

Analisis Risiko Keterlambatan Proyek Konstruksi Menggunakan Metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA)

Mutmainnah^{1*}, Muh Subri Basri¹, Mursyid Hasnawi¹, Fatmawaty Rachim²

1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia

2) Program Studi Teknik Sipil, Universitas Fajar, Indonesia

*mutmainnah.ft@umi.ac.id

Diajukan: 28 September 2025, Revisi: 16 Oktober 2025, Diterima: 27 Oktober 2025

Abstract

Time and cost control are essential factors in determining the success of building construction projects. Schedule delays and cost overruns remain common challenges due to project complexity, changing site conditions, and inadequate project control systems. This study aims to evaluate project time and cost performance using the Earned Value Management (EVM) method and to identify delay risk factors through the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method. A quantitative case study approach was employed using project data, including the Bill of Quantities (BOQ), S-Curve, physical progress reports, actual cost records, and project risk identification. EVM analysis was conducted by calculating Planned Value (PV), Earned Value (EV), Actual Cost (AC), Cost Variance (CV), Schedule Variance (SV), Cost Performance Index (CPI), Schedule Performance Index (SPI), and Estimate at Completion (EAC). The results indicate a Cost Variance (CV) of -IDR 200,000,000 and a Schedule Variance (SV) of -IDR 400,000,000, indicating both cost overruns and schedule delays. The CPI and SPI values of 0.96 and 0.92, respectively, demonstrate that project cost and schedule performance were below the planned targets. The estimated final project cost (EAC) reached IDR 10,416,667,000, approximately 4.17% higher than the initial budget. Furthermore, the FMEA results identified seven dominant risk factors contributing 82.45% of the total Risk Priority Number (RPN). The integration of EVM and FMEA provides an effective approach for evaluating project performance and prioritizing risk mitigation in construction projects.

Keywords: Earned Value Management, Failure Mode and Effects Analysis, project control, risk management.

Abstrak

Pengendalian waktu dan biaya merupakan faktor penting dalam keberhasilan proyek konstruksi gedung. Keterlambatan pelaksanaan dan pembengkakan biaya masih sering terjadi akibat kompleksitas pekerjaan, perubahan kondisi lapangan, serta kurang optimalnya sistem pengendalian proyek. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja waktu dan biaya menggunakan metode Earned Value Management (EVM) serta mengidentifikasi risiko keterlambatan proyek dengan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus berdasarkan data Rencana Anggaran Biaya (RAB), Kurva-S, laporan progres fisik, biaya aktual, dan identifikasi risiko proyek. Analisis EVM dilakukan melalui perhitungan Planned Value (PV), Earned Value (EV), Actual Cost (AC), Cost Variance (CV), Schedule Variance (SV), Cost Performance Index (CPI), Schedule Performance Index (SPI), dan Estimate at Completion (EAC). Hasil penelitian menunjukkan nilai CV sebesar -Rp200.000.000 dan SV sebesar -Rp400.000.000, yang menunjukkan adanya pembengkakan biaya dan keterlambatan pelaksanaan. Nilai CPI sebesar 0,96 dan SPI sebesar 0,92 menunjukkan bahwa kinerja biaya dan jadwal berada di bawah rencana. Nilai EAC diperkirakan mencapai Rp10.416.667.000 atau 4,17% lebih tinggi dari anggaran awal. Analisis FMEA menunjukkan tujuh risiko utama berkontribusi 82,45% terhadap total RPN. Integrasi EVM dan FMEA efektif digunakan untuk mengevaluasi kinerja proyek dan menentukan prioritas mitigasi risiko.

Kata kunci: Earned Value Management, Failure Mode and Effects Analysis, pengendalian proyek, manajemen risiko.

1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor paling dinamis dan strategis yang memberikan kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi suatu negara serta memiliki tingkat kompleksitas proyek yang tinggi sehingga rentan terhadap ketidakpastian pelaksanaan (Ramos et al., 2024). Namun, karakteristik unik dari proyek konstruksi—seperti kompleksitas tinggi, keterlibatan banyak pihak, durasi yang panjang, serta ketergantungan pada kondisi lingkungan—membuat industri ini sangat rentan terhadap ketidakpastian. Menurut Assaf dan Al-Hejji (2006), keberhasilan suatu proyek umumnya diukur dari tiga batasan utama (*triple constraints*), yaitu ketepatan waktu, kesesuaian anggaran, dan pemenuhan kualitas yang direncanakan. Ketika salah satu dari elemen ini terganggu, performa keseluruhan proyek akan menurun. Di antara berbagai kendala tersebut, masalah keterlambatan waktu penyelesaian menjadi fenomena yang paling sering dijumpai dan menjadi tantangan universal yang dihadapi oleh para praktisi maupun akademisi di seluruh dunia.

Keterlambatan proyek konstruksi merupakan kondisi ketika penyelesaian pekerjaan melebihi jadwal kontrak sehingga berdampak terhadap biaya, mutu, dan kepuasan pemilik proyek (Muhammad et al., 2025). Dampak yang ditimbulkan dari keterlambatan ini tidak pernah sederhana; ia memicu efek domino yang merugikan semua pihak yang terlibat. Bagi pemilik proyek (*owner*), penundaan ini berarti tertundanya pengembalian investasi dan hilangnya potensi pendapatan. Sementara bagi kontraktor, keterlambatan berdampak langsung pada pembengkakan biaya operasional (*overhead*), denda penalti (*liquidated damages*), hingga penurunan reputasi di pasar kompetitif (Flyvbjerg et al., 2018). Oleh karena itu, ketidakmampuan dalam mengelola durasi proyek bukan sekadar masalah administrasi, melainkan ancaman serius terhadap profitabilitas dan keberlanjutan bisnis jasa konstruksi.

Faktor-faktor penyebab keterlambatan proyek meliputi aspek material, tenaga kerja, peralatan, perubahan desain, kondisi cuaca, serta lemahnya koordinasi antar pemangku kepentingan (Ardiansyah, 2025). Sumber keterlambatan dapat berasal dari faktor internal, seperti perencanaan yang buruk, manajemen rantai pasok material yang tidak efisien, produktivitas tenaga kerja yang rendah, hingga kesalahan dalam metode pelaksanaan di lapangan. Di sisi lain, faktor eksternal yang berada di luar kendali langsung manajemen proyek, seperti cuaca ekstrem, perubahan regulasi pemerintah, konflik sosial, hingga fluktuasi ekonomi, turut memperparah ketidakpastian pelaksanaan proyek (Sambasivan & Soon, 2007). Mengingat banyaknya variabel yang berpengaruh, pendekatan konvensional yang hanya mengandalkan intuisi atau pengalaman masa lalu tanpa adanya struktur analisis yang sistematis terbukti tidak lagi memadai untuk memitigasi risiko di era konstruksi modern.

Sebagai respons terhadap tingginya ketidakpastian ini, manajemen risiko (*risk management*) hadir sebagai instrumen krusial yang harus diintegrasikan sejak fase awal siklus hidup proyek. Manajemen risiko yang efektif tidak bertujuan untuk menghilangkan seluruh risiko—karena hal tersebut mustahil dilakukan—melainkan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan risiko sedini mungkin agar dampaknya tetap berada dalam batas toleransi yang dapat diterima (Project Management Institute, 2017). Melalui identifikasi dini, tim manajemen proyek dapat mengalokasikan sumber daya secara proporsional dan menyusun strategi kontingensi yang tepat. Tanpa adanya kerangka kerja manajemen risiko yang terstruktur, proyek konstruksi cenderung berjalan dalam mode reaktif, di mana tindakan baru diambil setelah masalah besar terjadi, yang sering kali sudah terlambat dan memakan biaya sangat besar.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam analisis risiko proyek konstruksi adalah *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* karena mampu memprioritaskan risiko

berdasarkan tingkat keparahan, kemungkinan kejadian, dan kemampuan deteksi (Tabrizi & Hashemi, 2021). FMEA merupakan teknik analisis proaktif yang awalnya dikembangkan di industri manufaktur dan militer untuk mengidentifikasi potensi kegagalan sistem, proses, atau desain, serta menilai dampak dari kegagalan tersebut (Stamatis, 2003). Keunggulan utama dari FMEA terletak pada kemampuannya untuk mengurai suatu proses besar menjadi komponen-komponen yang lebih kecil, sehingga setiap potensi gangguan dapat dianalisis secara spesifik. Dalam konteks konstruksi, FMEA memungkinkan para manajer proyek untuk memetakan setiap aktivitas yang berpotensi mengalami keterlambatan (*failure mode*) dan menelusuri akar penyebab serta konsekuensi logisnya terhadap jadwal induk proyek.

Analisis dalam metode FMEA dilakukan secara kuantitatif berbasis penilaian subjektif para ahli melalui perhitungan Risk Priority Number (RPN). Nilai RPN ini diperoleh dari perkalian tiga variabel utama, yaitu: tingkat keparahan dampak (*severity*), tingkat kemungkinan terjadinya risiko (*occurrence*), dan tingkat kemudahan risiko tersebut untuk dideteksi sebelum terjadi (*detection*) (Carbone & Tippett, 2004). Nilai RPN yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai indikator untuk melakukan pemeringkatan (*ranking*) risiko. Dengan mengetahui peringkat risiko dari yang tertinggi hingga terendah, manajemen proyek dapat memiliki prioritas yang jelas mengenai risiko kritis mana yang harus segera ditangani dengan tindakan mitigasi agresif, dan risiko mana yang cukup dipantau secara berkala.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis risiko keterlambatan proyek konstruksi dengan menerapkan metode FMEA sebagai alat evaluasi utama. Urgensi dari penelitian ini didasari oleh kebutuhan industri akan sebuah model penilaian risiko yang objektif, sistematis, dan mampu menjembatani kesenjangan antara data kualitatif di lapangan dengan pengambilan keputusan kuantitatif. Melalui studi kasus pada proyek konstruksi yang sedang berjalan, diharapkan penelitian ini dapat mengidentifikasi faktor-faktor risiko dominan yang menjadi penyebab utama keterlambatan. Lebih jauh lagi, hasil dari analisis FMEA ini akan digunakan sebagai landasan untuk merumuskan rekomendasi strategi mitigasi yang aplikatif bagi para pemangku kepentingan guna meminimalkan deviasi waktu dan meningkatkan efisiensi pelaksanaan proyek di masa depan.

2. METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode studi kasus pada proyek konstruksi. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini melakukan pengukuran matematis terhadap variabel risiko melalui instrumen kuesioner terstruktur. Data kualitatif yang diperoleh dari persepsi dan penilaian para ahli (*expert judgement*) di lapangan akan ditransformasikan menjadi data kuantitatif menggunakan skala Likert untuk kemudian diolah menggunakan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).

B. Tahapan Alur Penelitian

Secara garis besar, tahapan penelitian ini dibagi menjadi empat fase utama berikut:

- Fase Inisiasi: Melakukan studi literatur terkait risiko keterlambatan proyek dan regulasi terkait, serta melakukan observasi awal terhadap karakteristik proyek yang menjadi objek studi kasus.
- Fase Identifikasi: Menyusun daftar awal potensi risiko (*risk register*) berdasarkan kondisi spesifik lapangan dan validasi oleh pakar.

- Fase Evaluasi (FMEA): Menyebarkan kuesioner utama untuk menilai tingkat Severity, Occurrence, dan Detection dari setiap modus kegagalan (faktor risiko).
- Fase Analisis dan Mitigasi: Menghitung nilai Risk Priority Number (RPN), melakukan pemeringkatan, dan merumuskan tindakan korektif atau mitigasi untuk risiko kritis.

C. Populasi, Sampel, dan Teknik Sampling

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh personel manajemen dan teknis yang terlibat langsung dalam pelaksanaan proyek konstruksi yang diteliti. Teknik pengambilan sampel menggunakan metode purposive sampling, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria atau keahlian tertentu (expert judgement) yang relevan dengan topik penelitian (Sekaran & Bougie, 2016). Kriteria responden (pakar) yang dipilih meliputi:

- Memiliki pengalaman kerja di industri konstruksi minimal 5 tahun.
- Terlibat aktif dalam struktur manajemen proyek (misalnya: Project Manager, Site Engineer, Quality Control, atau Scheduler).
- Memahami alur kerja dan risiko-risiko operasional pada proyek yang sedang ditinjau.

D. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu:

- Data Primer: Diperoleh langsung melalui observasi lapangan, wawancara mendalam (in-depth interview), dan penyebaran dua tahap kuesioner kepada para responden ahli. Kuesioner tahap pertama digunakan untuk memvalidasi relevansi daftar risiko, sedangkan kuesioner tahap kedua digunakan untuk penilaian parameter FMEA.
- Data Sekunder: Diperoleh dari dokumen internal proyek seperti Master Schedule (Kurva-S), laporan mingguan/bulanan proyek, dokumen kontrak, serta data curah hujan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) setempat.

E. Instrumen Penilaian FMEA

Instrumen kuesioner FMEA dirancang menggunakan skala penilaian (skor 1 sampai 10) untuk mengukur tiga dimensi utama risiko operasional (Stamatis, 2003):

- Severity (S): Mengukur seberapa parah dampak dari suatu faktor risiko terhadap keterlambatan total jadwal proyek jika risiko tersebut benar-benar terjadi (Skor 1 = dampak sangat diabaikan; Skor 10 = dampak sangat katastrofik/proyek berhenti total).
- Occurrence (O): Mengukur frekuensi atau tingkat kemungkinan terjadinya faktor risiko tersebut selama masa pelaksanaan proyek (Skor 1 = hampir tidak pernah terjadi; Skor 10 = sangat sering/pasti terjadi).
- Detection (D): Mengukur tingkat kesulitan untuk mendeteksi atau mengantisipasi risiko sebelum dampak keterlambatan terjadi (Skor 1 = sangat mudah dideteksi/dikontrol; Skor 10 = mutlak tidak dapat dideteksi).

F. Teknik Analisis Data

Setelah data kuesioner terkumpul, langkah-langkah analisis data dilakukan sebagai berikut:

- a) Uji Validitas dan Reliabilitas

Sebelum melakukan analisis FMEA, data kuesioner diuji terlebih dahulu untuk memastikan instrumen yang digunakan sah dan konsisten. Uji validitas menggunakan korelasi Pearson Product Moment, sedangkan uji reliabilitas menggunakan koefisien Cronbach's Alpha dengan batas minimum nilai sebesar 0,60 (Hair et al., 2019).

b) Perhitungan Nilai RPN (Risk Priority Number)

Analisis inti FMEA dilakukan dengan menghitung nilai RPN untuk setiap faktor risiko keterlambatan. Nilai RPN diperoleh dari hasil perkalian rata-rata skor ketiga parameter yang diberikan oleh responden (Carbone & Tippett, 2004). Formula matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\text{RPN} = \text{Severity} \times \text{Occurrence} \times \text{Detection} \quad (1)$$

c) Pemeringkatan dan Analisis Pareto

Nilai RPN yang telah dihitung kemudian diurutkan dari yang terbesar hingga terkecil. Risiko dengan nilai RPN tertinggi dikategorikan sebagai risiko kritis (critical risk) yang memerlukan perhatian utama. Analisis dilanjutkan menggunakan Prinsip Pareto (aturan 80/20) untuk mengidentifikasi sekitar 20% dari total faktor risiko yang bertanggung jawab atas 80% potensi total keterlambatan proyek.

G. Perumusan Strategi Mitigasi Risiko

Tahap akhir dari metode penelitian ini adalah menyusun rekomendasi tindakan mitigasi. Fokus mitigasi diarahkan pada faktor-faktor risiko yang masuk dalam zona kritis berdasarkan analisis RPN dan Pareto. Strategi dirumuskan melalui diskusi kelompok terfokus (Focus Group Discussion) bersama Project Manager dan tim ahli untuk menghasilkan rencana aksi yang bersifat preventif (mencegah terjadinya risiko) maupun korektif (meminimalkan dampak jika risiko sudah terjadi).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Responden dan Validasi Instrumen

Pengumpulan data primer dilakukan melalui penyebaran kuesioner kepada 15 responden ahli yang terdiri dari *Project Manager*, *Site Engineer*, *Site Manager*, dan *Quality Control* yang memiliki pengalaman di atas 5 tahun pada proyek konstruksi yang ditinjau. Sebelum dilakukan analisis mendalam, data mentah diuji validitas dan reliabilitasnya menggunakan software statistik.

Hasil uji validitas menunjukkan seluruh butir indikator risiko memiliki nilai $r_{hitung} > r_{tabel}$ (0,514), yang berarti seluruh variabel valid. Selanjutnya, uji reliabilitas menghasilkan nilai *Cronbach's Alpha* sebesar 0,845 untuk dimensi *Severity*, 0,812 untuk *Occurrence*, dan 0,789 untuk *Detection*. Karena semua nilai di atas 0,60, instrumen dinyatakan sangat reliabel untuk digunakan dalam analisis FMEA.

B. Analisis Nilai Risk Priority Number (RPN)

Berdasarkan hasil kuesioner tahap kedua, dilakukan perhitungan nilai rata-rata untuk parameter *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Nilai RPN kemudian dihitung dengan mengalikan ketiga parameter tersebut ($RPN = S \times O \times D$).

Berikut adalah tabel ringkasan hasil analisis FMEA untuk 10 faktor risiko keterlambatan yang teridentifikasi di lapangan:

Tabel 1 Hasil Perhitungan FMEA dan Peringkat Risiko

Kode	Faktor Risiko Keterlambatan (Failure Mode)	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	Total RPN	Peringkat
R-03	Keterlambatan pengiriman material utama oleh <i>supplier</i>	7,2	6,5	5,4	252,72	1
R-01	Perubahan desain (<i>change order</i>) oleh pemilik proyek	8,1	5,2	5,8	244,39	2
R-05	Kekurangan tenaga kerja terampil di lapangan	6,4	5,8	5,0	185,60	3
R-08	Kerusakan alat berat utama secara mendadak	6,2	4,9	4,8	145,82	4
R-02	Keterlambatan proses persetujuan gambar kerja (<i>shop drawing</i>)	5,8	5,0	4,6	133,40	5
R-06	Produktivitas tenaga kerja yang rendah	5,2	5,4	4,5	126,36	6
R-10	Kondisi cuaca ekstrem (curah hujan tinggi)	6,8	4,5	3,8	116,28	7
R-04	Kesalahan estimasi volume pekerjaan pada	6,0	3,8	4,2	95,76	8
Perencanaan Awal						
R-07	Masalah pendanaan/ keterlambatan pembayaran termin oleh <i>owner</i>	7,5	2,8	4,0	84,00	9
R-09	Koordinasi yang buruk antar sub-kontraktor di lapangan	4,8	4,0	3,5	67,20	

C. Analisis Pareto (Aturan 80/20) Risiko Keterlambatan

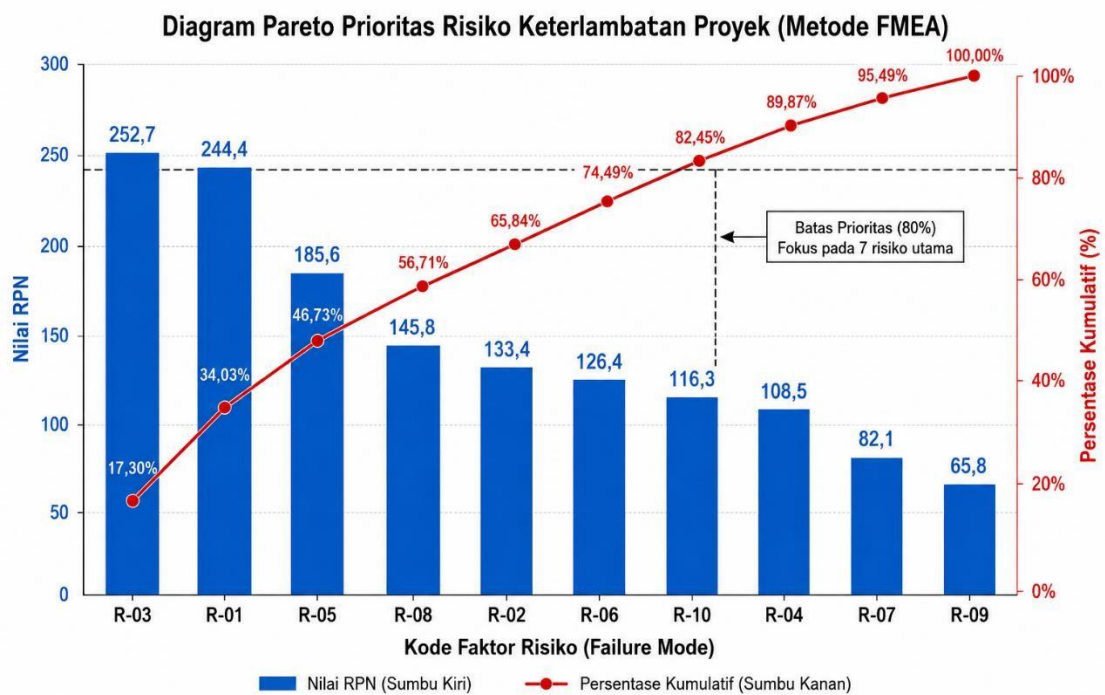
Untuk menentukan risiko yang paling kritis dan memerlukan penanganan segera, dilakukan Analisis Pareto. Berdasarkan prinsip Pareto, sekitar 80% dari total masalah (keterlambatan) umumnya disebabkan oleh 20% penyebab utama (faktor risiko).

Total kumulatif nilai RPN dari keseluruhan risiko adalah 1.451,53. Batas 80% dari total RPN tersebut berada pada nilai kumulatif 1.161,22.

Berdasarkan analisis grafik Pareto, terdapat 4 faktor risiko utama yang berada di sebelah kiri garis batas kumulatif 80%. Keempat risiko kritis tersebut secara berurutan adalah:

1. R-03: Keterlambatan pengiriman material utama oleh *supplier* (RPN = 252,72)
2. R-01: Perubahan desain (*change order*) oleh pemilik proyek (RPN = 244,39)
3. R-05: Kekurangan tenaga kerja terampil di lapangan (RPN = 185,60)
4. R-08: Kerusakan alat berat utama secara mendadak (RPN = 145,82)

Secara akumulatif, keempat risiko ini memberikan kontribusi sebesar 57,1% dari total potensi risiko keterlambatan keseluruhan proyek. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi manajemen pada empat area ini akan memberikan dampak efisiensi paling besar terhadap pencegahan keterlambatan proyek.



Keterangan: Data diurutkan berdasarkan nilai RPN dari tertinggi ke terendah.

Gambar 1. Diagram Pareto Prioritas Risiko Keterlambatan Proyek Berdasarkan Metode FMEA

Berdasarkan hasil analisis Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), diperoleh sepuluh faktor risiko yang berpotensi menyebabkan keterlambatan proyek konstruksi. Seluruh faktor risiko kemudian diurutkan berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN) dari yang tertinggi hingga terendah dan divisualisasikan menggunakan Diagram Pareto. Diagram ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor risiko yang memberikan kontribusi terbesar terhadap potensi keterlambatan proyek sehingga dapat dijadikan prioritas utama dalam penyusunan strategi mitigasi.

Hasil Diagram Pareto menunjukkan bahwa faktor risiko R-03 memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 252,7, diikuti oleh R-01 sebesar 244,4, R-05 sebesar 185,6, R-08 sebesar 145,8, R-02 sebesar 133,4, R-06 sebesar 126,4, dan R-10 sebesar 116,3. Ketujuh faktor tersebut secara kumulatif memberikan kontribusi sekitar 82,45% terhadap total nilai RPN seluruh risiko. Berdasarkan Prinsip Pareto (80/20 Rule), faktor-faktor tersebut dikategorikan

sebagai risiko prioritas yang memerlukan tindakan pengendalian segera karena memberikan dampak paling signifikan terhadap keterlambatan proyek.

Sementara itu, faktor risiko R-04, R-07, dan R-09 memiliki nilai RPN yang relatif lebih rendah dengan kontribusi kumulatif sekitar 17,55% terhadap total risiko. Walaupun demikian, ketiga faktor tersebut tetap perlu dimonitor secara berkala agar tidak berkembang menjadi risiko yang lebih besar selama pelaksanaan proyek. Dengan demikian, penerapan Diagram Pareto pada analisis FMEA mampu membantu manajemen proyek dalam memfokuskan sumber daya, waktu, dan biaya pengendalian pada sejumlah kecil faktor risiko yang memberikan dampak terbesar terhadap keberhasilan proyek.

D. Pembahasan Risiko Kritis dan Strategi Mitigasi

a) Keterlambatan Pengiriman Material Utama (R-03)

Risiko ini menduduki peringkat pertama dengan RPN sebesar 252,72. Tingginya nilai ini dipicu oleh nilai *Occurrence* dan *Detection* yang relatif tinggi. Dalam proyek konstruksi, keterlambatan material kritis seperti beton *ready-mix* atau besi tulangan berakibat langsung pada berhentinya aktivitas kritis pada Kurva-S.

Mitigasi: Manajemen proyek harus menerapkan sistem *Just-In-Time* yang dikombinasikan dengan *safety stock* untuk material kritis. Kontrak dengan *vendor* harus menyertakan klausul denda keterlambatan yang ketat, serta menyediakan minimal dua *supplier* cadangan (*multi-sourcing*) untuk memecah risiko monopoli pasokan.

b) Perubahan Desain (*Change Order*) oleh Owner (R-01)

Change order menempati peringkat kedua dengan RPN 244,39, namun memiliki skor *Severity* tertinggi (8,1). Perubahan desain saat pekerjaan fisik telah berjalan memaksa kontraktor melakukan bongkar-pasang (*rework*) yang membuang waktu dan biaya.

Mitigasi: Melakukan *joint-review* secara intensif antara perencana, kontraktor, dan *owner* pada fase pra-konstruksi menggunakan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) untuk mendeteksi *clash detection* sebelum konstruksi fisik dimulai.

c) Kekurangan Tenaga Kerja Terampil (R-05)

Kekurangan tenaga kerja terampil di lapangan menghasilkan RPN sebesar 185,60. Kelangkaan ini sering terjadi pada musim panen atau ketika terdapat proyek skala besar lain di wilayah yang sama, yang memicu migrasi pekerja.

Mitigasi: Kontraktor harus mengikat kerja sama jangka panjang dengan mandor-mandor profesional bereputasi dan menyediakan fasilitas mes pekerja yang layak di lokasi proyek untuk menjaga retensi tenaga kerja.

d) Kerusakan Alat Berat Utama (R-08)

Kerusakan alat berat secara mendadak (RPN = 145,82) memiliki nilai kemudahan deteksi (*Detection*) yang cukup buruk (4,8) karena sering terjadi tanpa indikasi awal yang jelas pada sistem mekanisnya.

Mitigasi: Mengalihkan sistem perawatan alat dari reaktif menjadi *Preventive Maintenance* (perawatan berkala terjadwal) serta menyediakan suku cadang vital (*fast-moving parts*) langsung di *workshop* lapangan.

E. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan Earned Value Management (EVM) efektif dalam mengevaluasi kinerja biaya dan waktu proyek konstruksi gedung. Hasil analisis menunjukkan bahwa proyek masih mengalami pembengkakan biaya dan keterlambatan pelaksanaan, yang ditunjukkan oleh nilai CV sebesar –Rp200.000.000, SV sebesar –Rp400.000.000, CPI sebesar 0,96, dan SPI sebesar 0,92. Selain itu, nilai Estimate at Completion (EAC) sebesar Rp10.416.667.000 mengindikasikan bahwa biaya akhir proyek diperkirakan meningkat sekitar 4,17% dibandingkan anggaran awal apabila tidak dilakukan tindakan pengendalian. Analisis menggunakan Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) juga menunjukkan bahwa tujuh faktor risiko utama menyumbang sekitar 82,45% dari total nilai Risk Priority Number (RPN), sehingga menjadi prioritas utama dalam mitigasi risiko. Dengan demikian, integrasi metode EVM dan FMEA terbukti mampu meningkatkan efektivitas pengendalian biaya, waktu, dan risiko, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat untuk meningkatkan keberhasilan proyek konstruksi gedung. Hasil penelitian ini memperkuat temuan penelitian terdahulu bahwa integrasi Earned Value Management dan Failure Mode and Effects Analysis dapat meningkatkan efektivitas pengendalian biaya, waktu, dan risiko pada proyek konstruksi (Anwar et al., 2024).

DAFTAR PUSTAKA

- Acebes, F., Pereda, M., Poza, D., Pajares, J., & Galán, J. M. (2024). Stochastic earned value analysis using Monte Carlo simulation and statistical learning techniques. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2406.02589>
- Acebes, F., Poza, D., González-Varona, J. M., & López-Paredes, A. (2024). Stochastic earned duration analysis for project schedule management. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2406.01614>
- Anwar, M., Kurniyaningrum, E., Pontan, D., & Innavona. (2024). Evaluation of cost and time performance control using the earned value management method. *Eduvest*, 4(11). <https://doi.org/10.59188/eduvest.v4i11.49920>
- Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, 24(4), 349-357.
- Carbone, T. A., & Tippett, D. D. (2004). Project risk management using the project risk FMEA. *Engineering Management Journal*, 16(4), 28-35.
- Dumlu, A. (2020). FMEA-based methodology for delay analysis of construction projects [Master's thesis, Middle East Technical University].
- Flyvbjerg, B., Ansar, A., Budzier, A., Buhl, S., Cantarelli, C., Lunn, M., ... & Viegas, J. M. (2018). Five things you should know about cost overrun. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 118, 174-190.
- FMEA-based framework for cost risk mitigation in building construction projects. (2025). *Vorteks*.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning
- Muhammad, F. Y., et al. (2025). Design of project risk management to mitigate schedule delays in construction projects. *Journal of Business Technology*.
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* (7th ed.). Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of*

knowledge (PMBOK guide) (6th ed.). Project Management Institute.

- Ramos, C., de la Cruz, M. P., & González, P. A. (2024). Value creation through the management of project risks and opportunities: A holistic framework for sustainability. *Sustainability*, 16(2), Article 753. <https://doi.org/10.3390/su16020753>
- Sambasivan, M., & Soon, Y. W. (2007). Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of Project Management*, 25(5), 517-526.
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). *Research methods for business: A skill-building approach* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. Quality Press.