin, W.-P., Wang, C.-C., Li, E.-C., & Yeh, C.-H. (2025). Enhanced real-time highway object detection for construction zone safety using YOLOv8s-MTAM. *Sensors*, 25(20), 6420. <https://doi.org/10.3390/s25206420>
- Nnaji, C., Gambatese, J., Lee, H. W., & Zhang, F. (2020). Improving construction work zone safety using technology: A systematic review of applicable technologies. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(1), 61–75. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.11.001>
- Putriani, W. I., & Setiawan, T. H. (2023). Studi Manajemen Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai. *Journal of Sustainable Construction*, 3(1), 17–31.
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill.
- Shuang, Q., Shuai, X., Liang, H., & Bai, J. (2025). How work-family conflict affects highway construction professionals' safety citizenship behaviors: A moderated mediation model. *Safety Science*, 191, 106976. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2025.106976>
- Tang, W., Wang, H., Ma, J., Yang, C., & Yin, C. (2025). Vehicle collision risk assessment method in highway work zone based on trajectory data. *Traffic Injury Prevention*, 27(1), 114–121. <https://doi.org/10.1080/15389588.2025.2474722>
- Zeibak-Shini, R., Malka, H., Kima, O., & Shohet, I. M. (2024). Analytical hierarchy process for construction safety management and resource allocation. *Applied Sciences*, 14(20), 9265. <https://doi.org/10.3390/app14209265>
- Zhang, S., Zuo, F., Ergan, S., & Ozbay, K. (2025). Improving work zone safety: Integrating VR-CARLA co-simulation and eye tracking for behavior analysis of drivers around work zones. *Journal of Transportation Safety & Security*, 17(7), 826–849. <https://doi.org/10.1080/19439962.2025.2462808>