E-ISSN : 3025-1311
https://journal.cib.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 3 Tahun 2026

PERENCANAAN MANAJEMEN RISIKO TERKAIT PERUBAHAN VOLUME PEKERJAAN STRUKTUR DENGAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYIS* (FMEA) PADA PROYEK MUSEUM DAN MONUMEN REOG PONOROGO TAHAP 1

Petrus Damianus Juan Rassi[1*], Hassan Dani[2*]
[1,2] Program Studi D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: rassijuan2002l@gmail.com[1]

ABSTRACT

Changes in structural work quantities in construction projects may occur due to design changes, inaccurate planning, site conditions, as well as project coordination and implementation dynamics, which may affect project cost, schedule, and work control. This condition became a problem in the Reog Museum and Monument Construction Project in Ponorogo, which involves complex design characteristics and experienced changes in structural work quantities during implementation. This study aims to identify the risk factors and variables associated with changes in structural work quantities, determine risk priority levels, and develop mitigation strategies for dominant risks in the project. The study employed a descriptive approach using the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method. Risk identification was conducted through a literature review and analysis of project documents, followed by validation through expert panel assessment. Primary data were obtained through questionnaires and interviews with 10 expert panel members directly involved in the project, representing project management, technical, Quality Control, estimation, construction, logistics, and supervision functions. A total of 20 risk variables were assessed based on the Severity (S), Occurrence (O), and Detection (D) parameters using a scale of 1-10, followed by calculation of the Risk Priority Number (RPN). The FMEA analysis showed that 14 risks (70%) were categorized as very high, 5 risks (25%) as high, and 1 risk (5%) as moderate, with no risks categorized as low or very low. The highest-priority risk was design changes causing changes in work quantities, with an RPN of 378.00, followed by project cost overruns (RPN 371.28), design changes due to Owner requests (RPN 367.20), the addition of new work items in the form of shear walls (RPN 343.995), and weak change management (RPN 335.53). Mitigation strategies are directed toward strengthening controls during the planning, implementation, administrative, and contractual stages through tiered design reviews, BOQ validation, the implementation of Building Information Modeling (BIM), change control mechanisms, cross-disciplinary coordination, and approval tracking systems.

Keywords: Risk Management, Construction Project, Changes in Work Quantities, Failure Mode and Effects Analysis, Risk Priority Number, Risk Mitigation

Article History
Received: Agustus 2026
Reviewed:Agustus 2026
Published: Agustus 2026

Plagiarism Checker No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

ABSTRAK

Perubahan volume pekerjaan struktur pada proyek konstruksi dapat terjadi akibat perubahan desain, ketidaktepatan perencanaan, kondisi lapangan, serta dinamika koordinasi dan pelaksanaan proyek yang berpotensi memengaruhi biaya, waktu, dan pengendalian pekerjaan. Kondisi tersebut menjadi permasalahan pada Proyek Pembangunan Museum dan Monumen Reog Ponorogo yang memiliki kompleksitas desain dan mengalami perubahan volume pekerjaan struktur selama pelaksanaan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi faktor dan variabel risiko perubahan volume pekerjaan struktur, menentukan tingkat prioritas risiko, serta menyusun strategi mitigasi terhadap risiko dominan pada proyek tersebut. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif dengan Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Identifikasi risiko dilakukan melalui kajian literatur dan analisis dokumen proyek, kemudian divalidasi berdasarkan penilaian panel ahli. Data primer diperoleh melalui kuesioner dan wawancara terhadap 10 panel ahli yang terlibat langsung dalam proyek, meliputi unsur manajemen proyek, teknis, pengendalian mutu, estimasi, pelaksanaan, logistik, dan pengawasan. Sebanyak 20 variabel risiko dinilai berdasarkan parameter Severity (S), Occurrence (O), dan *Detection* (D) dengan skala 1–10, kemudian dihitung menggunakan Risk Priority Number (RPN). Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa 14 risiko (70%) berada pada kategori sangat tinggi, 5 risiko (25%) pada kategori tinggi, dan 1 risiko (5%) pada kategori sedang, tanpa ditemukan risiko berkategori rendah maupun sangat rendah. Risiko dengan prioritas tertinggi adalah perubahan desain yang menyebabkan perubahan volume pekerjaan dengan nilai RPN 378,00, diikuti pembengkakan biaya proyek (RPN 371,28), perubahan desain akibat permintaan *Owner* (RPN 367,20), penambahan item pekerjaan baru berupa shear wall (RPN 343,995), dan lemahnya manajemen perubahan (RPN 335,53). Strategi mitigasi diarahkan pada penguatan pengendalian sejak tahap perencanaan, pelaksanaan, serta administratif dan kontraktual melalui design review berjenjang, validasi BOQ, penerapan Building Information Modeling (BIM), mekanisme change control, koordinasi lintas disiplin, dan sistem approval tracking. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendalian perubahan sejak tahap awal perencanaan menjadi aspek strategis dalam mengurangi risiko perubahan volume pekerjaan struktur.

Kata Kunci: Manajemen Risiko, Proyek, Perubahan Volume Pekerjaan Failure Mode and Effects Analysis, Risk Priority Number, Mitigasi risiko

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi merupakan rangkaian kegiatan unik dan sementara yang keberhasilannya diukur berdasarkan kemampuan mengelola tiga batasan utama (triple constraint): biaya, waktu, dan mutu [1], [2]. Namun, dinamika di lapangan sering kali

memicu terjadinya penyimpangan teknis, salah satunya adalah perubahan volume pekerjaan struktur yang dituangkan melalui mekanisme *Contract Change order* (CCO) [3]. Di Indonesia, fenomena perubahan volume pekerjaan struktur merupakan isu krusial; studi empiris menunjukkan rata-rata rasio perubahan (*Change order* Ratio) pada pekerjaan struktur gedung bertingkat dapat mencapai 29,7% hingga 30% [4], [5]. Deviasi yang signifikan ini berkontribusi langsung terhadap pembengkakan biaya (*cost overrun*), keterlambatan jadwal (*schedule delay*), penurunan produktivitas, hingga sengketa kontraktual antara pemilik proyek (*Owner*) dan kontraktor pelaksana [6], [7].

Kompleksitas ini terlihat nyata pada proyek pembangunan Museum dan Monumen Reog Ponorogo (MMRP) Tahap 1 di Kecamatan Sampung, Kabupaten Ponorogo [8]. Proyek infrastruktur budaya bernilai strategis ini memiliki kompleksitas struktural yang sangat tinggi dengan ketinggian total mencapai 126 meter, terbagi atas bangunan podium beton (lantai 1–14) dan monumen patung Reog berangka baja (lantai 15–26) [9]. Berlokasi di kawasan perbukitan bekas tambang batu kapur, proyek ini menghadapi tantangan geografis dan teknis ekstrem yang memicu ketidakpastian tinggi sejak tahap perencanaan awal [9]. Akibatnya, selama masa pelaksanaan kontrak (1000 hari kalender), proyek ini mengalami enam kali addendum kontrak dan proses CCO yang berujung pada eskalasi nilai kontrak sebesar 3,71%, yaitu naik dari Rp73.875.360.000 menjadi Rp76.618.092.000 [9]. Perubahan volume pekerjaan struktur tersebut tersebar dari lantai 1 hingga lantai 20, mencakup pekerjaan kolom, balok, pelat lantai, dan dinding geser (*shear wall*) [9].

Penelitian terdahulu menegaskan bahwa perubahan desain merupakan faktor paling dominan dalam memicu *change order* dan pembengkakan biaya, dengan kontribusi mencapai 56,5% terhadap eskalasi biaya dan 40% terhadap keterlambatan proyek [6]. Perubahan volume pekerjaan yang tidak terencana dengan baik juga diidentifikasi sebagai pemicu utama munculnya klaim konstruksi dan konflik antarpihak [10]. Guna meminimalkan dampak negatif tersebut, pendekatan manajemen risiko yang sistematis dan proaktif sangat diperlukan [11]. Salah satu metode yang terbukti efektif dalam memetakan potensi kegagalan proses adalah Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) [12]. Metode ini mengevaluasi risiko secara kuantitatif berdasarkan tiga parameter utama: tingkat keparahan (*Severity*/S), frekuensi kejadian (*Occurrence*/O), dan kemampuan deteksi (*Detection*/D), yang kemudian dikalikan untuk menghasilkan nilai prioritas risiko (*Risk Priority Number*/RPN) [13], [14].

Di Indonesia, penerapan FMEA telah banyak dilakukan pada proyek gedung bertingkat, seperti untuk mengidentifikasi faktor penyebab cacat mutu pada proyek apartemen [15] maupun analisis risiko keterlambatan pada proyek hotel [16]. Meskipun demikian, terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) yang signifikan dalam literatur yang ada. Sebagian besar studi terdahulu berfokus pada analisis administratif pasca-konstruksi (*post-facto*) atau aspek keselamatan kerja (K3) [11], [17]. Masih sangat jarang ditemukan penelitian yang secara khusus mengkaji analisis risiko teknis non-K3 yang bersifat preventif-proaktif pada proyek bangunan budaya berkategori *hybrid-high rise* (kombinasi struktur podium beton bertingkat banyak dan struktur baja monumen masif di ketinggian ekstrem).

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada fokus kajian objek konstruksi yang memiliki keunikan struktural tinggi, yaitu integrasi sistem struktur hybrid beton podium dengan rangka baja monumen yang menopang beban dinamis patung GRC di ketinggian

ekstrem (lantai 14–26) [9]. Kompleksitas teknis ini melibatkan pemasangan lebih dari 5.000 titik *chemical anchor* M16 pada beton eksisting yang memiliki tingkat risiko kegagalan struktural sangat tinggi jika tidak dikelola secara cermat [9].

Selain itu, kontribusi ilmiah penelitian ini ditunjukkan melalui metodologi triangulasi data yang kokoh. Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner terstruktur dan wawancara mendalam bersama 10 responden panel ahli (*expert judgment*) yang menjabat posisi strategis (seperti *Project Manager, Site Engineer*, *Quantity Surveyor*, dan Pengawas Lapangan) yang terlibat penuh sejak awal proyek (baseline) hingga tahap addendum kontrak [9].

Keandalan instrumen dan kesepakatan antar-penilai diuji secara ketat secara statistik menggunakan koefisien reliabilitas *Cronbach's Alpha*, Koefisien Konkordansi Kendall's W untuk mengukur kesepakatan antar-responden lintas jabatan, serta *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) [18], [19]. Dengan demikian, hasil analisis risiko berbasis RPN yang diperoleh memiliki akurasi ilmiah yang sangat tinggi dan dapat dipertanggungjawabkan. Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan penelitian di atas, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor utama yang menyebabkan terjadinya perubahan volume pekerjaan struktur pada Proyek Pembangunan Museum dan Monumen Reog Ponorogo (MMRP) Tahap I.
2. Menganalisis dan menetapkan peringkat prioritas risiko teknis utama akibat perubahan volume pekerjaan struktur tersebut dengan menerapkan metode FMEA berdasarkan nilai RPN.
3. Merumuskan rekomendasi strategi tindakan mitigasi yang taktis, realistis, dan aplikatif bagi para pemangku kepentingan untuk mengendalikan risiko prioritas demi menjaga stabilitas *triple constraint* proyek.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode campuran (mixed methods) [1]. Pendekatan ini menggabungkan analisis kuantitatif dan kualitatif dalam satu studi untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terhadap fenomena risiko [2].

1) Pendekatan Kuantitatif
   Digunakan untuk memetakan dan mengukur tingkat risiko secara numerik melalui skor *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), serta perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)[2, 3].
2) Pendekatan Kualitatif
   Digunakan untuk mendalami akar penyebab (root cause) dan mengonfirmasi secara deskriptif mengenai bentuk kegagalan teknis di lapangan, sehingga strategi mitigasi yang disusun dapat bersifat aplikatif dan berbasis kondisi empiris nyata [2, 4]

2.2 Objek dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada proyek pembangunan Museum dan Monumen Reog Ponorogo (MMRP) Tahap 1 yang berlokasi di Kecamatan Sampung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kompleksitas teknis yang tinggi karena bangunan monumen setinggi 126 meter didirikan di kawasan perbukitan bekas area tambang batu kapur yang memiliki karakteristik geografis khusus.

Objek dalam penelitian ini dibatasi pada risiko teknis non-K3 yang timbul akibat terjadinya perubahan volume pekerjaan struktur. Pekerjaan struktur yang dimaksud meliputi modifikasi volume beton, besi tulangan, bekisting, serta rangka baja pada elemen kolom, balok, pelat lantai, dan dinding geser (*shear wall*) dari lantai 1 hingga lantai 20 berdasarkan dokumen resmi *Contract Change order* (CCO) dan addendum kontrak.

Gambar 1. 1 Objek dan Lokasi Penelitian

2.3 Populasi dan Sampel Penelitian

1) Populasi dalam penelitian ini berjumlah 10 orang tenaga profesional yang terlibat langsung dalam siklus manajemen dan pengambilan keputusan terkait perubahan volume pekerjaan struktur pada proyek MMRP Tahap 1.
2) Penelitian ini menggunakan teknik sampling jenuh (total sampling), di mana seluruh populasi yang memenuhi kriteria kompetensi dijadikan sampel penelitian. Sampel yang bertindak sebagai panel ahli (*expert judgment*) berjumlah 10 orang dengan rincian jabatan antara lain: 1) *Project Manager* (R1), 2) *Site Manager* (R2), 3) *Site Engineer* (R3), 4) Surveyor (R4), 5) *Quality Control* (R5), 6) Drafter (R6), 7) Estimator (R7), 8) Mandor (R8), 9) Logistik (R9), dan 10) Pengawas Proyek (R10).

2.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dirancang secara sistematis melalui penggabungan dua jenis data, antara lain:

1) Data Primer

Kuesioner yang digunakan untuk mengumpulkan penilaian kuantitatif terhadap parameter FMEA (S, O, D) dari 10 responden ahli menggunakan skala ordinal 1–10. Selain melalui kuisioner, juga dilakukan wawancara kepada panel ahli untuk

menggali informasi kualitatif mengenai dinamika di lapangan, akar penyebab perubahan desain, serta usulan strategi tindakan mitigasi yang relevan.

2) **Data Sekunder:**
Meliputi dokumen proyek seperti dokumen *Bill of Quantity* (BoQ) awal, dokumen *Contract Change order* (CCO) I s.d. V, gambar kerja revisi (*shop drawing*), dan laporan progres mingguan/bulanan. Untuk memperkuat hasil penelitian, literatur ilmiah nasional/internasional serta standar regulasi resmi seperti ISO 31000 (*Risk Management*), PMBOK *Guide* 7th *Edition*, serta manual FMEA dari AIAG & VDA juga dikaji peneliti sebagai *framework* penyusunan penelitian ini.

2.5 Teknik Analisis Data

Proses analisis data yang telah dikumpulkan dijalankan secara sistematis melalui tahap prosedural sebagai berikut:

1) Identifikasi dan strukturisasi risiko: mengelompokkan hasil temuan risiko awal melalui kajian literatur, dokumen proyek, dan wawancara awal kedalam format matrix FMEA.
2) Penilaian risiko: Melakukan tabulasi data penilaian dari 10 responden terhadap nilai S, O, dan D untuk setiap item risiko
3) Perhitungan rata-rata (*mean*): menghitung nilai rat-rata dari masing-masing parameter S,O, dan D dari seluruh responden guna mereduksi bias penilaian individual.
4) Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN): melakukan perkalian nilai rata rata ketiga parameter S, O, dan D untuk memperoleh nilai prioritas risiko per item.
5) Klasifikasi tingkat risiko: dilanjutkan dengan mengkategorikan tingkat risiko berdasarkan skala RPN dibawah ini.
6) Penetapan rangking prioritas: selanjutnya, hasil klasifikasi tersebut akan diurutkan dari variabel risiko RPN tertinggi hingga terendah untuk menentukan risiko dominan.
7) Perumusan Strategi Mitigasi: penyusunan rekomendasi strategi mitigasi pengendalian risiko proaktif-preventif untuk risiko-risiko berkategori “Sangat Tinggi” melalui wawancara dengan para ahli.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Responden Penelitian

Karakteristik responden pada penelitian ini ditinjau berdasarkan jabatan, pengalaman kerja, tingkat pendidikan, dan keterlibatan dalam proyek.

a) **Karakteristik Responden Berdasarkan Jabatan**

Tabel 1. 1 Karakteristik RespondenBerdasarkan Jabatan

No	Jabatan Ahli	Kode	Jumlah	Persentase
1	*Project Manager* (PM)	R1	1	10%
2	*Site Manager* (SM)	R2	1	10%
3	*Site Engineer* (SE)	R3	1	10%
4	*Surveyor*	R4	1	10%
5	*Quality Control* (QC)	R5	1	10%

No	Jabatan Ahli	Kode	Jumlah	Persentase
6	*Drafter*	R6	1	10%
7	*Estimator*	R7	1	10%
8	Mandor	R8	1	10%
9	Logistik	R9	1	10%
10	Pengawas Proyek	R10	1	10%
Total			10	100 %

(Sumber: Data Penelitian 2026)

Responden penelitian berasal dari berbagai posisi yang berkaitan langsung dengan pengendalian pekerjaan struktur dan perubahan volume pekerjaan pada objek penelitian, yakni Proyek Museum dan Monumen Reog Ponorogo. Komposisi mayoritas responden penelitian diatas ini memiliki keterlibatan langsung terhadap pelaksanaan pekerjaan struktur dan pengendalian perubahan volume pekerjaan.

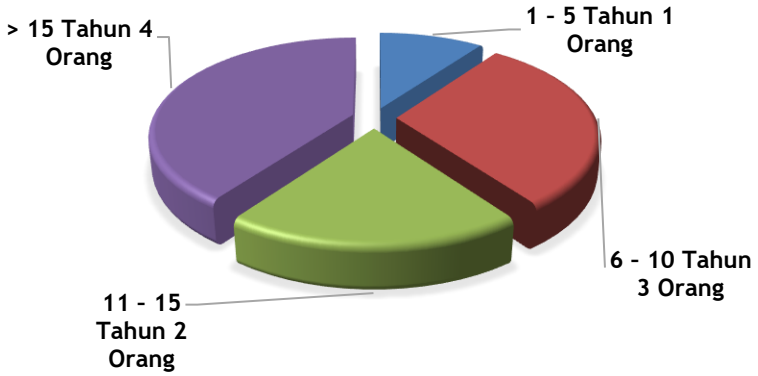
b) Karakteristik Responden Berdasarkan Pengalaman Kerja

Pengalaman kerja responden menjadi salah satu aspek penting karena berkaitan dengan kemampuan responden dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi risiko proyek konstruksi.

Tabel 1. 2 Karakteristik Responden Berdasarkan Pengalaman Kerja

No	Pengelaman Kerja	Jumlah	Persentase (%)
1	1 – 5 Tahun	1 Orang	10%
2	6 – 10 Tahun	3 Orang	30%
3	11 – 15 Tahun	2 Orang	20%
4	> 15 Tahun	4 Orang	40%
Total		10 Orang	100 %

(Sumber: Data Penelitian 2026)



Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui responden memiliki pengalaman kerja didominasi oleh responden yang berkarya dibidang konstruksi lebih dari 15 tahun dengan persentase sebesar 40%. Selain itu, terdapat juga responden dengan rentang pengalaman 11-15 tahun sebesar 20% sehingga penilaian risiko yang diberikan diharapkan lebih representatif dan sesuai dengan kondisi aktual proyek.

Kemudian, terdapat juga responden dengan pengalaman kerja dengan rentang waktu 6–10 tahun yakni sebesar 30% dan pengalaman selama 1–5 tahun sebesar 10 %.

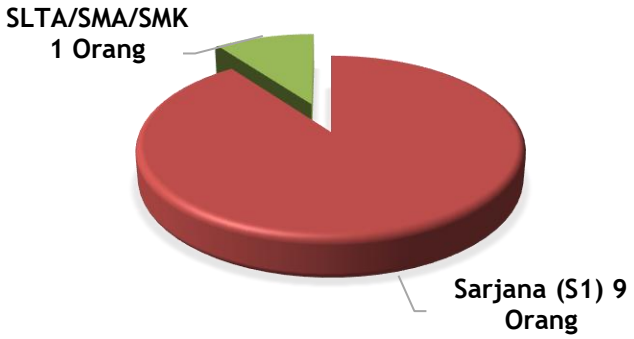
c) Karakteristik Responden Berdasarkan Tingkat Pendidikan

Tingkat pendidikan responden digunakan untuk menggambarkan latar belakang akademik responden yang berpengaruh terhadap kemampuan analisis dan pengambilan keputusan dalam penilaian risiko.

Tabel 1. 3 Karakteristik Responden Berdasarkan Tingkat Pendidikan

No	Pendidikan	Jumlah	Persentase (%)
1	Sarjana (S1)	9 Orang	90%
2	SLTA/SMA/SMK	1 Orang	10%
Total		10 Orang	100%

(Sumber: Data Penelitian 2026)



Diketahui bahwa mayoritas responden memiliki pendidikan Sarjana (S1) dengan persentase sebesar 90%. Sementara itu, terdapat satu orang ahli yang memliki riwayat pendidikan SLTA/SMA/SMK.

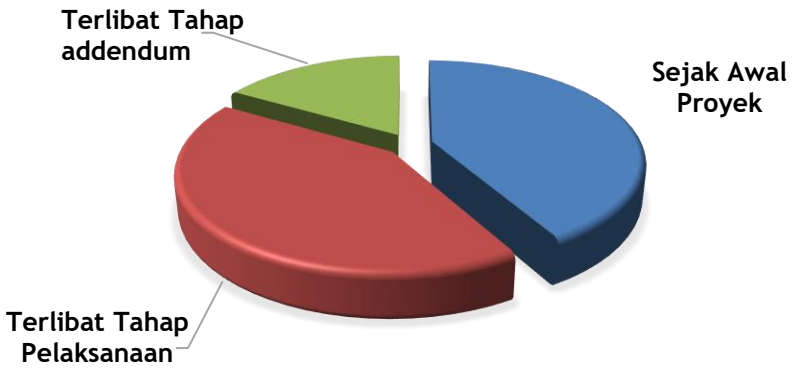
d) Karakteristik Responden Berdasarkan Keterlibatan responden

Keterlibatan responden pada proyek digunakan untuk mengetahui tingkat pemahaman responden atau panel ahli dalam pemeteaan terhadap kondisi aktual perubahan volume pekerjaan struktur pada proyek.

Tabel 1. 4 Karakteristik Responden Berdasarkan Keterlibatan Proyek

Jabatan Ahli	Sejak awal proyek	Pada tahap pelaksanaan	Pada tahap perubahan
Project Manager (PM)	v	v	v
Site Manager (SM)	v	v	v
Site Engineer (SE)	v	v	v
Surveyor	v	v	-
Quality Control (QC)	v	v	-
Drafter	v	v	-
Estimator	v	v	-
Mandor	v	v	-
Logistik	v	v	-
Pengawas Proyek	v	v	v
Total	**100%**	**100%**	**40%**

(Sumber: Data Penelitian 2026)



Pada kolom **"Keterlibatan sejak awal proyek"**, seluruh responden dari semua jabatan (100%) menyatakan terlibat sejak awal proyek dimulai.

Pada kolom **"Keterlibatan pada tahap pelaksanaan"**, nilai yang sama diperoleh, yakni 100% responden terlibat. Hal ini memperkuat validitas kuesioner data FMEA, karena seluruh responden memiliki pengalaman empiris langsung terhadap dinamika perubahan volume pekerjaan struktur di lapangan.

Pada kolom **"Keterlibatan pada tahap perubahan/addendum"**, terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Hanya 40% responden yaitu *Project Manager* (PM), *Site Manager* (SM), *Site Engineer* (SE), dan Pengawas Proyek yang terlibat dalam proses perubahan dan addendum kontrak. Sementara itu, jabatan *Surveyor*, *Quality Control*, *Drafter*, *Estimator*, Mandor, dan Logistik tidak terlibat dalam fase ini.

3.2 Hasil Identifikasi Faktor-Faktor Penyebab Perubahan Volume Pekerjaan Struktur

Indikator faktor-faktor penyebab perubahan volume pekerjaan struktur pada Proyek Museum dan Monumen Reog Ponorogo Tahap 1 diperoleh dari dua sumber, yakni wawancara serta kajian terhadap dokumen proyek. Kedua sumber data ini digunakan secara terintegrasi untuk memastikan bahwa setiap faktor penyebab yang diidentifikasi benar-benar relevan.

1) Perubahan Desain

Wawancara terhadap Responden (R10) sebagai Pengawas Proyek menjelaskan bahwa perubahan desain menjadi penyebab terhadap perubahan volume pekerjaan struktur pada proyek Museum dan Monumen Reog Ponorogo Tahap 1. Hal ini disebabkan karena perubahan desain hasil pekerjaan struktur yang bertambah dan berkurang dalam upaya pengoptimalisasi biaya kontrak proyek.

Berdasarkan kajian pada dokumen justifikasi teknis, proses penambahan dan pengurang pekerjaan proyek tersebut didasari oleh 3 (tiga) hal penting yaitu sebagai berikut:

a) Terjadi Perubahan kuantitas pada beberapa item pekerjaaan sesuai dengan kebutuhan lapangan.
b) Perubahan pelaksanaan dengan diadakan pekerjaan tambah ini dimaksud untuk mengoptimalkan pemanfaatan penggunaan nilai kontrak yang telah dialokasikan.

c) Penambahan item pekerjaan dapat diseimbangkan dengan volume pekerjaan keseluruhan dilapangan sehingga tidak terjadi penambahan nilai kontrak.

Akibat perubahan desain ini juga berimbas pada meningkatnya kalim biaya proyek. Meningkatnya biaya diamati pada beberapa pekerjaan struktur, antara lain sebagai berikut:

a) Pekerjaan struktur Lantai 2 mengalami kenaikan sebesar Rp 200.539.230 (dari Rp 1.255.754.906 menjadi Rp 1.456.294.136).
b) Pekerjaan struktur Lantai 3 naik sebesar Rp 114.426.706; Lantai 4 naik sebesar Rp 187.393.715.
c) Pekerjaan struktur Lantai 9 mengalami penurunan yang sangat signifikan, yakni sebesar Rp 571.953.727 (dari Rp 1.713.056.556 menjadi Rp 1.141.102.829).
d) Lantai 13 dan Lantai 14 mengalami kenaikan masing-masing sebesar Rp 466.729.199 dan Rp 731.577.533.

2) Kondisi Geografis Proyek

Berdasarkan hasil wawancara bersama Responden (R10) bahwa terdapat tiga faktor yang melatarbelakangi perubahan kondisi lapangan yang selanjutnya berimbas pada perubahan pekerjaan struktur yaitu antara lain disebabkan oleh:

a) Perbedaan antara kondisi aktual lapangan dengan asumsi perencanaan awal

Kondisi geografis lokasi proyek yang berada di kawasan perbukitan eks-tambang batu kapur menyebabkan proses pelaksanaan pekerjaan memerlukan penyesuaian metode kerja yang cukup sulit. Selain itu, akses penempatan material menjadi lebih susah di jangkau karena lokasi kerja proyek berada pada wilayah perbukitan. Sehingga diperlukan perencanaan akses lokasi penempatan material yang baru untuk menyesuaikan keadaan geografis tersebut.

Gambar 3. 1 Tampak Geografis Kondisi Lapangan Proyek

b) Rekomendasi *Focus Group Discussion* (FGD)

Selama proses pembangunan, Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) mengeluarkan surat perintah kepada Tim Perencana DKPU ITS Surabaya

untuk melakukan kaji ulang dimensi dan bentuk patung agar diperoleh hasil visual yang lebih optimal. Meninjaklanjuti permintaan tersebut, maka dilakukan kaji ulang terkait bentuk visual merak agar tampilan monumen lebih proporsional dan representatif terhadap budaya reog ponorogo.

Hasil kaji ulang perubahan bentuk patung dari desain awal yang cenderung kaku menjadi lebih dinamis dan melengkung menyebabkan perubahan besar terhadap sistem struktur atas monumen.

- Sebagai contoh, pada lantai 14 terjadi pengurangan pekerjaan Pelat Lantai Type A dengan pengurangan volume beton sebesar 84,34 m^3, pengurangan pembesian sebesar 26.910,33 kg, dan pengurangan bekisting sebesar 699,97 m^2.

3) Optimalisasi Biaya Proyek

Hasil wawancara bersama Responden (R10) sebagai Pengawas Proyek menjelaskan bahwa perubahan pekerjaan struktur baik pekerjaan tambah dan pekerjaan kurang juga disebabkan oleh keterbatasan anggaran biaya pelaksanaan proyek itu sendiri.

Owner menerapkan strategi optimalisasi ini secara konkret melalui perombakan struktur pekerjaan (*structural work restructuring*). Langkah ini melibatkan intervensi teknis pada metode pelaksanaan dan konfigurasi elemen struktural bangunan monumen setinggi 126 meter tersebut.

Dana yang dialokasikan tidak dipangkas, melainkan dialihkan secara efektif untuk membiayai komponen-komponen kritis yang memiliki dampak jangka panjang terhadap keamanan struktural. Melalui restrukturisasi ini, ketahanan bangunan terhadap beban angin dan gempa dioptimalkan tanpa memicu pembengkakan biaya (*cost overrun*), sekaligus memastikan bahwa modal yang tertanam menghasilkan utilitas ekonomi dan budaya yang paling optimal bagi daerah.

- Contoh pekerjaan hasil optimalisasi ini tercantum dalam CCO 1 pada Pekerjaan lantai 15 terjadi penambahan pekerjaan Kolom Type K5 ukuran 65×65 cm dengan volume beton sebesar 25,35 m^3 dan pembesian sebesar 5.073,23 kg.
- Selain itu, terjadi pula penambahan Balok Type B7 ukuran 30×50 cm dengan volume pembesian sebesar 5.346,59 kg. Kedua pekerjaan restruktur tersebut, memastikan aspek ketahanan Bangunan Monumen dan Museum terhadap beban angin dan gempa dioptimalkan tanpa memicu pembengkakan biaya (*cost overrun*).

3.3. Hasil Identifikasi Risiko Perubahan Volume Pekerjaan Struktur

Identifikasi 20 variabel risiko pada penelitian ini dilakukan melalui proses triangulasi yang melibatkan tiga sumber data utama, yaitu studi dokumen proyek dan wawancara panel ahli. Setiap variabel risiko yang tercantum pada tabel dibawah ini telah melalui proses verifikasi silang (*cross-verification*) untuk memastikan validitas dan relevansinya terhadap kondisi aktual proyek. Selanjutnya, hasil identifikasi

menghasilkan 20 item risiko sebagaimana ditampilkan, yang akan dilanjutkan dengan perhitungan RPN menggunakan metode FMEA.

Berikut adalah hasil identifikasi risiko risiko yang berkaitan dengan risiko teknis perubahan volume pekerjaan struktur proyek pembangunan museum dan monumen reog ponorogo tahap 1.

Tabel 1. 5 Hasil Identifikasi Risiko

Kode	Item Risiko	*Failure Mode*	Kode	*Failure Cause*	*Failure Effect*
X.1	Perubahan desain struktur	Perubahan volume pekerjaan struktur saat kontrak berjalan	**X.1.1**	Desain struktur belum final saat kontrak ditandatangani	Penambahan biaya signifikan
			X.1.2	Perhitungan struktur awal belum memperhitungkan beban patung	Keterlambatan jadwal untuk fabrikasi dan *erection*
			X.1.3	Keputusan perubahan sistem struktur untuk optimasi beban	Kaji ulang *structural engineer* dan re-approval dokumen
X.2	Penambahan item pekerjaan baru pada proyek	Penambahan masif volume shearwall tipe SW-2, SW-3, SW-4 di lantai 13-24 yang tidak direncanakan dalam kontrak awal	**X.2.1**	Analisis gempa yang lebih akurat setelah *structural review*	Penambahan volume beton 200+ m^3
			X.2.2	Kebutuhan perkuatan lateral akibat tinggi bangunan 26 lantai	Penambahan bekisting 1000+ m^2 untuk *Shear Wall*
			X.2.3	Hasil *review* struktur kurang rigid terhadap beban lateral	Perubahan layout lantai yang mengurangi luas ruang efektif
X.3	Variasi tipe elemen struktur tinggi	Variasi tipe kolom dan balok yang sangat banyak (K5, K6, K7, KS1, KS2, K6E, K7E dan B2-B12) di berbagai lantai dengan dimensi yang berbeda-beda	**X.3.1**	Optimasi struktur pasca analisis detail untuk efisiensi material	Waktu fabrikasi bekisting untuk setiap tipe yang berbeda
			X.3.2	Penyesuaian dengan perubahan arsitektural layout	Biaya bekisting menjadi tidak efisien
			X.3.3	Redistribusi beban akibat penghilangan kolom K1 100×100 cm	Salah dimensi/tipe kolom-balok saat pelaksanaan
X.4	Instruksi pengurangan item pekerjaan (*field instruction*) secara mendadak	Penghapusan total item pekerjaan kolom K1 (±300 m^3 beton), kolom K2, balok kantilever, dan pelat lantai	**X.4.1**	Perubahan desain fundamental setelah kontrak berjalan	Biaya penyimpanan material yang tidak jadi digunakan
			X.4.2	Analisis struktur menunjukkan elemen tertentu tidak diperlukan atau *over-desained*	Besi tulangan, bekisting yang sudah difabrikasi (*material waste*)
			X.4.3	Keputusan *Owner* atau konsultan untuk revisi total sistem struktur	Waktu terbuang untuk pembongkaran pekerjaan yang sudah dikerjakan

Kode	Item Risiko	*Failure Mode*	Kode	*Failure Cause*	*Failure Effect*
			X.4.4	Perubahan fungsi ruang yang mempengaruhi kebutuhan struktur	Potensi klaim besar dari kontraktor untuk biaya mobilisasi
X.5	Perubahan kebutuhan struktur yang tidak terencanakan sejak awal	Kompleksitas tinggi pemasangan 5000+ titik *chemical anchor* M16	**X.5.1**	Keputusan sistem hybrid mengurangi *dead load* struktur	Kegagalan pemasangan *chemical anchor*
			X.5.2	Desain monumen patung GRC memerlukan struktur pendukung rangka baja	Keterlambatan 5 bulan untuk proses *marking*-pemasangan anchor-*fabrikasi-erection* rangka
X.6	Pengurangan volume pekerjaan struktur yang signifikan	Pengurangan signifikan volume pelat lantai tipe A di lantai 14 (84 m^3), lantai 18 (3 m^3), lantai 24 (3 m^3) yang mempengaruhi kekakuan struktur	**X.6.1**	Optimasi struktur untuk mengurangi beban *dead load* keseluruhan bangunan	Potensi getaran berlebih (*excessive vibration*) pada lantai dengan pelat yang lebih tipis atau sistem komposit
			X.6.2	Penyesuaian dengan sistem struktur baja yang baru ditambahkan	Defleksi berlebih pada lantai jika pengurangan pelat tidak dikaji ulang *structural engineer*
			X.6.3	Perubahan layout ruang yang mengurangi kebutuhan pelat lantai penuh	Perubahan elevasi lantai yang mempengaruhi pekerjaan finishing
X.7	Keterlambatan jadwal pelaksanaan proyek.	Keterlambatan jadwal pelaksanaan keseluruhan proyekberdasarkan jadwal terlampir	**X.7.1**	*Lead time* fabrikasi 5700+ modul patung GRC lama	Keterlambatan total proyek 6-12 bulan dari durasi kontrak awal 1000 hari kalender
			X.7.2	Cuaca musim hujan Agustus sampai Desember pekerjaan *erection* di ketinggian	Peningkatan *overhead cost* (biaya personel, sewa alat, *site facilities*) yang signifikan
			X.7.3	Keterlambatan proses approval perubahan desain oleh konsultan dan *Owner*	Potensi penalti keterlambatan (*liquidated damages*) sesuai kontrak
X.8	Klaim biaya proyek bertambah	Eskalasi biaya material dan tenaga kerja	**X.8.1**	Volume pekerjaan tambahan yang sangat besar	*Cost overrun* sangat besar 20-40% dari nilai kontrak awal
			X.8.2	Fluktuasi harga baja profil	*Dispute* harga satuan pekerjaan tambahan
			X.8.3	Perpanjangan waktu pelaksanaan memungkinkan	Potensi eskalasi menjadi *arbitrase* atau litigasi kontrak

Kode	Item Risiko	*Failure Mode*	Kode	*Failure Cause*	*Failure Effect*
				terjadinya eskalasi harga	
X.9	Ketidaksesuaian data volume pekerjaan galian	Selisih volume pekerjaan galian, urugan, beton pondasi, dan sloof antara BOQ dengan kondisi aktual lapangan	X.9.1	Survey topografi tidak representatif	*Rework* pekerjaan tanah dan pondasi
			X.9.2	Titik BM tidak valid	Potensi deviasi biaya dan waktu sejak awal proyek
			X.9.3	Kurang pengecekan verifikasi lapangan sebelum estimasi	Penyesuaian volume beton dan tulangan
X.10	Kesalahan perhitungan volume	Ketidaksesuaian kuantitas beton (m^3), tulangan (kg), dan bekisting (m^2) pada elemen kolom, balok, slab	X.10.1	*Human error* dalam *take-off quantity*	Potensi *dispute* QS
			X.10.2	Kesalahan formula Excel	Klaim penambahan atau pengurangan volume
			X.10.3	*Unit conversion error* (m^2 ke m^3)	Revisi BOQ
X.11	Koordinasi desain buruk	*Clash* antara elemen struktur menyebabkan perubahan dimensi struktur	X.11.1	Tidak ada BIM kordinator	Pembongkaran elemen struktur yang sudah dicor
			X.11.2	Revisi gambar kerja tidak terkontrol	*Delay* dan *rework* signifikan
			X.11.3	Kurang efektifnya *coordination meeting* rutin	Perubahan dimensi balok/kolom
X.12	Perubahan desain tidak terkontrol	Revisi gambar tidak terdokumentasi	X.12.1	*Document control* buruk	Salah dimensi struktur
			X.12.2	Revisi gambar tidak tersosialisasi	Pekerjaan harus dibongkar;
X.13	Kondisi tanah tidak sesuai asumsi	Perubahan tipe dan dimensi pondasi	X.13.1	*Soil investigation* tidak memadai	Penambahan volume beton pondasi dan tulangan
			X.13.2	Jumlah titik boring kurang	Perubahan metode kerja
			X.13.3	Daya dukung tanah lebih rendah dari asumsi	Keterlambatan pekerjaan struktur bawah
X.14	Muka air tanah tinggi	Kebutuhan dewatering intensif pada pekerjaan galian pondasi	X.14.1	Data *groundwater* tidak akurat	Durasi pekerjaan galian lebih lama
			X.14.2	*Seasonal variation* tidak diperhitungkan	Biaya pompa dan operasional meningkat
			X.14.3	Infiltrasi air tinggi	Keterlambatan pekerjaan pondasi
X.15	Perubahan desain maupun kebutuhan desain karena	Penambahan elemen struktur baru (*Shear Wall*, kolom tambahan, pelat lantai tambahan)	X.15.1	Perubahan fungsi ruang	Perubahan layout struktur
			X.15.2	Peningkatan kapasitas beban	Volume beton, tulangan, bekisting meningkat

Kode	Item Risiko	*Failure Mode*	Kode	*Failure Cause*	*Failure Effect*
	permintaan *Owner*		**X.15.3**	*Upgrade* spesifikasi	peningkatan biaya proyek
X.16	Perubahan metode kerja konstruksi	Perubahan metode dari *cast in-situ* ke *precast*	**X.16.1**	Metode awal tidak sesuai kondisi lapangan	Produktivitas tidak stabil
			X.16.3	Efisiensi waktu dicapai dengan metode baru	*Waste material* meningkat
X.17	Produktivitas rendah	Output pengecoran beton dan pemasangan tulangan dan bekisting lebih rendah dari target harian	**X.17.1**	Telat bayar upah tenaga kerja	Keterlambatan progres struktur
			X.17.2	*Working space* terbatas	Peningkatan biaya tenaga kerja dan alat
X.18	Keterlambatan material	Keterlambatan suplai beton *ready mix*, baja tulangan, dan baja profil struktur	**X.18.1**	*Supply chain* terganggu	Penundaan pekerjaan struktur
			X.18.2	*Lead time* impor lama	Terganggunya *critical path*
			X.18.3	Keterlambatan supplier	Risiko keterlambatan proyek
X.19	Lemahnya manajemen perubahan	Tidak adanya kontrol formal terhadap perubahan volume pekerjaan	**X.19.1**	Ketidaklengkapan prosedur *change management*	*Dispute* kontrak
			X.19.2	Tidak ada evaluasi dampak perubahan	Biaya proyek membengkak
X.20	Keterlambatan approval	Pekerjaan struktur tertunda karena revisi desain belum disetujui	**X.20.1**	*Decision making* lambat	*Delay* pekerjaan berantai
			X.20.2	Birokrasi panjang	Peningkatan biaya *overhead* proyek

(Sumber: Data Penelitian 2026)

3.4. Analisis *Severity* (S)

Analisis *Severity* dilakukan untuk mengetahui tingkat keparahan ditimbulkan oleh masing-masing item risiko terhadap pelaksanaan proyek konstruksi. Semakin tinggi nilai *Severity*, maka semakin besar pengaruh risiko terhadap sasaran proyek itu sendiri, baik dari aspek biaya, waktu, maupun mutu pekerjaan proyek (Yusriliya & Nugraheni, 2024). Untuk mempermudah klasifikasi tingkat keparahan masing masing item risiko, ditampilkan tingkat nilai keparahan dibawah ini:

Tabel 1. 6 Tingkat *Severity*

Nilai	Tingkat	Kriteria
(1)	*Minor*	Risiko kecil dan tidak berpengaruh signifikan terhadap biaya, jadwal, dan kualitas.
(2 - 3)	*Low*	Risiko rendah dan sedikit berpengaruh signifikan terhadap biaya, jadwal, dan kualitas.
(4 - 6)	*Moderate*	Risiko menengah dan berpengaruh signifikan terhadap biaya, jadwal, dan kualitas. Terjadi cedera serius pada pekerjaaan
(7 - 8)	*High*	Risiko tinggi dan berpengaruh sangat signifikan terhadap biaya, jadwal, dan kualitas.

(9 - 10)	*Very High*	Risiko membawa bencana terhadap biaya, jadwal, dan kualitas.

(Cheng & Lu, 2015)

Berdasarkan Tabel diatas, nilai tingkat keparahan hasil penilain Responden dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 1. 7 Nilai *Severity* Penilaian Responden

Kode	Tingkat	Item Risiko	Nilai
X.5	*Very High*	Perubahan kebutuhan struktur yang tidak terencanakan sejak awal	**9,2**
X.8	*Very High*	Klaim biaya proyek bertambah	**9,1**
X.1	*Very High*	Perubahan desain struktur saat kontrak berjalan	**9**
X.7	*Very High*	Keterlambatan jadwal pelaksanaan proyek.	**9**
X.15	*Very High*	Perubahan desain karena kebutuhan desain dari permintaan *Owner*	**9**
X.19	*High*	Lemahnya manajemen perubahan	**8,9**
X.12	*High*	Perubahan desain tidak terkontrol	**8,6**
X.2	*High*	Penambahan item pekerjaan baru pada proyek	**8,5**
X.11	*High*	Koordinasi desain buruk	**8,5**
X.20	*High*	Keterlambatan approval	**8,5**
X.13	*High*	Kondisi tanah tidak sesuai asumsi	**8**
X.4	*High*	Instruksi pengurangan item pekerjaan (*field instruction*)	**8**
X.18	*High*	Keterlambatan material	**7,5**
X.3	*High*	Variasi tipe elemen struktur tinggi	**7,2**
X.6	*High*	Pengurangan volume pekerjaan struktur yang signifikan	**7**
X.9	*High*	Ketidaksesuaian data volume pekerjaan galian	**7**
X.14	*High*	Muka air tanah tinggi	**8**
X.10	*Moderate*	Kesalahan perhitungan volume	**6,6**
X.16	*Moderate*	Perubahan metode kerja konstruksi	**6,5**
X17	*Moderate*	Produktivitas rendah	**5,8**

(Sumber: Data Penelitian 2026)

Dari data analisis klasifikasi tingkat keparahan (*severtity*) pada tabel diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

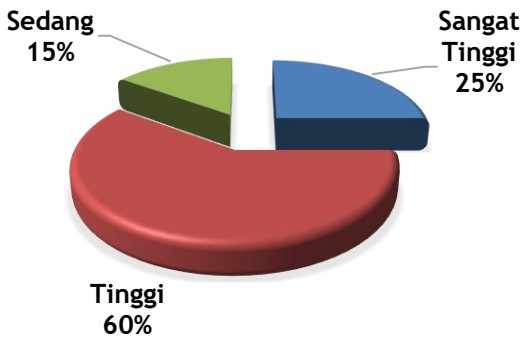
- Sebanyak 5 item risiko dengan tingkat keparahan ”sangat tinggi’ atau ”*very high*” yaitu nilai berada pada rentang 9-10 dengan kategori risiko membawa bencana terhadap biaya, jadwal, dan kualitas.
- Sebanyak 12 item risiko dengan tingkat keparahan ”tinggi’ atau ”*high*” yaitu nilai berada pada rentang 7-8 dengan kategori Risiko tinggi dan berpengaruh sangat signifikan terhadap biaya, jadwal, dan kualitas.
- Sebanyak 3 item risiko dengan tingkat keparahan ”sedang” atau ”*moderate*” yaitu nilai berada pada rentang 4-6 dengan kategori Risiko menengah dan berpengaruh

signifikan terhadap biaya, jadwal, dan kualitas. Terjadi cedera serius pada pekerjaaan.

Tabel 1. 8 Presentase *Severity*

Tingkat Risiko	Jumlah Risiko	Persentase
Sangat Tinggi	5	**25%**
Tinggi	12	**60%**
Sedang	3	**15%**
Rendah	0	**0%**
Sangat Rendah	0	**0%**

(Sumber: Data Penelitian 2026)



3.5. Analisis *Occurrence* (O)

Analisis *Occurrence* dilakukan untuk mengetahui seberapa sering frekuensi kejadian muncul ditimbulkan oleh masing-masing item risiko terhadap pelaksanaan proyek konstruksi. Semakin tinggi nilai *Occurrence*, maka semakin besar pengaruh risiko terhadap sasaran proyek itu sendiri, baik dari aspek biaya, waktu, maupun mutu pekerjaan proyek (Yusriliya & Nugraheni, 2024). Untuk mempermudah klasifikasi tingkat frekuensi kejadian masing masing item risiko, ditampilkan tingkat frekuensi kejadian dibawah ini:

Tabel 1. 9 Tingkat *Occurrence*

Nilai	Tingkat	Kriteria
(1)	*Unlikely*	Peluang terjadinya faktor risiko mendekati tidak pernah terjadi
(2)	*Very Low*	Peluang terjadinya faktor risiko sangat rendah, sangat jarang terjadi
(3)	*Low*	Peluang terjadinya faktor risiko rendah, jarang terjadi
(4 - 6)	*Moderate*	Peluang terjadinya faktor risiko moderat, terjadi sesekali
(7 - 8)	*High*	Peluang terjadinya faktor risiko tinggi, berulang
(9 - 10)	*Very High*	Peluang terjadinya faktor risiko sangat tinggi dan susah dihindari

(Liu et al., 2018)

Berdasarkan tabel diatas, nilai tingkat kejadian hasil penilain Responden dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 1. 10 Nilai *Occurrence* Penilaian Responden

Kode	Tingkat	Item Risiko	Nilai
X.2	*High*	Penambahan item pekerjaan baru pada proyek	**7,1**
X.1	*High*	Perubahan desain struktur saat kontrak berjalan	**7**
X.7	*Moderat*	Keterlambatan jadwal pelaksanaan proyek	**6,9**
X.5	*Moderat*	Perubahan kebutuhan struktur yang tidak terencanakan	**6,8**
X.8	*Moderat*	Klaim biaya proyek bertambah	**6,8**
X.15	*Moderat*	Perubahan desain maupun kebutuhan desain karena permintaan *Owner*	**6,8**

Kode	Tingkat	Item Risiko	Nilai
X.19	*Moderat*	Lemahnya manajemen perubahan	6,5
X.11	*Moderat*	Koordinasi desain buruk	6,1
X.20	*Moderat*	Keterlambatan approval	6,1
X.3	*Moderat*	Variasi tipe elemen struktur tinggi	6
X.12	*Moderat*	Perubahan desain tidak terkontrol	6
X.4	*Moderat*	Instruksi pengurangan item pekerjaan (*field instruction*) secara mendadak	5,6
X.13	*Moderat*	Kondisi tanah tidak sesuai asumsi	5,6
X.18	*Moderat*	Keterlambatan material	5,6
X.9	*Moderat*	Ketidaksesuaian data volume pekerjaan galian	5,3
X.6	*Moderat*	Pengurangan volume pekerjaan struktur yang signifikan	5,2
X.10	*Moderat*	Kesalahan perhitungan volume	5
X.14	*Moderat*	Muka air tanah tinggi	4,8
X.16	*Moderat*	Perubahan metode kerja konstruksi	4,8
X.17	*Moderat*	Produktivitas rendah	4,5

(Sumber: Data Penelitian 2026)

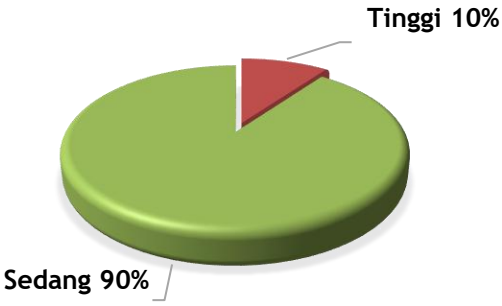
Dari data analisis klasifikasi tingkat kejadian pada tabel diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Sebanyak 2 item risiko dengan tingkat frekuensi ”Tinggi” atau ”High” yaitu nilai berada pada rentang 7-8 dengan kategori risiko peluang terjadinya faktor risiko tinggi, berulang.
- Sebanyak 18 item risiko dengan tingkat frekuensi ”Sedang” atau ”Moderate” yaitu nilai berada pada rentang 4-6 dengan kategori risiko Peluang terjadinya faktor risiko moderat, terjadi sesekali.

Tabel 1. 11 Presentase *Occurrence*

Tingkat Risiko	Jumlah Risiko	Persentase
Sangat Tinggi	0	0%
Tinggi	2	10%
Sedang	18	90%
Rendah	0	0%
Sangat Rendah	0	0%

(Sumber: Data Penelitian 2026)



3.6. Analisis *Detection* (D)

Analisis *Detection* dilakukan untuk mengetahui tingkat keterdeteksian risiko yang ditimbulkan oleh masing-masing item risiko terhadap pelaksanaan proyek konstruksi. Semakin tinggi nilai *Detection*, maka semakin besar pengaruh risiko terhadap sasaran proyek itu sendiri, baik dari aspek biaya, waktu, maupun mutu pekerjaan proyek (Yusriliya & Nugraheni, 2024). Untuk mempermudah klasifikasi tingkat keterdeteksian masing masing item risiko, ditampilkan tingkat deteksi dibawah ini:

Tabel 1. 12 Tingkat *Detection*

Nilai	Tingkat	Kriteria
(1)	*Very High*	Tim proyek hampir pasti dapat mendeteksi risiko sebelum berdampak
(2 - 5)	*High*	Peluang deteksi tinggi melalui inspeksi atau monitoring rutin
(6 - 8)	*Moderate*	Deteksi memungkinkan namun memerlukan prosedur khusus
(9)	*Low*	Deteksi sulit, risiko sering lolos dari pemantauan
(10)	*Very Low*	Risiko hampir tidak bisa dideteksi sebelum dampak terjadi

(Villarini et al., 2017)

Berdasarkan kategotri pada tabel diatas, nilai tingkat keparahan hasil penilain Responden dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 1. 13 Nilai *Detection* Penilaian Responden

Kode	Tingkat	Item Risiko	Nilai
X.5	*Moderat*	Perubahan kebutuhan struktur yang tidak terencanakan sejak awal	6,2
X.1	*Moderat*	Perubahan desain struktur saat kontrak berjalan	6
X.7	*Moderat*	Keterlambatan jadwal pelaksanaan proyek.	6
X.8	*Moderat*	Klaim biaya proyek bertambah	6
X.15	*Moderat*	Perubahan desain maupun kebutuhan desain karena permintaan *Owner*	6
X.19	*High*	Lemahnya manajemen perubahan	5,8
X.2	*High*	Penambahan item pekerjaan baru pada proyek	5,7
X.12	*High*	Perubahan desain tidak terkontrol	5,5
X.11	*High*	Koordinasi desain buruk	5,3
X.20	*High*	Keterlambatan approval	5,3
X.13	*High*	Kondisi tanah tidak sesuai asumsi	5,2
X.18	*High*	Keterlambatan material	5,2
X.4	*High*	Instruksi pengurangan item pekerjaan (*field instruction*) secara mendadak	5,1
X.3	*High*	Variasi tipe elemen struktur tinggi	4,9
X.6	*High*	Pengurangan volume pekerjaan struktur yang signifikan	4,7
X.9	*High*	Ketidaksesuaian data volume pekerjaan galian	4,5
X.14	*High*	Muka air tanah tinggi	4,5
X.16	*High*	Perubahan metode kerja konstruksi	4,3
X.10	*High*	Kesalahan perhitungan volume	4,2
X.17	*High*	Produktivitas rendah	4,1

(Sumber: Data Penelitian 2026)

Dari data analisis klasifikasi tingkat deteksi pada tabel diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

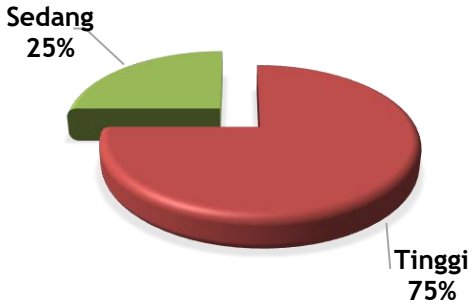
- Sebanyak 5 item risiko dengan tingkat deteksi ”Sedang” atau ”Moderate” yaitu nilai deteksi berada pada rentang 6-8 dengan kategori item risiko memungkinkan namun memerlukan prosedur khusus.

- Sebanyak 15 item risiko deteksi ”Tinggi” atau ”High” yaitu nilai deteksi berada pada rentang 2-4 dengan kategori peluang deteksi tinggi melalui inspeksi atau monitoring rutin.

Tabel 1. 14 Presentase *Detection*

Tingkat Risiko	Jumlah Risiko	Persentase
Sangat Tinggi	0	0%
Tinggi	15	75%
Sedang	5	25%
Rendah	0	0%
Sangat Rendah	0	0%

(Sumber: Data Penelitian 2026)



3.7. *Analisis Risk Priority Number* (RPN)

Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai proses perhitungan RPN, berikut disajikan contoh perhitungan untuk risiko 1 (**X.1**) “Perubahan Desain Menyebabkan Perubahan Volume Pekerjaan”.

a. Data Penilaian dari 10 Responden

Data penilaian risiko oleh 10 Responden terhadap Risiko 1. Data penilaian dari 10 responden untuk Risiko 1 seperti pada table dibawah ini:

Tabel 1. 15 Data Penilaian dari 10 Responden

Responden	Jabatan	(S)	(O)	(D)
R1	*Project Manager* (PM)	9	7	6
R2	*Site Manager* (SM)	9	7	6
R3	*Site Engineer* (SE)	8	7	6
R4	Surveyor	9	8	6
R5	*Quality Control* (QC)	9	7	5
R6	*Drafter*	10	7	6
R7	*Estimator*	9	6	6
R8	Mandor	9	7	7
R9	Logistik	8	7	6
R10	Pengawas Proyek	10	7	6

(Sumber: Data Penilaian Responden 2026)

b. Perhitungan Nilai Rata-rata *Severity* (S)

Untuk mendapatkan nilai rata-rata *Severity* (S), seluruh nilai S dari 10 responden dijumlahkan, kemudian dibagi dengan jumlah responden (10).

$$\text{Rata-rata S} = \frac{9+9+8+9+9+10+9+9+8+10}{10}$$

$$\text{Rata-rata S} = \frac{90}{10} = 9{,}00$$

Maka, Rata-rata nilai tingkat keparahan Risiko 1 hasil penilaian oleh Responden 1 sebesar = 9,00

c. Perhitungan Nilai Rata-rata *Occurrence* (O)

Selanjutnya, untuk mendapatkan nilai rata-rata *Occurrence* (O), seluruh nilai O dari 10 responden dijumlahkan, kemudian dibagi dengan jumlah responden (10).

$$\text{Rata-rata O} = \frac{7+7+7+8+7+7+6+7+7+7}{10}$$

$$\text{Rata-rata O} = \frac{70}{10} = 7{,}00$$

Maka, Rata-rata nilai Frekuensi Kejadian dari Risiko 1 hasil penilaian oleh Responden 1 sebesar = 7,00

d. Perhitungan Nilai Rata-rata *Detection* (D)

Untuk mendapatkan nilai rata-rata *Detection* (D), seluruh nilai D dari 10 responden dijumlahkan, kemudian dibagi dengan jumlah responden (10).

$$\text{Rata-rata D} = \frac{6+6+6+6+5+6+6+7+6+6}{10}$$

$$\text{Rata-rata D} = \frac{60}{10} = 6{,}00$$

Maka, Rata-rata nilai tingkat deteksi Risiko 1 hasil penilaian oleh Responden 1 sebesar = 6,00

e. Perhitungan RPN

Setelah nilai rata-rata S, O, dan D diperoleh, RPN dihitung dengan mengalikan ketiga nilai rata-rata tersebut.

$$\mathbf{RPN = S \times O \times D}$$

$$\mathbf{RPN = 9{,}00 \times 7{,}00 \times 6{,}00}$$

$$\mathbf{RPN = 378{,}00}$$

Maka, nilai RPN untuk Risiko 1 hasil penilaian oleh Responden 1 sebesar = 378,00. Pada penelitian ini, tingkat risiko diklasifikasikan menjadi lima kategori, sebagaimana sudah dibahas pada pembahasan sebelumnya.

Tabel 1. 16 Tingkat Nilai RPN

Tingkat Risiko	Skala Nilai RPN
Sangat rendah	X < 20
Rendah	20 ≤ X ≤ 80
Sedang	80 ≤ X < 120
Tinggi	120 ≤ X< 200
Sangat Tinggi	X > 200

(Wahyuningtyas et al., 2025)

Berdasarkan kategori skala nilai pada tabel diatas, maka, disimpulkan bahwa Risiko 1 (**X.1**) tergolong sebagai risiko dengan tingkat risiko "Sangat Tinggi" atau

"Very High" sebab, nilai hasil perkalian S x O x D memperoleh nilai RPN sebesar 378,00, dan termasuk dalam tingkat (X > 200).

Berikut ini terdapat tabel hasil penilaian *Risk Priority Number* (RPN) sejumlah 20 daftar item risiko dengan perhitungan yang sama sebagaimana contoh perhitungan diatas dapat diamati pada tabel berikut ini:

Tabel 1. 17 Perhitungan RPN

Kode	*Failure Mode*	S	O	D	RPN	Kategori
X.1	Perubahan volume pekerjaan struktur saat kontrak berjalan	9,00	7,00	6,00	378,00	Sangat Tinggi
X.2	Penambahan masif volume *shearwall* tipe SW-2, SW-3, SW-4 di lantai 13-24 yang tidak direncanakan dalam kontrak awal	8,50	7,10	5,70	344,00	Sangat Tinggi
X.3	Variasi tipe kolom dan balok yang sangat banyak (K5, K6, K7, KS1, KS2, K6E, K7E dan B2-B12) di berbagai lantai dengan dimensi yang berbeda-beda	7,50	6,00	4,90	220,50	Sangat Tinggi
X.4	Penghapusan total item pekerjaan kolom K1 (±300 m^3 beton), kolom K2, balok kantilever, dan pelat lantai	8,00	5,60	5,10	228,48	Sangat Tinggi
X.5	Kompleksitas tinggi pemasangan 5000+ titik chemical anchor M16	9,2	6,8	6,2	387,87	Sangat Tinggi
X.6	Pengurangan signifikan volume pelat lantai tipe A di lantai 14 (84 m^3), lantai 18 (3 m^3), lantai 24 (3 m^3) yang mempengaruhi kekakuan struktur	7,2	5,2	4,7	175,97	Tinggi
X.7	Keterlambatan jadwal pelaksanaan keseluruhan proyekberdasarkan jadwal terlampir	9	6,9	6	372,60	Sangat Tinggi
X.8	Eskalasi biaya material dan tenaga kerja	9,1	6,8	6	371,28	Sangat Tinggi
X.9	Selisih volume pekerjaan galian, urugan, beton pondasi, dan sloof antara BOQ dengan kondisi aktual lapangan	7	5,3	4,5	166,95	Tinggi
X.10	Ketidaksesuaian kuantitas beton (m^3), tulangan (kg), dan bekisting (m^2) pada elemen kolom, balok, slab	6,6	5	4,2	138,60	Tinggi
X.11		8,5	6,1	5,3	274,81	Sangat Tinggi

Kode	*Failure Mode*	S	O	D	RPN	Kategori
	Clash antara elemen struktur menyebabkan perubahan dimensi struktur					
X.12	Revisi gambar tidak terdokumentasi	8,6	6	5,5	283,80	Sangat Tinggi
X.13	Perubahan tipe dan dimensi pondasi	8,3	5,6	5,2	241,70	Sangat Tinggi
X.14	Kebutuhan dewatering intensif pada pekerjaan galian pondasi	7	4,8	4,5	151,20	Tinggi
X.15	Penambahan elemen struktur baru (*Shear Wall*, kolom tambahan, pelat lantai tambahan)	9	6,8	6	367,20	Sangat Tinggi
X.16	Perubahan metode dari *cast in-situ* ke precast	6,5	4,8	4,3	134,16	Tinggi
X.17	Output pengecoran beton dan pemasangan tulangan dan bekisting lebih rendah dari target harian	5,8	4,5	4,1	107,01	Sedang
X.18	Keterlambatan suplai beton ready mix, baja tulangan, dan baja profil struktur	8	5,6	5,2	232,96	Sangat Tinggi
X.19	Tidak adanya kontrol formal terhadap perubahan volume pekerjaan (CCO tidak terstruktur dengan baik)	8,9	6,5	5,8	335,53	Sangat Tinggi
X.20	Pekerjaan struktur tertunda karena revisi desain belum disetujui	8,5	6,1	5,3	274,81	Sangat Tinggi

(Sumber: Data Penelitian 2026)

Hasil perhitungan sebagimana ditampilkan pada tabel perhitungan RPN diatas bahwa sebagian besar risiko didominasi berada pada kategori tingkat risiko “Sangat Tinggi” (X>200). Kategori ini merupakan kategori dengan jumlah variabel terbanyak, yaitu 14 dari 20 variabel risiko yang dianalisis, meliputi:

X.1 (378,00), X.2 (344,00), X.3 (220,50), X.4 (228,48), X.5 (387,87), X.7 (372,60), X.8 (371,28), X.11 (274,81), X.12 (283,80), X.13 (241,70), X.15 (367,20), X.18 (232,96), X.19 (335,53), dan X.20 (274,81).

Risiko-risiko pada kategori ini didominasi oleh variabel yang bersumber dari perubahan desain struktur (X.1, X.15), penambahan volume pekerjaan akibat hasil kajian ulang struktur (X.2, X.3, X.4), kompleksitas struktur pendukung monumen GRC (X.5), keterlambatan jadwal dan pembengkakan biaya (X.7, X.8), koordinasi desain dan pengendalian dokumen (X.11, X.12, X.20), kondisi tanah yang tidak sesuai asumsi awal (X.13), keterlambatan material (X.18), serta lemahnya manajemen perubahan (X.19).

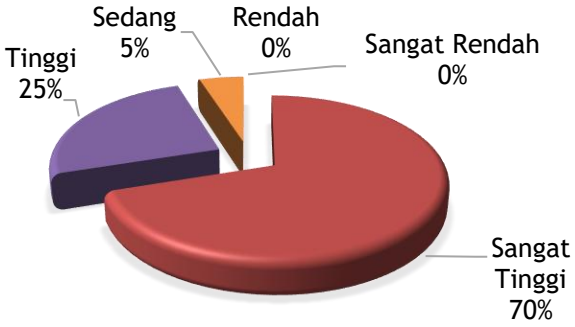
Kategori pada tingkat risiko "Tinggi" terdiri atas 5 variabel risiko, yaitu X.6 (175,97), X.9 (166,95), X.10 (138,60), X.14 (151,20), dan X.16 (134,16). Risiko-risiko pada kategori ini umumnya berkaitan dengan pengurangan volume pekerjaan struktur yang memengaruhi kekakuan bangunan (X.6), ketidaksesuaian data volume pekerjaan galian dan urugan akibat survei topografi yang kurang representatif (X.9), kesalahan perhitungan volume akibat *human error* dalam *take-off quantity* (X.10), kebutuhan dewatering akibat muka air tanah yang tinggi (X.14), serta perubahan metode kerja dari *cast in-situ* menjadi *precast* (X.16). Meskipun tingkat risikonya berada satu tingkat di bawah kategori "Sangat Tinggi", variabel-variabel ini tetap memerlukan pengendalian yang memadai karena berpotensi menimbulkan *rework*, *dispute*, dan keterlambatan pekerjaan apabila tidak dimitigasi sejak dini.

Kategori tingkat risiko "Sedang" hanya terdiri atas satu variabel risiko, yaitu X.17 yakni produktivitas rendah pada pekerjaan pemasangan tulangan dan bekisting, dengan nilai RPN sebesar 107,01. Risiko ini bersumber dari keterlambatan pembayaran upah tenaga kerja dan keterbatasan ruang kerja (*working space*) di lapangan, yang berdampak pada keterlambatan progres struktur serta peningkatan biaya tenaga kerja dan alat. Sementara itu, tidak ditemukan variabel risiko yang termasuk dalam kategori "Rendah" maupun "Sangat Rendah". Oleh karena itu, dapat disimpulkan dengan perolehan distribusi tingkat risiko sebagai berikut:

Tabel 1. 18 Presentase RPN

Tingkat Risiko	Jumlah Risiko	Persentase
Sangat Tinggi	14	**70%**
Tinggi	5	**25%**
Sedang	1	**5%**
Rendah	0	**0%**
Sangat Rendah	0	**0%**

(Sumber: Data Penelitian 2026)



3.8. Rangking Risiko Dominan

Risiko dominan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan kategori RPN tertinggi (X > 200) seperti ditanpilkan pada tabel diatas sehingga risiko yang dipilih benar-benar merepresentasikan risiko yang paling kritis (Stamatis;2003).

Berdasarkan hasil perhitungan RPN tersebut, peneliti membagi risiko dominan menjadi Keempatelas (14) risiko dominan dengan tingkat prioritas tertinggi yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1. 19 Risiko Dominan

Ranking	Kode	Item Risiko	RPN
1	**X.5**	Perubahan kebutuhan struktur yang tidak terencanakan sejak awal	387,87
2	**X.1**	Perubahan desain struktur saat kontrak berjalan	378,00
3	**X.7**	Keterlambatan jadwal pelaksanaan proyek.	372,60
4	**X.8**	klaim biaya proyek bertambah	371,28

Ranking	Kode	Item Risiko	RPN
5	**X.15**	Perubahan desain karena permintaan *Owner*	367,20
6	**X.2**	Penambahan item pekerjaan baru pada proyek	344,00
7	**X.19**	Lemahnya manajemen perubahan	335,53
8	**X.12**	Perubahan desain tidak terkontrol	283,80
9	**X.11**	Koordinasi desain buruk	274,81
10	**X.20**	Keterlambatan approval	274,81
11	**X.13**	Kondisi tanah tidak sesuai asumsi	241,70
12	**X.18**	Keterlambatan material	232,96
13	**X.4**	Instruksi pengurangan item pekerjaan (*field instruction*) secara mendadak	228,48
14	**X.3**	Variasi tipe elemen struktur tinggi	220,50

(Sumber: Data Penelitian 2026)

Risiko-risiko dominan diatas, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- **Dominan Pertama (1)** ialah "Perubahan kebutuhan struktur yang tidak terencanakan sejak awal" atau (X.5) dengan nilai RPN sebesar 387,87.
- **Dominan Kedua (2)** ialah "Perubahan desain struktur saat kontrak berjalan" atau (X.1) dengan nilai RPN sebesar 378,00.
- **Dominan Ketiga (3)** ialah "Keterlambatan jadwal pelaksanaan proyek." atau (X.7) dengan nilai RPN sebesar 372,62.
- **Dominan Keempat (4)** ialah "klaim biaya proyek bertambah" atau (X.8) dengan nilai RPN sebesar 371,28.
- **Dominan Kelima (5)** ialah "Perubahan desain karena permintaan *Owner*" atau (X.15) dengan nilai RPN sebesar 367,20.
- **Dominan Keenam (6)** ialah "Penambahan item pekerjaan baru pada proyek." atau (X.2) dengan nilai RPN sebesar 344,00.
- **Dominan Ketujuh (7)** ialah "Lemahnya manajemen perubahan" atau (X.19) dengan nilai RPN sebesar 335,53.
- **Dominan Kedelapan (8)** ialah "Perubahan desain tidak terkontrol" atau (X.12) dengan nilai RPN sebesar 283,80.
- **Dominan Kesembilan (9)** ialah "Koordinasi desain buruk" atau (X.11) dengan nilai RPN sebesar 274,81.
- **Dominan Kesepuluh (10)** ialah "Keterlambatan approval." atau (X.20) dengan nilai RPN sebesar 274,81.
- **Dominan Kesebelas (11),** ialah "Kondisi tanah tidak sesuai asumsi" atau (X.13) dengan nilai RPN sebesar 241,70.
- **Dominan Keduabelas (12)** ialah "Keterlambatan material" atau (X.18) dengan nilai RPN sebesar 232,96.
- **Dominan Ketigabelas (13),** ialah "Instruksi pengurangan item pekerjaan (field instruction) secara mendadak" atau (X.4) dengan nilai RPN sebesar 228,48.
- **Dominan Keempatbelas (14)** ialah "Variasi tipe elemen struktur tinggi" atau (X.3) dengan nilai RPN sebesar 220,50.

Pengurutan prioritas dari risiko dominan diatas berada pada tingkat prioritas yang sangat tinggi karena memiliki nilai RPN paling tinggi dari ke-20 item risiko yang tervalidasi.

3.9. Strategi Mitigasi Risiko Dominan

Selanjutnya, hasil analisis perhitungan RPN menunjukkan terdapat empat belas (14) risiko dominan. Risiko-risiko dominan ini menjadi risiko-risiko prioritas serta memerlukan strategi mitigasi yang tepat (Rumpuin et al., 2020). Rekomendasi mitigasi risiko pada penelitian ini diperoleh melalui hasil wawancara dengan Responden Pengawas Proyek (R10) yang memiliki kompetensi, pengalaman, dan keterlibatan langsung dalam pelaksanaan proyek.

Responden ini dipilih karena memliki keahlian dalam memahami proses perencanaan, pelaksanaan, serta pengendalian pekerjaan struktur sehingga mampu memberikan masukan mengenai tindakan mitigasi yang sesuai dengan kondisi proyek.

Berikut ini disajikan matriks mitigasi taktis terhadap 14 risiko dominan proyek MMRP Tahap 1 dengan hubungan kausalitas, tindakan taktis, dan penanggung jawab (*responsibility*).

Tabel 1. 20 Strategi Mitigasi Risiko Dominan

Kode	Akar Penyebab (*Failure Cause*)	Strategi Tindakan Mitigasi	Penanggung Jawab
X.5	Keputusan sistem hibrid penopang patung GRC dan rangka baja di ketinggian ekstrem.	Melakukan *design review* berjenjang lintas disiplin; melaksanakan pengujian tarik (*pull-out test*) dan NDT jangkar kimia; mengintegrasikan kontraktor melalui *constructability review*.	Konsultan Perencana, *Project Manager*, *Owner*
X.1	Desain awal belum final; perhitungan awal mengabaikan beban patung monumen Reog.	Melaksanakan kaji ulang menyeluruh bersama perencana ahli; menetapkan milestone *constructability review* sebagai kewajiban kontraktual perencana.	Konsultan Perencana, *Project Manager*, *Owner*
X.7	Fabrikasi modul patung GRC lama; sequential *dependency* tinggi; gangguan cuaca di ketinggian.	Menerapkan *early procurement* material kritis; menyusun jadwal cadangan (*float time*) antisipasi cuaca; melakukan rapat koordinasi progres mingguan.	*Project Manager*, Site Manager, Logistik
X.8	Eskalasi volume fisik masif; fluktuasi harga material global saat EOT.	Menerapkan perjanjian penguncian harga (*price lock*) dengan supplier; mempercepat proses administrasi CCO kontraktual.	Quantity Surveyor, *Project Manager*, *Owner*
X.15	Perubahan fungsi ruang; revisi estetika bentuk patung berdasarkan hasil FGD budaya.	Menetapkan *change request form* formal; menyelenggarakan workshop baseline ruang lingkup di awal; menyetujui dampak biaya tertulis.	PPK, *Project Manager*, Konsultan Perencana
X.2	Analisis beban lateral gempa yang	Melakukan *structural review* dan kalkulasi gempa di tahap awal desain;	Konsultan Struktur,

Kode	Akar Penyebab (*Failure Cause*)	Strategi Tindakan Mitigasi	Penanggung Jawab
	lebih akurat; kebutuhan perkuatan lateral *shear wall*.	mendokumentasikan justifikasi kalkulasi teknis CCO.	Kontraktor, *Quality Control*
X.19	Ketiadaan prosedur kontrol formal; tidak ada asesmen dampak perubahan.	Membentuk *Change Management Team* terpadu; mencatat perubahan pada *risk register* dan *change log* digital proyek.	*Project Manager*, Change Management Team
X.12	Kontrol dokumen (*document control*) buruk; revisi gambar kerja tidak tersosialisasi.	Menerapkan platform BIM-CDE sebagai *single source of truth*; melarang kerja lapangan menggunakan gambar usang.	Drafter, *Site Engineer*
X.11	Ketiadaan BIM koordinator; gambar struktur dan MEP tidak sinkron (*clash*).	Menerapkan platform BIM untuk koordinasi desain lintas disiplin; melaksanakan rapat koordinasi desain mingguan.	BIM Coordinator, Konsultan Perencana, MEP
X.20	Birokrasi pengambil keputusan lambat; tumpang tindih kewenangan.	Menetapkan SLA batas waktu respons dokumen (SLA maksimal 3 hari); menerapkan eskalasi otomatis bagi approval menggantung.	PPK, *Project Manager*, Konsultan Pengawas
X.13	Penyelidikan geoteknik kurang memadai; jumlah titik bor (*boring*) terbatas.	Melakukan *additional soil boring test* intensif; memvalidasi ulang parameter geoteknik parameter tanah aktual sebelum pondasi difinalkan.	Konsultan Geoteknik, Kontraktor
X.18	Gangguan rantai pasok material baja profil; supplier tidak berkomitmen.	Melakukan *early procurement* material kritis; menyusun klausul denda keterlambatan pengiriman material dalam kontrak supplier.	*Project Manager*, Logistik
X.4	Elemen tertentu *over-designed* berdasarkan analisis struktur; perubahan fungsi ruang.	Menetapkan *design freeze point* kontraktual; membentuk forum rapat percepatan keputusan revisi sistem struktur.	*Owner*, Konsultan Perencana, *Project Manager*
X.3	Penyesuaian layout arsitektural; optimasi beban struktur.	Melakukan verifikasi perhitungan struktur hasil optimasi oleh pihak independen; memperbarui *shop drawing* dasar pengajuan CCO.	Konsultan Perencana, *Project Manager*

(Sumber: Data Penelitian 2026)

Guna menjaga keseimbangan *triple constraint* (biaya, waktu, dan mutu) Proyek Pembangunan Museum dan Monumen Reog Ponorogo (MMRP) Tahap 1, perumusan mitigasi diprioritaskan secara ketat pada 14 variabel risiko teknis dominan yang diklasifikasikan ke dalam kategori risiko "Sangat Tinggi" (skor RPN ≥ 200) berdasarkan hasil pemetaan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1) Faktor penyebab terjadi perubahan volume pekerjaan pada Proyek Pembangunan Museum dan Monumen Reog Ponorogo tahap 1 diantaranya adalah perubahan desain, kondisi geografis proyek yang berada pada wilayah perbukitan dan merupakan area bekas tambang kapur, dan upaya *Owner* dalam mengoptimalisasikan biaya proyek yang terbatas. Ketiga penyebab ini, menjadi alasan terjadinya perubahan volume pekerjaan berupa tambah kurang pekerjaan dan modifikasi pekerjaan.
2) Hasil penilaian risiko menggunakan metode FMEA terhadap 20 variabel risiko yang dinilai oleh 10 panel ahli menunjukkan distribusi 14 risiko berkategori "Sangat Tinggi" (RPN ≥ 200), 5 risiko "Tinggi" (120 ≤ RPN < 200), dan 1 risiko "Sedang" dengan RPN = 107,01. Tidak terdapat risiko berkategori Rendah atau Sangat Rendah.
3) Rekomendasi ahli untuk tindakan mitigasi risiko dominan (14 risiko prioritas) dilaksanakan dengan cara cara antara lain melakukan *review design* sebelum gambar diapproval, verifikasi berulang terhadap desain gambar kerja yang didukung dengan penyebaran gambar bertahap, penerapan BIM, dokumentasi formal dengan prosedur pelaksanaan CCO yang jelas, serta membentuk forum koordinasi rutin selama proses keberlangsungan proyek.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1) Mengintegrasikan FMEA dengan metode Fault Tree Analysis (FTA) atau Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk menghasilkan analisis risiko yang lebih komprehensif dan detail.
2) Memastikan penilaian risiko dilaksanakan oleh Panel Ahli yang dapat dibuktikan dengan sertifikat keahlian bidang tertentu.
3) Memperluas objek penelitian ke jenis proyek lain (infrastruktur jalan dan jembatan) untuk memperoleh generalisasi yang lebih luas mengenai pola risiko perubahan volume pekerjaan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Cleland, D. I., & King, W. R. (1983). Systems analysis and project management (3rd ed.). McGraw-Hill.
[2] Ervianto, W. I. (2011). Manajemen proyek konstruksi. ANDI.
[3] Martanti, M., & Hardjomuljadi, S. (2018). Analisis penyebab *Contract Change order* terhadap kinerja proyek konstruksi. Jurnal Konstruksi, 16(2), 45-56. DOI: https://doi.org/10.22441/jrs.2018.v07.i1.03

[4] Palilati, S., dkk. (2022). Dampak *Contract Change order* pada pembangunan gedung pendidikan di Provinsi Gorontalo. Jurnal Rekayasa Sipil, 18(1), 112-120. tautan akses: https://pasca-umi.ac.id/index.php/kons/article/view/1108

[5] Noviana, L., & Rahayu, S. (2025). Analisis *change order* ratio pada pekerjaan struktur Gedung BTN Kanwil 1 Jawa Barat. Jurnal Infrastruktur, 11(2), 34-45. DOI: https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i2.54892

[6] Ramadhan, J. S., & Waty, M. (2025). Analisis dampak *change order*s terhadap biaya dan waktu proyek konstruksi di Indonesia. Engineering, Technology & Applied Science Research (ETASR). DOI: https://doi.org/10.48084/etasr.9449

[7] Permatasari, I., et al. (2023). Dampak perubahan volume pekerjaan terhadap jadwal dan koordinasi proyek SDN 2 Panjer. Jurnal Teknik Sipil, 12(3), 89-98.

[8] Daniswari, D. (2025). Dinamika pembangunan infrastruktur budaya daerah: Studi kasus Monumen Reog Ponorogo. Kompas.com.

[10] Alnuaimi, A. S., Taha, R. A., Al Mohsin, M., & Al-Harthi, A. S. (2010). Causes, effects, benefits, and remedies of *change order*s on public construction projects in Oman. Journal of Construction Engineering and Management, 136(5), 615–622. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000154

[11] Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide) (7th ed.).

[12] Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution (2nd ed.). ASQ Quality Press.

[13] McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2009). The basics of FMEA (2nd ed.). CRC Press.

[14] International Organization for Standardization. (2018). Risk management — Guidelines (ISO 31000:2018).

[15] Simbung, S. (2023). Aplikasi metode FMEA dalam mengidentifikasi cacat dominan pada proyek pembangunan apartemen. Jurnal Manajemen Proyek, 8(1), 22-31.

[16] Septiani, R., dkk. (2025). Analisis risiko waktu dan biaya proyek Hotel Aston Inn 2 Batu menggunakan metode FMEA. Jurnal Konstruksi Gedung, 14(1), 78-87.

[17] Soltanzadeh, A., Zarei, E., Mahdinia, M., Hosseinzadeh, K., & Sadeghi-Yarandi, M. (2025). Introducing FMEA plus method for comprehensive safety risk assessment in the steel industry. PLOS ONE, 20(10), e0331748. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0331748

[18] Azwar, S. (2012). Reliabilitas dan validitas. Pustaka Pelajar.

[19] Legendre, P. (2005). Species associations: The Kendall coefficient of concordance revisited. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 10(2), 226–245. DOI: https://doi.org/10.1198/108571105X46642