

Analisis Risiko Proyek Konstruksi Jalan Tol Menggunakan Metode Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII)

Arif Budi Hartono, Mardiaman*

Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Tama Jagakarsa Institusi, Jakarta Selatan, 12530, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

risiko konstruksi; jalan tol; risk matrix; relative importance index; heatmap risiko

*Correspondence email:

mardi240967@gmail.com

Submitted: 20 Mei 2026

Revised: 29 Mei 2026

Accepted: 19 Juli 2026

Published: 01 Agustus 2026

ABSTRAK

Proyek konstruksi jalan tol memiliki tingkat kompleksitas dan ketidakpastian yang tinggi akibat keterlibatan banyak stakeholder, kendala regulasi, serta kondisi lapangan yang dinamis, yang seringkali menyebabkan keterlambatan dan pembengkakan biaya. Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji risiko konstruksi, sebagian besar masih menggunakan pendekatan yang terpisah sehingga belum mampu mengintegrasikan analisis tingkat risiko dan prioritas penanganannya secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kerangka evaluasi risiko yang terintegrasi dengan menggabungkan metode Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII) dalam menganalisis risiko proyek konstruksi jalan tol. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data primer yang diperoleh melalui kuesioner berbasis Google Form yang disebar kepada responden pada periode Januari hingga Februari 2026. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai risiko berdasarkan probabilitas dan dampak, dilanjutkan dengan perhitungan RII untuk menentukan prioritas risiko, serta visualisasi dalam bentuk risk heatmap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa risiko dominan berasal dari faktor non-teknis, terutama keterlambatan pembebasan lahan, kesiapan lokasi proyek, dan koordinasi antar instansi, yang secara konsisten menempati peringkat tertinggi pada analisis Risk Matrix dan RII. Selain itu, risiko operasional seperti keterlambatan progres konstruksi dan gangguan lalu lintas juga berkontribusi signifikan terhadap kinerja proyek. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa pendekatan analisis risiko yang terintegrasi dan berbasis visual, sehingga mampu meningkatkan pemahaman terhadap distribusi risiko serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif dalam manajemen proyek infrastruktur.

ABSTRACT

Keywords:

construction risk; toll road; risk matrix; relative importance index; risk heatmap

Toll road construction projects are characterized by high complexity and uncertainty due to the involvement of multiple stakeholders, regulatory constraints, and dynamic site conditions, which often lead to delays and cost overruns. Despite extensive studies on construction risk, existing approaches tend to apply fragmented methods that fail to simultaneously capture risk magnitude and prioritization in an integrated manner. This study aims to develop a comprehensive risk evaluation framework by integrating the Risk Matrix and Relative Importance Index (RII) to identify, assess, and prioritize risks in toll road construction projects. A quantitative approach was employed using primary data collected through structured questionnaires distributed via Google Form to project stakeholders between January and February 2026. The identified risk variables were analyzed by calculating risk scores based on probability and impact, followed by RII to determine risk prioritization. The results were further visualized using a risk heatmap to enhance interpretability. The findings reveal that the most critical risks are predominantly associated with non-technical factors, particularly land acquisition delays, land readiness issues, and inter-agency coordination. These risks consistently rank highest in both risk matrix and RII analyses, indicating strong agreement between risk severity and stakeholder perception. Additionally, operational risks such as construction delays and traffic disruptions also contribute significantly to project performance degradation. This study contributes by proposing an integrated and visually enhanced risk assessment framework that bridges the gap between quantitative evaluation and practical decision-making. The proposed approach provides a more comprehensive understanding of risk distribution and prioritization, offering practical implications for improving risk management strategies in large-scale infrastructure projects, particularly in developing countries.

PENDAHULUAN

Proyek konstruksi jalan tol merupakan salah satu infrastruktur strategis yang memiliki peran penting dalam meningkatkan konektivitas wilayah, efisiensi logistik, serta pertumbuhan ekonomi nasional. Namun demikian, proyek jalan tol dikenal memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi karena melibatkan berbagai aspek teknis, non-teknis, serta interaksi dengan banyak stakeholder. Kompleksitas tersebut menyebabkan proyek jalan tol rentan terhadap berbagai risiko yang dapat mempengaruhi kinerja waktu, biaya, dan mutu proyek (Sambasivan & Soon 2007; Doloi et al. 2012). Menurut Flyvbjerg (2021) proyek infrastruktur berskala besar cenderung mengalami ketidakpastian tinggi yang berujung pada keterlambatan dan pembengkakan biaya. Hal ini menunjukkan bahwa manajemen risiko menjadi

elemen krusial dalam keberhasilan proyek konstruksi (Welde & Odeck 2011; Nayyer, Aravindan & Annamalai 2023; Wibowo & Santoso 2024).

Dalam konteks manajemen proyek, risiko didefinisikan sebagai kemungkinan terjadinya suatu peristiwa yang dapat memberikan dampak terhadap pencapaian tujuan proyek. Risiko dalam proyek konstruksi umumnya bersumber dari berbagai faktor, seperti aspek teknis, lingkungan, ekonomi, hingga sosial dan kelembagaan. Risiko konstruksi tidak hanya berasal dari ketidakpastian teknis, tetapi juga dari faktor eksternal seperti regulasi dan keterlibatan stakeholder. Temuan serupa juga ditunjukkan pada studi evaluasi manajemen risiko proyek konstruksi yang menunjukkan bahwa dominasi risiko sering berasal dari faktor eksternal dan koordinasi antar pihak sehingga diperlukan identifikasi dan prioritasasi risiko secara sistematis sejak tahap awal proyek (Verasari & Supriatna 2026).

Proyek infrastruktur di negara berkembang memiliki karakteristik risiko yang lebih kompleks karena dipengaruhi oleh kondisi sosial dan kelembagaan yang dinamis (Kudtarkar 2020; Mardiaman & Indriasari 2025).

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa risiko dominan pada proyek jalan tol di Indonesia berkaitan dengan pembebasan lahan, keterlambatan administratif, serta koordinasi antar instansi. Namun demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa faktor teknis seperti desain dan manajemen konstruksi dapat menjadi lebih dominan dibandingkan faktor non-teknis dalam kondisi proyek tertentu (Doloi 2013; Hwang & Ng 2013). pembebasan lahan merupakan salah satu faktor utama penyebab keterlambatan proyek infrastruktur di Indonesia. Keterlambatan pembebasan lahan dan gangguan lingkungan proyek menjadi faktor risiko paling signifikan. Selain itu, Deviasi progres pekerjaan konstruksi juga berkontribusi terhadap keterlambatan proyek secara keseluruhan (Hadi Kusuma, Ulfa Aulia & Farikha 2018; Rahmawati & Tenriajeng 2020; Khumairoh et al. 2022; Nugraha et al. 2022).

Meskipun demikian, beberapa penelitian internasional menunjukkan bahwa risiko proyek konstruksi dapat diminimalkan melalui pendekatan manajemen risiko yang terintegrasi, seperti penggunaan teknologi Building Information Modeling (BIM), analisis probabilistik, serta sistem pengambilan keputusan berbasis data (Alaloul et al. 2020). Hal ini menunjukkan adanya perbedaan antara praktik manajemen risiko di negara maju dan negara berkembang, khususnya dalam hal kesiapan teknologi dan tata kelola proyek (Ibrahim et al. 2024).

Berdasarkan kajian tersebut, terdapat kesenjangan penelitian (research gap) yang perlu dikaji lebih lanjut, yaitu belum optimalnya integrasi antara metode kuantitatif sederhana seperti Risk Matrix dengan pendekatan prioritas risiko seperti Relative Importance Index (RII) dalam mengidentifikasi dan memetakan risiko proyek jalan tol secara komprehensif. Sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung menggunakan satu pendekatan analisis saja, sehingga belum mampu memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai tingkat risiko dan prioritas penanganannya (Sipala, Mardiaman & Sukahar 2026).

Selain itu, penelitian sebelumnya umumnya berfokus pada identifikasi faktor risiko secara parsial, tanpa mengintegrasikan hasil analisis ke dalam visualisasi yang mudah dipahami seperti risk heatmap. Padahal, visualisasi risiko memiliki peran penting dalam mendukung pengambilan keputusan yang cepat dan tepat dalam manajemen proyek (Love et al. 2013). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu menggabungkan analisis kuantitatif dan visualisasi risiko dalam satu kerangka analisis yang terintegrasi (Gabel et al. 2022).

Berdasarkan permasalahan dan gap tersebut, penelitian ini menawarkan unsur kebaruan (novelty) berupa integrasi metode Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII) dalam menganalisis dan memetakan risiko proyek konstruksi jalan tol, yang dilengkapi dengan visualisasi risk heatmap untuk mempermudah interpretasi hasil. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis dalam pengelolaan risiko proyek serta kontribusi akademik dalam pengembangan metode analisis risiko konstruksi.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk: (1) mengidentifikasi variabel risiko pada proyek konstruksi jalan tol, (2) menganalisis tingkat risiko berdasarkan probabilitas dan dampak menggunakan Risk Matrix, (3) menentukan prioritas risiko menggunakan metode Relative Importance Index (RII), serta (4) memetakan risiko dalam bentuk risk heatmap sebagai dasar dalam penyusunan strategi mitigasi risiko proyek.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis tingkat risiko pada proyek konstruksi jalan tol dengan menggunakan metode Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII). Pendekatan ini dipilih karena mampu mengukur persepsi responden terhadap probabilitas dan dampak risiko secara terstruktur, sehingga menghasilkan pemetaan risiko yang objektif dan terukur.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada responden yang terlibat langsung dalam proyek konstruksi. Daftar variabel penelitian diambil dari berbagai referensi literatur yang relevan serta penelitian terdahulu, kemudian disesuaikan dengan karakteristik proyek jalan tol. Variabel tersebut dikelompokkan ke dalam beberapa kategori utama, yaitu risiko proyek, risiko desain, risiko pelaksanaan, risiko lingkungan, risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3), risiko keuangan, serta risiko sumber daya manusia. Secara keseluruhan, variabel-variabel tersebut disusun dalam bentuk instrumen kuesioner terstruktur sebagaimana ditunjukkan pada instrumen penelitian yang digunakan .

Instrumen penelitian disusun menggunakan skala Likert dengan rentang nilai 1 sampai 5 untuk mengukur dua parameter utama, yaitu probabilitas (kemungkinan terjadinya risiko) dan dampak (tingkat konsekuensi risiko terhadap proyek). Selanjutnya, kuesioner disajikan dalam bentuk Google Form untuk mempermudah distribusi dan pengumpulan data. Penyebaran kuesioner dilakukan pada periode Januari hingga Februari 2026 melalui media WhatsApp kepada responden yang memenuhi kriteria penelitian.

Responden dalam penelitian ini dipilih berdasarkan keterlibatan dan pengalaman dalam proyek konstruksi, dengan mempertimbangkan beberapa karakteristik, yaitu jenis kelamin, usia (20–30 tahun, 31–40 tahun, 41–50 tahun, dan lebih dari 50 tahun), jabatan dalam proyek, pengalaman kerja, serta tingkat pendidikan. Kriteria ini digunakan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh berasal dari responden yang memiliki kompetensi dan pemahaman yang memadai terhadap risiko proyek konstruksi.

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis. Tahap awal adalah melakukan uji validitas dan reliabilitas terhadap instrumen kuesioner untuk memastikan bahwa data yang diperoleh layak digunakan.

Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Sebelum dilakukan analisis tingkat risiko menggunakan Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII), instrumen kuesioner terlebih dahulu diuji untuk memastikan bahwa setiap butir pertanyaan mampu mengukur konstruk risiko secara tepat dan konsisten. Pengujian dilakukan terhadap seluruh variabel risiko menggunakan data hasil penyebaran kuesioner kepada 51 responden.

Uji Validitas

Uji validitas dilakukan menggunakan Corrected Item–Total Correlation melalui perangkat lunak statistik untuk mengetahui hubungan antara skor setiap item dan skor total instrumen. Suatu item dinyatakan valid apabila nilai r hitung lebih besar daripada r tabel pada taraf signifikansi 5%.

Kriteria keputusan:

- $r_{hitung} > 0,276 \rightarrow$ item valid
- $r_{hitung} \leq 0,276 \rightarrow$ item tidak valid

Pengujian validitas dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik (SPSS/Excel), dan hanya item yang memenuhi kriteria validitas yang digunakan pada tahap analisis berikutnya.

Uji Reliabilitas

Setelah instrumen dinyatakan valid, dilakukan uji reliabilitas menggunakan metode **Cronbach's Alpha** untuk mengetahui tingkat konsistensi internal antar butir pertanyaan.

Persamaan Cronbach's Alpha:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

di mana : α = koefisien reliabilitas, k = jumlah item pertanyaan, S_i^2 = varians tiap item, S_t^2 = varians total.

Tabel 1. Interpretasi nilai Cronbach's Alpha

Nilai Alpha	Interpretasi
$\geq 0,90$	Sangat reliabel
0,80–0,89	Reliabel
0,70–0,79	Cukup reliabel
0,60–0,69	Dapat diterima
$< 0,60$	Tidak reliabel

Sumber: Data Olahan (2026)

Instrumen dinyatakan reliabel apabila nilai Cronbach's Alpha $\geq 0,70$, yang menunjukkan bahwa jawaban responden memiliki tingkat konsistensi yang baik sehingga layak digunakan dalam analisis Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII).

Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai risiko untuk setiap variabel dengan mengalikan nilai probabilitas dan dampak, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$R = P \times I \quad \dots\dots\dots (2)$$

di mana R adalah nilai risiko, P adalah probabilitas, dan I adalah dampak. Nilai risiko yang diperoleh kemudian digunakan untuk memetakan tingkat risiko ke dalam risk matrix, sehingga dapat diklasifikasikan ke dalam kategori risiko rendah, sedang, tinggi, dan ekstrem.

Selain perhitungan nilai risiko menggunakan perkalian antara probabilitas dan dampak, penelitian ini juga menggunakan Relative Importance Index (RII) untuk menentukan prioritas risiko berdasarkan tingkat kemungkinan kejadian atau *likelihood*. Nilai RII digunakan untuk mengetahui risiko yang paling sering atau paling mungkin terjadi berdasarkan persepsi responden, sedangkan tingkat risiko secara keseluruhan tetap ditentukan melalui *risk score* yang menggabungkan nilai *likelihood* dan *impact*.

$$RII = \frac{\sum W}{A \times N} \quad \dots\dots\dots (3)$$

di mana W adalah total skor *likelihood* yang diberikan responden, A adalah nilai maksimum skala penilaian yaitu 5, dan N adalah jumlah responden. Nilai RII digunakan untuk menentukan peringkat prioritas risiko secara relatif berdasarkan tingkat kepentingan masing-masing variabel risiko. Nilai RII digunakan untuk melakukan perankingan variabel risiko sehingga dapat diidentifikasi risiko dominan yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap proyek.

Hasil perhitungan nilai risiko dan RII kemudian dianalisis secara komprehensif untuk menghasilkan pemetaan risiko dalam bentuk risk matrix (heatmap) serta menentukan prioritas penanganan risiko. Tahapan akhir dari penelitian ini adalah interpretasi hasil analisis yang digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi pengendalian risiko pada proyek konstruksi jalan tol.

HASIL

Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas

Tabel 2. Hasil Uji Validitas Instrumen Penelitian

Variabel	r hitung	Keputusan	Variabel	r hitung	Keputusan
A1	0,681	Valid	E1	0,865	Valid
A2	0,736	Valid	E2	0,779	Valid
A3	0,632	Valid	E3	0,787	Valid
A4	0,765	Valid	E4	0,803	Valid
A5	0,681	Valid	E5	0,752	Valid
A6	0,631	Valid	E6	0,821	Valid
A7	0,765	Valid	E7	0,708	Valid
A8	0,614	Valid	E8	0,835	Valid
B1	0,781	Valid	E9	0,783	Valid
B2	0,712	Valid	E10	0,592	Valid
B3	0,717	Valid	F1	0,763	Valid
B4	0,798	Valid	F2	0,706	Valid
B5	0,820	Valid	F3	0,727	Valid
B6	0,768	Valid	F4	0,740	Valid
C1	0,689	Valid	F5	0,739	Valid
C2	0,834	Valid	F6	0,675	Valid
C3	0,543	Valid	F7	0,617	Valid
C4	0,792	Valid	G1	0,883	Valid
C5	0,815	Valid	G2	0,757	Valid
C6	0,776	Valid	G3	0,847	Valid
C7	0,790	Valid	G4	0,780	Valid
C8	0,689	Valid	G5	0,743	Valid
D1	0,696	Valid	G6	0,724	Valid
D2	0,624	Valid			
D3	0,643	Valid			
D4	0,711	Valid			
D5	0,755	Valid			
D6	0,782	Valid			

Sumber: Data Olahan (2026)

Sebelum dilakukan analisis tingkat risiko menggunakan Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII), dilakukan pengujian kualitas instrumen melalui uji validitas dan reliabilitas. Uji validitas menggunakan pendekatan

Corrected Item–Total Correlation dengan jumlah responden sebanyak 51 orang dan nilai r tabel sebesar 0,276 pada taraf signifikansi 5%.

Berdasarkan Tabel 2 hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variabel penelitian memiliki nilai r hitung lebih besar dari r tabel, dengan rentang nilai antara 0,543 hingga 0,883, sehingga seluruh item dinyatakan valid dan mampu merepresentasikan konstruk risiko proyek yang diukur.

Selanjutnya, dilakukan uji reliabilitas, diperoleh nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,984. Nilai tersebut lebih besar dari batas minimum 0,70, sehingga instrumen penelitian dinyatakan sangat reliabel. Dengan demikian, seluruh item yang telah dinyatakan valid dan reliabel layak digunakan dalam analisis Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII).

Analisis Tingkat Risiko Berdasarkan Risk Score

Analisis awal dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat risiko masing-masing variabel berdasarkan nilai probabilitas dan dampak yang diperoleh dari responden. Perhitungan ini menghasilkan nilai risk score yang digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat risiko ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi. Pendekatan ini memberikan gambaran awal mengenai distribusi risiko yang terjadi pada proyek konstruksi jalan tol serta membantu dalam mengidentifikasi variabel risiko yang paling dominan.

Klasifikasi tingkat risiko ditentukan berdasarkan nilai *risk score* hasil perkalian rata-rata *likelihood* dan *impact*. Karena skala penilaian yang digunakan adalah 1–5, maka nilai *risk score* berada pada rentang 1–25. Kategori risiko dibagi menjadi empat tingkat, yaitu rendah pada skor 1,00–5,00, sedang pada skor 5,01–10,00, tinggi pada skor 10,01–15,00, dan ekstrem pada skor 15,01–25,00. Klasifikasi ini digunakan sebagai dasar penentuan tingkat risiko pada setiap variabel penelitian. Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai hasil perhitungan tersebut, disajikan ringkasan skor risiko yang mencakup nilai rata-rata *likelihood*, *impact*, serta tingkat risiko masing-masing variabel pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan Skor dan Tingkat Risiko

No	Variabel	Faktor Risiko	Rata-rata Likelihood	Rata-rata Impact	Risk Score	Level Risiko
1	A1	Keterlambatan Penerbitan Penetapan Lokasi (Penlok) Trase Proyek	3,333	3,725	12,418	Tinggi
2	A2	Keterlambatan penyerahan lahan oleh instansi terkait	3,686	3,784	13,950	Tinggi
3	A3	Hambatan pembebasan lahan akibat status khusus (misal : Cagar Budaya, Situs Keramat, Badan usaha Milik Daerah dll)	3,098	3,314	10,266	Tinggi
4	A4	Kenaikan biaya pembebasan lahan dan penanganan utilitas	3,216	3,451	11,097	Tinggi
5	A5	Lahan belum dapat digunakan karena utilitas atau sosial	3,549	3,549	12,596	Tinggi
6	A6	Terjadinya Force Majeure / Kahar	2,588	3,039	7,866	Sedang
7	A7	Kurangnya koordinasi antar instansi	2,608	2,784	7,261	Sedang
8	A8	Rendahnya pemahaman BIM oleh tim proyek	2,647	2,353	6,228	Sedang
9	B1	Keterlambatan pengambilan data primer perencanaan	2,588	2,843	7,359	Sedang
10	B2	Keterlambatan Persetujuan Rencana Teknik Akhir (RTA)	3,078	3,137	9,658	Sedang
11	B3	Revisi desain akibat konektivitas trase tidak sesuai rencana	2,784	3,078	8,571	Sedang
12	B4	Keterlambatan dokumen mutu pekerjaan konstruksi	2,549	2,706	6,897	Sedang
13	B5	Keterlambatan persetujuan AMDAL dan Andalalin	2,882	2,824	8,138	Sedang
14	B6	Minimnya data perencanaan untuk pembuatan shop drawing	2,667	2,784	7,425	Sedang
15	C1	Keterlambatan pencapaian progres konstruksi	3,235	3,412	11,038	Tinggi
16	C2	Lemahnya kontrol dan monitoring pelaksanaan kontraktor	2,667	2,882	7,686	Sedang
17	C3	Perubahan metode kerja akibat kondisi lapangan	3,078	3,059	9,416	Sedang
18	C4	Keterbatasan pasokan material precast	2,725	3,059	8,337	Sedang
19	C5	Ketidaksesuaian mutu pekerjaan	2,431	2,784	6,770	Sedang
20	C6	Rework akibat lemahnya pengawasan	2,392	2,706	6,473	Sedang
21	C7	Ketidakefektifan penggunaan alat berat dan ereksi (LG)	2,647	2,922	7,734	Sedang
22	C8	Perubahan desain karena kondisi eksisting	3,000	3,078	9,235	Sedang
23	D1	Keterbatasan ruang kerja dan jalan akses	3,118	3,078	9,597	Sedang
24	D2	Gangguan lalu lintas di sekitar proyek	3,196	3,157	10,090	Tinggi
25	D3	Potensi banjir dan genangan rob	3,039	2,902	8,820	Sedang
26	D4	Longsor akibat pekerjaan galian struktur	2,373	2,549	6,048	Sedang
27	D5	Cuaca ekstrem	2,569	2,569	6,598	Sedang
28	D6	Longsor galian lubang borepile akibat kondisi tanah	2,627	2,686	7,058	Sedang
29	E1	Gagal menjaga keamanan dan keselamatan dalam lokasi Proyek	2,510	2,804	7,037	Sedang
30	E2	Risiko keselamatan pengguna jalan	2,627	2,765	7,264	Sedang
31	E3	Kurangnya pengetahuan K3 pekerja	2,529	2,725	6,894	Sedang
32	E4	Minimnya pengawas dan fasilitas K3	2,510	2,647	6,644	Sedang
33	E5	Tumpahan lumpur galian ke jalan	2,471	2,373	5,862	Sedang
34	E6	Kurangnya pengamanan ereksi girder	2,275	2,647	6,021	Sedang
35	E7	Perizinan kelayakan alat berat belum lengkap	2,176	2,392	5,206	Sedang
36	E8	Kurangnya sosialisasi ke masyarakat	2,275	2,412	5,486	Sedang

No	Variabel	Faktor Risiko	Rata-rata Likelihood	Rata-rata Impact	Risk Score	Level Risiko
37	E9	Tidak adanya simulasi keadaan darurat	2,235	2,353	5,260	Sedang
38	E10	Polusi udara dan kebisingan proyek	2,510	2,412	6,053	Sedang
39	F1	Cashflow kontraktor tidak lancar	2,745	3,176	8,720	Sedang
40	F2	Biaya tambahan sewa lahan dan akses	2,902	2,980	8,649	Sedang
41	F3	Terlambatnya pembayaran termin pekerjaan	2,471	2,804	6,927	Sedang
42	F4	Asuransi pekerja belum dibayarkan	2,157	2,373	5,117	Sedang
43	F5	Pembengkakan biaya Proyek	3,098	3,176	9,841	Sedang
44	F6	Permintaan perubahan atas pekerjaan (CCO) & Kontrak (Addendum)	3,098	3,039	9,416	Sedang
45	F7	Ketergantungan kontraktor pada uang muka	2,549	2,608	6,647	Sedang
46	G1	Kurangnya komunikasi dan koordinasi antar unit kerja di proyek	2,471	2,647	6,540	Sedang
47	G2	Jam kerja yang melebihi batas kemampuan pekerja	2,471	2,490	6,152	Sedang
48	G3	Ketidakmampuan tenaga kerja dalam struktur yang menyebabkan hasil yang optimal	2,392	2,510	6,004	Sedang
49	G4	Kekurangan operator alat berat	2,137	2,333	4,987	Rendah
50	G5	Kompetensi personil inti tidak sesuai	2,196	2,471	5,426	Sedang
51	G6	Seringnya pergantian personil inti proyek	2,216	2,451	5,431	Sedang

Sumber olahan data (2026)

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa sebagian besar variabel risiko berada pada kategori sedang hingga tinggi, dengan beberapa variabel memiliki nilai risiko yang signifikan. Risiko dengan kategori tinggi terutama didominasi oleh faktor-faktor yang berkaitan dengan pembebasan lahan dan gangguan lalu lintas proyek. Variabel dengan nilai risiko tertinggi adalah keterlambatan penyerahan lahan oleh instansi terkait, yang menunjukkan bahwa aspek non-teknis memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap keberhasilan proyek.

Selain itu, variabel lain seperti lahan yang belum dapat digunakan, keterlambatan penetapan lokasi, serta kenaikan biaya pembebasan lahan menunjukkan bahwa tahapan awal proyek memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa risiko pada fase pra-konstruksi dapat berdampak signifikan terhadap keseluruhan kinerja proyek.

Analisis Prioritas Risiko Menggunakan RII

Untuk memperkuat hasil analisis tingkat risiko, dilakukan perhitungan Relative Importance Index (RII) guna menentukan prioritas variabel risiko berdasarkan persepsi responden. Pola dominasi risiko non-teknis yang ditemukan dalam penelitian ini sejalan dengan studi global yang menunjukkan bahwa risiko eksternal sering kali memiliki dampak lebih besar dibandingkan risiko teknis pada proyek infrastruktur berskala besar (Flyvbjerg, Holm & Buhl 2003; Ahiaga-Dagbui et al. 2017). Metode ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi risiko yang paling berpengaruh secara relatif dibandingkan dengan variabel lainnya.

Hasil perhitungan RII kemudian dirangkum dalam bentuk peringkat untuk memudahkan interpretasi terhadap risiko dominan. Daftar sepuluh variabel risiko teratas berdasarkan nilai RII disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Sepuluh Variabel Risiko Teratas Berdasarkan RII Likelihood

Ranking	Variabel	Variabel Risiko	Total Skor	RII
1	A2	Keterlambatan penyerahan lahan oleh instansi terkait	188	0,737
2	A5	Lahan belum dapat digunakan karena utilitas atau sosial	181	0,710
3	A1	Keterlambatan Penerbitan Penetapan Lokasi (Penlok) Trase Proyek	170	0,667
4	C1	Keterlambatan pencapaian progres konstruksi	165	0,647
5	A4	Kenaikan biaya pembebasan lahan dan penanganan utilitas	164	0,643
6	D2	Gangguan lalu lintas di sekitar proyek	163	0,639
7	D1	Keterbatasan ruang kerja dan jalan akses	159	0,624
8	A3	Hambatan pembebasan lahan akibat status khusus	158	0,620
9	F5	Pembengkakan biaya proyek	158	0,620
10	F6	Permintaan perubahan atas pekerjaan (CCO) & Kontrak (Addendum)	158	0,620

Sumber Olahan Data (2026)

Berdasarkan Tabel 4, terlihat bahwa variabel risiko dengan nilai Relative Importance Index (RII) tertinggi didominasi oleh faktor non-teknis, khususnya keterlambatan penyerahan lahan oleh instansi terkait (RII = 0,737), lahan yang belum dapat digunakan karena utilitas atau faktor sosial (RII = 0,710), serta keterlambatan penerbitan penetapan lokasi proyek (RII = 0,667). Hasil ini menunjukkan bahwa fase pra-konstruksi menjadi tahapan paling kritis dalam proyek jalan tol karena sangat dipengaruhi oleh kesiapan administratif dan koordinasi lintas lembaga.

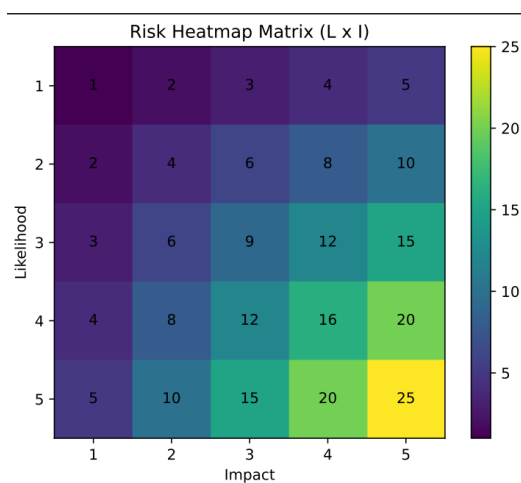
Selain itu, munculnya variabel keterlambatan progres konstruksi (RII = 0,647), gangguan lalu lintas (RII = 0,639), pembengkakan biaya proyek (RII = 0,620), serta perubahan pekerjaan melalui *contract change order* (CCO)

menunjukkan bahwa risiko operasional dan finansial tetap memberikan kontribusi signifikan terhadap kinerja proyek. Konsistensi antara hasil Risk Score dan RII yang telah dinormalisasi menunjukkan bahwa variabel tersebut merupakan risiko prioritas yang memerlukan perhatian utama dalam strategi mitigasi proyek.

Visualisasi Risiko Menggunakan Risk Matrix

Untuk memberikan pemahaman yang lebih intuitif terhadap distribusi risiko, dilakukan pemetaan menggunakan risk matrix yang menggabungkan nilai probabilitas dan dampak ke dalam suatu matriks visual. Pendekatan ini mempermudah identifikasi risiko berdasarkan tingkat urgensi penanganannya.

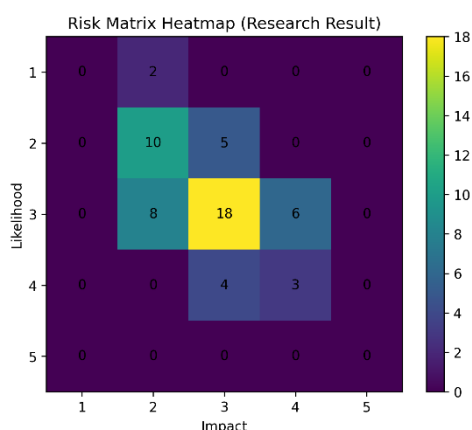
Visualisasi awal risk matrix yang menggambarkan distribusi risiko disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Risk Heatmap Matrix

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa sebagian besar risiko berada pada area medium risk, dengan beberapa variabel masuk ke dalam zona high risk. Area high risk menunjukkan kombinasi probabilitas tinggi dan dampak besar, sehingga memerlukan penanganan prioritas.

Untuk memperjelas distribusi risiko yang lebih spesifik, dilakukan pengembangan visualisasi dalam bentuk heatmap yang lebih detail sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



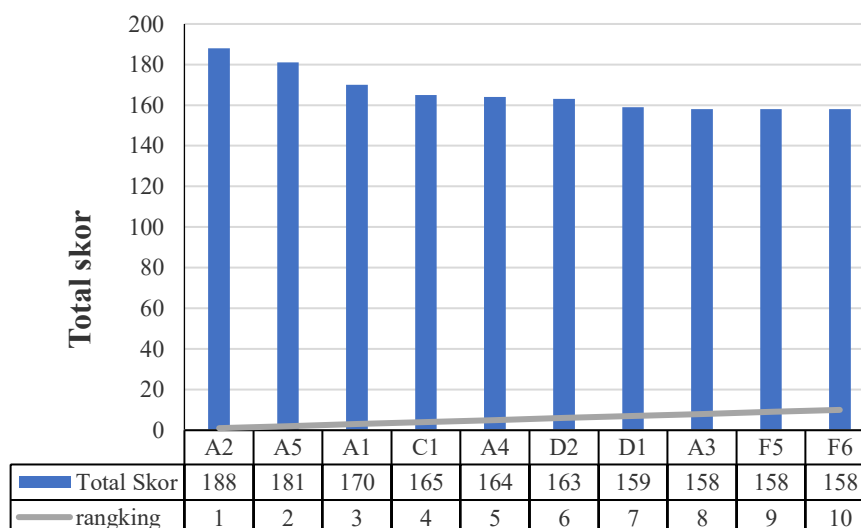
Gambar 2. Hasil Risk Matrix Heatmap

Gambar 2 menunjukkan bahwa risiko dengan kategori tinggi terkonsentrasi pada variabel yang berkaitan dengan pembebasan lahan dan progres proyek. Pola ini menunjukkan bahwa risiko strategis proyek lebih banyak dipengaruhi oleh faktor eksternal dibandingkan dengan faktor teknis internal.

Analisis Risiko Dominan (Top 10 Risks)

Untuk memperjelas fokus penelitian, dilakukan identifikasi terhadap sepuluh variabel risiko dengan nilai tertinggi yang dianggap sebagai risiko dominan dalam proyek. Analisis ini bertujuan untuk memberikan prioritas dalam penyusunan strategi mitigasi risiko.

Visualisasi variabel risiko dominan tersebut disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sepuluh Variabel Risiko Teratas Berdasarkan Total Skor dan RII

Sumber: olahan data (2026)

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa risiko dominan didominasi oleh variabel yang berkaitan dengan pembebasan lahan dan kesiapan lokasi proyek. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan proyek konstruksi jalan tol sangat bergantung pada kesiapan awal proyek sebelum memasuki tahap konstruksi.

Selain itu, munculnya variabel seperti keterlambatan progres konstruksi dan gangguan lalu lintas menunjukkan bahwa risiko operasional tetap menjadi faktor penting yang perlu dikendalikan selama pelaksanaan proyek.

Pembahasan

Risiko Pembebasan Lahan (A2, A5, A1, A3, A4)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa risiko dominan berasal dari aspek pembebasan lahan, terutama keterlambatan penyerahan lahan oleh instansi terkait, kesiapan lahan, serta keterlambatan penetapan lokasi proyek. Temuan ini menegaskan bahwa faktor non-teknis memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja proyek konstruksi jalan tol. Temuan ini juga diperkuat oleh Flyvbjerg et al. (2003) yang menunjukkan bahwa proyek infrastruktur global sering mengalami risiko eksternal yang tidak terkontrol. Namun, pendekatan governance dan stakeholder engagement terbukti mampu menekan risiko tersebut (Odeck & Kjerkreit 2019).

Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa pembebasan lahan merupakan penyebab utama keterlambatan proyek infrastruktur di negara berkembang karena kompleksitas aspek hukum, sosial, dan kelembagaan (Wibowo & Kochendörfer 2005). Selain itu, penelitian oleh Sutrisna et al. (2018) menunjukkan bahwa konflik kepemilikan lahan dan lambatnya proses administrasi menjadi faktor dominan dalam proyek jalan tol di Indonesia. Studi lain oleh Wondimu et al. (2018) juga mengidentifikasi bahwa keterlibatan stakeholder yang tidak optimal memperbesar risiko pada tahap awal proyek.

Namun demikian, beberapa penelitian menunjukkan hasil yang berbeda. Zou & Zhang (2009) dan Xiao & Proverbs (2002) menyatakan bahwa risiko pembebasan lahan dapat diminimalkan melalui pendekatan berbasis teknologi seperti GIS dan perencanaan partisipatif. Bahkan, studi oleh (Alaloul et al. 2020) menunjukkan bahwa integrasi BIM dalam tahap perencanaan mampu mengurangi konflik lahan secara signifikan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kesiapan teknologi dan tata kelola proyek menjadi faktor kunci dalam mitigasi risiko pembebasan lahan.

Risiko Progres Konstruksi (C1, C3, C8)

Risiko progres konstruksi berada pada kategori sedang hingga tinggi, yang menunjukkan bahwa pelaksanaan proyek masih menghadapi kendala signifikan di lapangan. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor operasional dan kondisi aktual proyek memiliki pengaruh besar terhadap pencapaian target waktu.

Temuan ini konsisten dengan penelitian (Doloi et al. 2012) dan (Hwang, Zhao & Yi 2013) yang menyatakan bahwa keterlambatan proyek disebabkan oleh lemahnya perencanaan dan koordinasi selama pelaksanaan. Penelitian oleh (Rita, Carlo & Nandi 2022) serta (Ackon et al. 2024) juga menunjukkan bahwa deviasi progres pekerjaan sering kali dipicu oleh perubahan desain dan kondisi lapangan yang tidak terduga. Selain itu, studi oleh (Assaf & Al-Hejji

2006) mengidentifikasi bahwa manajemen waktu yang kurang efektif menjadi faktor utama keterlambatan proyek konstruksi.

Namun, terdapat pandangan berbeda dari (Gunduz & Yahya 2018) yang menyatakan bahwa keterlambatan lebih banyak dipengaruhi oleh faktor internal seperti produktivitas tenaga kerja dan manajemen sumber daya. Bahkan, studi terbaru oleh (Azam et al. 2020) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi digital seperti BIM dan IoT mampu meningkatkan kontrol progres proyek secara signifikan.

Hal ini menunjukkan bahwa dalam konteks proyek jalan tol di Indonesia, keterlambatan progres lebih dipengaruhi oleh faktor eksternal dan ketidakpastian lapangan dibandingkan dengan faktor internal.

Risiko Lingkungan dan Operasional (D1, D2, D3)

Risiko lingkungan dan operasional seperti gangguan lalu lintas, keterbatasan ruang kerja, dan potensi banjir berada pada kategori sedang hingga tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa proyek jalan tol memiliki tingkat interaksi yang tinggi dengan lingkungan sekitar, terutama pada kawasan perkotaan.

Temuan ini didukung oleh (Agyekum-Mensah & Knight 2017) serta (Love et al. 2013) yang menyatakan bahwa proyek infrastruktur perkotaan memiliki risiko tinggi akibat keterbatasan ruang dan interaksi dengan aktivitas publik. Penelitian oleh (Chelstowska, Oleksandra & Sosik 2025) dan (Nugraha et al. 2022) juga menunjukkan bahwa gangguan lalu lintas merupakan faktor utama yang mempengaruhi kinerja proyek jalan di Indonesia. Selain itu, ditegaskan bahwa manajemen logistik menjadi faktor penting dalam mengurangi risiko operasional proyek.

Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa risiko lingkungan dapat dikendalikan secara efektif. Studi oleh (Mohamed et al. 2017) dan (Marzouk & El-Rasas 2014) menunjukkan bahwa perencanaan lalu lintas berbasis simulasi mampu mengurangi dampak gangguan lingkungan secara signifikan. Penelitian terbaru oleh (Justin, Payan & Mavris 2022) juga menunjukkan bahwa penggunaan sistem smart traffic management dapat menurunkan risiko gangguan operasional proyek.

Dengan demikian, risiko lingkungan dalam proyek jalan tol bersifat manageable, namun sangat bergantung pada kualitas perencanaan dan koordinasi.

Risiko Biaya Proyek (F5 dan terkait)

Risiko biaya proyek berada pada kategori sedang, namun tetap perlu diperhatikan karena memiliki keterkaitan erat dengan kinerja waktu dan perubahan lingkup pekerjaan. Risiko ini umumnya muncul akibat keterlambatan proyek dan perubahan lingkup pekerjaan.

Temuan ini konsisten dengan (Flyvbjerg 2009) yang menyatakan bahwa proyek infrastruktur berskala besar cenderung mengalami cost overrun akibat bias optimisme dan perencanaan yang kurang akurat. Penelitian oleh (Kaming et al. 2010; Memon et al. 2023) juga menunjukkan bahwa keterlambatan proyek merupakan penyebab utama pembengkakan biaya. Selain itu, studi oleh (Love et al. 2013) menunjukkan bahwa perubahan desain selama pelaksanaan proyek menjadi faktor utama peningkatan biaya.

Namun demikian, terdapat hasil yang berbeda dari (Odeck & Kjerkreit 2019) yang menunjukkan bahwa cost overrun dapat diminimalkan melalui penerapan estimasi biaya berbasis risiko dan governance yang kuat (Endo, Gianoli & Edelenbos 2021; Islam et al. 2021). Penelitian terbaru oleh (Bakhshi & Touran 2014) juga menunjukkan bahwa penggunaan probabilistic cost estimation mampu meningkatkan akurasi estimasi biaya proyek. Dengan demikian, risiko biaya proyek sangat dipengaruhi oleh kualitas perencanaan awal dan sistem pengendalian proyek.

Sintesis dan Implikasi Teoritis

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa risiko dominan pada proyek konstruksi jalan tol lebih banyak dipengaruhi oleh faktor non-teknis dibandingkan dengan faktor teknis. Temuan ini memperkuat penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa proyek infrastruktur di negara berkembang memiliki tingkat kompleksitas tinggi akibat interaksi antara faktor teknis, sosial, dan regulasi (Lin 2018; Endo et al. 2021).

Namun, penelitian ini juga memberikan kontribusi baru dengan menunjukkan bahwa risiko operasional dan lingkungan tetap memiliki pengaruh signifikan selama tahap pelaksanaan proyek. Hal ini menunjukkan bahwa manajemen risiko harus dilakukan secara holistik dan terintegrasi, mencakup seluruh siklus proyek. Pendekatan integratif tersebut juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menekankan bahwa pengendalian risiko proyek tidak cukup dilakukan hanya pada tahap pelaksanaan, tetapi perlu mempertimbangkan ketidakpastian durasi dan keterkaitan antar aktivitas proyek sebagai bagian dari sistem pengendalian yang menyeluruh (Hermanto et al. 2026).

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa risiko dominan pada proyek konstruksi jalan tol terutama dipengaruhi oleh faktor non-teknis, khususnya terkait pembebasan lahan, kesiapan lokasi proyek, dan koordinasi antar instansi. Variabel seperti keterlambatan penyerahan lahan, lahan yang belum siap digunakan, serta keterlambatan penetapan lokasi

terbukti memiliki tingkat risiko tertinggi, yang menunjukkan bahwa tahap pra-konstruksi merupakan fase paling kritis dalam menentukan keberhasilan proyek. Selain itu, risiko pada tahap pelaksanaan seperti keterlambatan progres konstruksi, gangguan lalu lintas, dan keterbatasan ruang kerja juga memberikan kontribusi signifikan terhadap kinerja proyek, terutama dalam aspek waktu dan biaya. Hasil analisis menggunakan Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII) menunjukkan konsistensi dalam mengidentifikasi risiko prioritas, sehingga metode ini efektif digunakan dalam evaluasi risiko proyek konstruksi. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa pengelolaan risiko proyek jalan tol harus dilakukan secara terintegrasi sejak tahap perencanaan hingga pelaksanaan, dengan fokus pada percepatan pembebasan lahan, peningkatan koordinasi stakeholder, serta pengendalian progres konstruksi secara berkelanjutan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan dan penyusunan strategi mitigasi risiko yang lebih efektif pada proyek infrastruktur sejenis di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackon, F., Kheni, N.A., Mensah, J.V. & Barajei, C., 2024, 'Effects of Organizational Culture Types on Construction Project Performance: A Competing Values Framework Approach in Ghanaian Perspective', *African Journal of Empirical Research*, 5(4), 1850–1858.
- Agyekum-Mensah, G. & Knight, A.D., 2017, 'La perspectiva de los profesionales sobre las causas del proceso. Retraso en la industria de la construcción', *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(5), 828–841.
- Ahiaga-Dagbui, D.D., Love, P.E.D., Smith, S.D. & Ackermann, F., 2017, 'Toward a Systemic View to Cost Overrun Causation in Infrastructure Projects: A Review and Implications for Research', *Project Management Journal*, 48(2), 88–98.
- Alaloul, W.S., Liew, M.S., Zawawi, N.A.W.A. & Kennedy, I.B., 2020, 'Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders', *Ain Shams Engineering Journal*, 11(1), 225–230.
- Assaf, S.A. & Al-Hejji, S., 2006, 'Causes of delay in large construction projects', *International Journal of Project Management*, 24(4), 349–357.
- Azam, T., Song, W., Sohail, J., Malik, A., Yaqoob, S., Memoona, M., Zaheer, N. & Ihsan, A., 2020, 'An analysis of causes of delay and cost overrun in construction of hydropower project', *Journal Public Affair*, July(1), 1–10.
- Bakhshi, P. & Touran, A., 2014, 'An overview of budget contingency calculation methods in construction industry', *Procedia Engineering*, 85(20), 52–60.
- Chełstowska, A., Oleksandra, O. & Sosik, K., 2025, 'The Impact of Construction Logistics and Project Implementation on Urban Quality of Life: The Grounded Theory Approach', *Sustainability*, 17(6).
- Doloi, H., 2013, 'Cost Overruns and Failure in Project Management: Understanding the Roles of Key Stakeholders in Construction Projects', *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(3), 267–279.
- Doloi, H., Sawhney, A., Iyer, K.C. & Rentala, S., 2012, 'Analysing factors affecting delays in Indian construction projects', *International Journal of Project Management*, 30(4), 479–489.
- Endo, K., Gianoli, A. & Edelenbos, J., 2021, 'Coming to Financial Close in PPPs: Identifying Critical Factors in the Case of Toll Road Projects in Indonesia', *Public Works Management and Policy*, 26(2), 115–143.
- Flyvbjerg, B., 2009, 'Survival of the unfittest: Why the worst infrastructure gets built-and what we can do about it', *Oxford Review of Economic Policy*, 25(3), 344–367.
- Flyvbjerg, B., Holm, M.K.S. & Buhl, S.L., 2003, 'How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?', *Transport Reviews*, 23(1), 71–88.
- Flyvbjerg, B.B., 2021, 'Top-Ten Behavioral Biases in Project Management : An Overview', *Project Management Journal*, 52(6), 531–546.
- Gabel, M., Sujka, M., Davis, Z.W. & Keizur, A.E., 2022, 'Performance of Risk-Based Estimating for Capital Projects', *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2677(1), 1059–1070.
- Gunduz, M. & Yahya, A.M.A., 2018, 'Analysis of project success factors in construction industry', *Technological and Economic Development of Economy*, 24(1), 67–80.
- Hadi Kusuma, S., Ulfa Aulia, B. & Farikha, N., 2018, 'Identifikasi Permasalahan dalam Pengembangan Jalan Tol di Provinsi Jawa Timur', *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 2(0), 19–28.
- Hermanto, D.R., Winanda, L.A.R., Kartika, D. & Munasih, 2026, 'Analisis Ketidakpastian Durasi Menggunakan Metode PERT dan PDM Guna Mengantisipasi Risiko Pada Proyek Konstruksi', *Jurnal Talenta Sipil*, 9(1), 354–362.
- Hwang, B. & Ng, W.J., 2013, 'Project management knowledge and skills for green construction: Overcoming challenges', *JPMa*, 31(2), 272–284.
- Hwang, B., Zhao, X. & Yi, S., 2013, 'Identifying the critical factors affecting schedule performance of public housing projects', *Habitat International*, 38(2013), 214–221.

- Ibrahim, F.S., Esa, M., Mohammad, W.N.S.W., Abdullah, W.N.H.W. & Nhari, R.N.R., 2024, 'The Integration of Bim and Ibs: A Case Study of Harmoni Elmina 1, Selangor, Malaysia', *Malaysian Journal of Sustainable Environment*, 11(3), 81–100.
- Islam, M.S., Nepal, M.P., Skitmore, M. & Drogemuller, R., 2021, 'Risk Induced Contingency Cost Modeling for Power Plant Projects Muhammad', *Automation in Construction*, 8123(1), 56.
- Justin, C.Y., Payan, A.P. & Mavris, D.N., 2022, 'Integrated fleet assignment and scheduling for environmentally friendly electrified regional air mobility', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 138.
- Kaming, P.F., Olomolaiye, P.O., Holt, G.D. & Harris, F.C., 2010, 'Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia', *Construction Management and Economics*, 15(1), 83–94.
- Khumairoh, A.N.F.A., Nurayuni, I., Sa'diyah, I.S. & Mu'allimah, 2022, 'Polemik Pengadaan Lahan Dalam Pembangunan Infrastruktur Jalan Tol Padang-Sicincin', *Jurnal Manajemen dan Kebijakan Publik*, 7(2), 261–283.
- Kudtarkar, S.G., 2020, 'Resetting PPP in Infrastructure Model in India Post-COVID-19 Pandemic', *The Indian Economic Journal*, 68(3), 365–382.
- Lin, K., 2018, 'The Politics of Financing the Highway Boom in China', *Asian Survey*, 58(3), 511–534.
- Love, P.E.D., Sing, C.P., Wang, X., Edwards, D.J. & Odeyinka, H., 2013, 'Probability distribution fitting of schedule overruns in construction projects', *Journal of the Operational Research Society*, 64(8), 1231–1247.
- Mardiaman & Indriasari, 2025, *Manajemen Risiko Proyek Konstruksi*, vol. 1, KBM Indonesia.
- Marzouk, M.M. & El-Rasas, T.I., 2014, 'Analyzing delay causes in egyptian construction projects', *Journal of Advanced Research*, 5(1), 49–55.
- Memon, A.H., Memon, A.Q., Soomro, M.A., Memon, M.A. & Khan Sahito, J.S., 2023, 'Structural model of cost overrun factors affecting Pakistani construction projects', *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 42(2), 108.
- Mohamed, E., Jafari, P., Siu, M.-F.F. & AbouRizk, S., 2017, *Data-Driven Simulation-Based Model For Planning Roadway Operation And Maintenance Projects*, *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference*, 3323–3334.
- Nayyer, M.I., Aravindan, M.R. & Annamalai, T.R., 2023, 'Impact of Transparency Law on the Post-Award Development Phase Of Toll and Annuity PPPs', *Built Environment Project and Asset Management*, 14(1), 22–37.
- Nugraha, M.A., Oktaviani, C.Z. and Bulba, A.T., 2022. Pengaruh keterlambatan proses pengadaan tanah terhadap pencapaian waktu proyek. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 5(1), pp.59-68.
- Odeck, J. & Kjekreit, A., 2019, 'The accuracy of benefit-cost analyses (BCAs) in transportation: An ex-post evaluation of road projects', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120(December 2018), 277–294.
- Rahmawati, N. & Tenriajeng, A.T., 2020, 'Analisis Manajemen Risiko Pelaksanaan Pembangunan Jalan Tol', *Rekayasa Sipil Journal*, 14(1), 25–18.
- Rita, E., Carlo, N. & Nandi, 2022, 'Penyebab Dan Dampak Keterlambatan Pekerjaan Jalan Di Sumatera Barat Indonesia', *Jurnal Rekayasa*, 11(1), 27–37.
- Sambasivan, M. & Soon, Y.W., 2007, 'Causes and effects of delays in Malaysian construction industry', *International Journal of Project Management*, 25(5), 517–526.
- Sipala, L.O.M.A., Mardiaman & Sukahar, A.G., 2026, 'Analisis Faktor Dominan Keterlambatan Waktu Pelaksanaan Proyek Rumah Susun Di Papua Barat Daya', *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 21(2), 59–66.
- Sutrisna, M., Pellicer, E., Torres-machi, C., Picornell, M., Sutrisna, M., Pellicer, E., Torres-machi, C., Picornell, M. & Torres-machi, C., 2018, 'Exploring earned value management in the Spanish construction industry as a pathway to competitive advantage', *International Journal of Construction Management*, 1–13.
- Verasari, D.V. & Supriatna, A., 2026, 'Evaluasi Manajemen Risiko pada Proyek Konstruksi Pembangunan Tembok Banjir Sungai Batang Merao Kota Sungai Penuh', *Jurnal Talenta Sipil*, 9(1), 315–325.
- Welde, M. & Odeck, J., 2011, 'Do planners get it right? The accuracy of travel demand forecasting in Norway', *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 11(1), 80–95.
- Wibowo, A. & Kochendörfer, B., 2005, 'Financial Risk Analysis of Project Finance in Indonesian Toll Roads', *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(9), 963–972.
- Wibowo, A. & Santoso, S.R., 2024, 'Cost Overruns Arising From Government-Led Risks in Indonesian Toll Roads', *Public Works Management & Policy*, 29(3), 446–470.
- Wondimu, P.A., Klakegg, O.J., Lædre, O. & Ballard, G., 2018, 'A comparison of competitive dialogue and best value procurement', *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, 1(July), 13–22.

Arif Budi, Mardiaman*: *Analisis Risiko Proyek Konstruksi Jalan Tol Menggunakan Metode Risk Matrix dan Relative Importance Index (RII)*

Xiao, H. & Proverbs, D., 2002, 'Construction time performance : an evaluation of contractors from Japan , the UK and the US', 81–89.

Zou, P.X.W. & Zhang, G., 2009, 'Managing risks in construction projects:Life cycle and stakeholder perspectives', *International Journal of Construction Management*, 9(1), 61–77.