

**ANALISIS RISIKO PADA PROYEK KONSTRUKSI BERBASIS
*BUILDING INFORMATION MODELING (BIM): SYSTEMATIC
LITERATURE REVIEW* DENGAN PENDEKATAN PRISMA**

(SKRIPSI)

Oleh:

**SECHLY FIRMANSYAH
NPM 2215011077**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

ANALISIS RISIKO PADA PROYEK KONSTRUKSI BERBASIS *BUILDING INFORMATION MODELING (BIM): SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW* DENGAN PENDEKATAN PRISMA

Oleh:

SECHLY FIRMANSYAH

Tingginya tingkat ketidakpastian dan kompleksitas dalam proyek konstruksi menuntut pendekatan manajemen risiko yang lebih terintegrasi dan berbasis data, sehingga *Building Information Modeling (BIM)* dipandang sebagai solusi digital yang mampu mengintegrasikan aspek desain, waktu (4D), dan biaya (5D) untuk mendukung analisis risiko secara proaktif, meskipun penerapannya masih menghadapi tantangan dan belum terpetakan secara komprehensif dalam literatur. Kontribusi BIM dalam analisis risiko dikaji melalui metode *Systematic Literature Review (SLR)* dengan pendekatan PRISMA berdasarkan literatur dari Scopus, Web of Science, dan Google Scholar pada periode 2016–2025, sehingga diperoleh 30 artikel terpilih dari 613 artikel awal untuk dianalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BIM meningkatkan efektivitas analisis risiko, khususnya dalam identifikasi bahaya, simulasi skenario, dan pengambilan keputusan berbasis data, serta meningkatkan efisiensi waktu dan biaya dan keselamatan proyek, dengan 43,3% studi memberikan bukti kuantitatif terkait peningkatan akurasi dan efisiensi. Namun, implementasinya masih terkendala oleh keterbatasan sumber daya manusia, tingginya biaya investasi awal, dan belum adanya standar penerapan yang seragam. Oleh karena itu, BIM dipandang sebagai pendekatan strategis untuk mendukung analisis risiko yang lebih prediktif dan terintegrasi, sehingga diperlukan peningkatan kapasitas, standarisasi, dan integrasi teknologi untuk mengoptimalkan penerapannya dalam manajemen risiko konstruksi.

Kata kunci: *Building Information Modeling*, Analisis Risiko, Proyek Konstruksi, *Systematic Literature Review*, PRISMA, Manajemen Risiko

ABSTRACT

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) FOR RISK ANALYSIS IN CONSTRUCTION PROJECTS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW USING THE PRISMA APPROACH

By:

SECHLY FIRMANSYAH

The high level of uncertainty and complexity in construction projects necessitates a more integrated and data-driven risk management approach, positioning Building Information Modeling (BIM) as a digital solution capable of integrating design, time (4D), and cost (5D) to support proactive risk analysis, although its application remains challenging and insufficiently mapped in the literature. The contribution of BIM to risk analysis is examined through a Systematic Literature Review (SLR) using the PRISMA approach, based on literature from Scopus, Web of Science, and Google Scholar (2016–2025), resulting in 30 selected studies from an initial 613 articles. The findings show that BIM enhances risk analysis effectiveness, particularly in hazard identification, scenario simulation, and data-driven decision-making, while improving time and cost efficiency and project safety, with 43.3% of studies providing quantitative evidence of increased accuracy and efficiency. However, implementation is constrained by limited human resources, high initial investment costs, and the lack of standardized frameworks. Therefore, BIM is considered a strategic approach for enabling more predictive and integrated risk analysis, highlighting the need for capacity building, standardization, and technological integration to optimize its application in construction risk management.

Keywords: *Building Information Modeling, Risk Analysis, Construction Projects, Systematic Literature Review, PRISMA, Risk Management.*

**ANALISIS RISIKO PADA PROYEK KONSTRUKSI BERBASIS
*BUILDING INFORMATION MODELING (BIM): SYSTEMATIC
LITERATURE REVIEW* DENGAN PENDEKATAN PRISMA**

Oleh :

SECHLY FIRMANSYAH

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

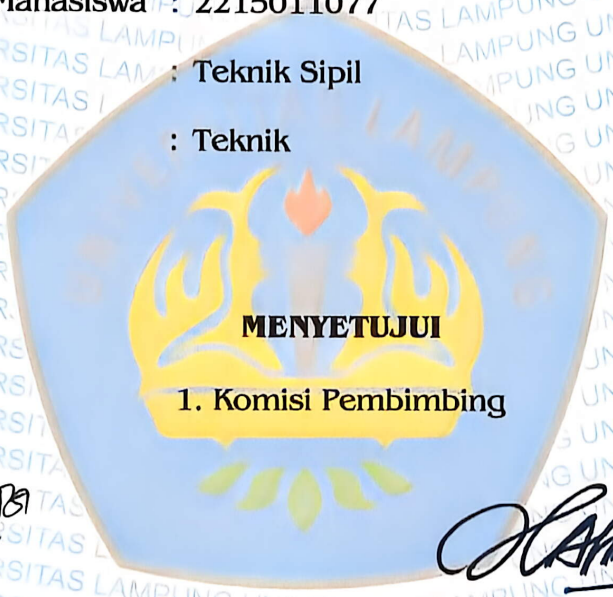
Judul Skripsi : **ANALISIS RISIKO PADA PROYEK
KONSTRUKSI BERBASIS *BUILDING*
INFORMATION MODELING (BIM):
SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW
DENGAN PENDEKATAN PRISMA**

Nama Mahasiswa : **Sechly Firmansyah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2215011077**

Program Studi : **Teknik Sipil**

Fakultas : **Teknik**



**Dr. Ir. Ika Kustiani, S.T.,
M.Eng.Sc., IPM., ASEAN Eng.**
NIP 19691005 199703 2 001

Ir. Amril Ma'ruf Siregar, S.T., M.T., IPM.
NIP 19850228 201212 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Ketua Program Studi Teknik Sipil

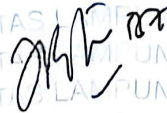
Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002

Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP 19741225 200501 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

**Ketua : Dr. Ir. Ika Kustiani, S.T.,
M.Eng.Sc., IPM., ASEAN Eng.**



**Sekretaris : Ir. Amril Ma'ruf Siregar, S.T.,
M.T., IPM.**



**Penguji
Bukan Pembimbing : Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.
NIP. 19691030 200003 1 001**

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 23 April 2026

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di Bawah ini:

Nama : Sechly Firmansyah

NPM : 2215011077

Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, April 2026

Pembuat Pernyataan



Sechly Firmansyah

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kecamatan Bandar Mataram, Kabupaten Lampung Tengah pada tanggal 02 Maret 2004. Penulis merupakan anak ke-3 dari 3 bersaudara, Putra dari Bapak Alm. Rahimuddin dan Ibu Lutiah, serta memiliki 2 kakak yang bernama Ferly Nurmaya Sari dan Robby Pranata.

Penulis memulai jenjang pendidikan di TK Sugar Group pada tahun 2008-2010, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat dasar di SD Swasta 02 Gula Putih Mataram yang diselesaikan pada tahun 2016, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP Negeri 2 Seputih Agung yang diselesaikan pada tahun 2019, dan dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Seputih Agung yang diselesaikan pada tahun 2022. Kemudian, penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2022. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS) sebagai Anggota Departemen Media dan Informasi pada tahun 2023-2024.

Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sidoasih, Kec. Ketapang, Kab. Lampung Selatan, Lampung selama 30 hari, yaitu pada Januari - Februari 2025. Kemudian, pada Mei – Agustus 2025 penulis melaksanakan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Duplikasi Jembatan Way Sekampung Kibang, Kab. Lampung Timur, Lampung. Pada periode 2025-2026, penulis melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Risiko Pada Proyek Konstruksi Berbasis *Building Information Modeling* (BIM): *Systematic Literature Review* Dengan Pendekatan PRISMA” sebagai tugas akhir dan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik.

PERSEMBAHAN

Dengan meyebut nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Puji dan syukur kepada Allah SWT, atas segala limpahan nikmat dan karunia-Nya. Shalawat beriring salam tercurah kepada Rasulullah Nabi Muhammad SAW.

Kedua orang tuaku, Bapak Alm. Rahimuddin dan Ibu Lutiah yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, doa dan pengorbanan yang tiada henti tiada lelah yang tak terhingga selama perjalanan hidupku.

Untuk kakak-kakakku yang sudah memberikan dukungan luar biasa dan selalu memotivasiku dalam suka dan duka, memberikan doa dan semangat tanpa henti.

Dosen yang telah memberikan ilmu dan petunjuk selama proses belajar mengajar ini. Tidak lelah untuk memberi ilmu serta membimbing hingga terselesainya skripsi ini.

Teman-teman seperjuangan dan semua orang yang selalu membantu, memberikan semangat, selalu memberikan dukungan moral dan menemani perjalanan kuliah dari awal hingga akhir studi.

Skripsi ini juga kupersembahkan untuk diriku sendiri sebagai bukti usaha dan kerja kerasku dalam menyelesaikan studi ini.

MOTTO

“Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya.” – Q.S An-Najm: 39

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.” – Q.S Al-Mujadilah: 11

“Life is like a box of chocolates, you never know what you’re gonna get.” – Forrest Gump

“It doesn’t matter whether you win or lose, what matters is how you fight.” — Roronoa Zoro

“You either run from things, or you face them. And if you keep running, nothing ever really changes.” – Jesse Pinkman

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat beriring salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Risiko Pada Proyek Konstruksi Berbasis *Building Information Modeling* (BIM): *Systematic Literature Review* Dengan Pendekatan PRISMA” sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Pada penyusunan laporan ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M, selaku Rektor Universitas Lampung sekaligus Dosen Teknik Sipil.
2. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Ir. Ika kustiani, S.T., M.Eng.Sc., IPM., ASEAN Eng selaku dosen pembimbing pertama yang sudah memercayai penulis sebagai mahasiswa bimbingan Ibu dan sudah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dukungan serta semangat dari segala sisi dalam proses penyelesaian skripsi. Penulis juga ingin berterima kasih atas kesabaran, kebaikan hati, dan pemahaman yang telah diberikan selama proses penulisan ini. Penulis berharap dengan sangat atas semua kebaikan dan didikan yang telah ibu berikan akan selalu membawa berkat bagi Ibu dan seluruh keluarga.
6. Bapak Ir. Amril Ma'ruf Siregar, S.T., M.T, IPM, selaku dosen pembimbing kedua atas segala bentuk bimbingan, arahan, serta masukkan konstruktif yang

telah diberikan selama proses perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap segala kebaikan yang bapak berikan selalu membawa berkah kepada bapak dan keluarga.

7. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T.,M.T., selaku dosen penguji yang selalu mampu memberikan pengetahuan baru, masukan, serta kritik dan saran yang sangat bermanfaat baik dalam proses perkuliahan maupun dalam proses penyusunan skripsi ini. Penulis berharap kebaikan Ibu selalu membawa berkah kepada Ibu dan keluarga.
8. Bapak Dr. Ir. Ofik Taufik Purwadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan bimbingan dan pengarahan selama masa perkuliahan.
9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil atas semua ilmu pengetahuan dan didikannya selama masa perkuliahan.
10. Seluruh staf dan karyawan Program Studi S-1 Teknik Sipil atas segala bantuannya dalam hal administrasi.
11. Kepada kedua orang tua saya tercinta, Bapak Alm. Rahimuddin, dan Ibu Lutiah yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dukungan, semangat, pengorbanan serta menjadi alasan utama, penyemangat dan motivasi utama penulis tanpa henti tanpa lelah sepanjang waktu sehingga penulis tetap bertahan selama masa perkuliahan hingga penulis sampai kepada tahap ini dan dapat menyelesaikan studi ini.
12. Kepada kakak-kakak saya, Ferly Nurmaya Sari dan Robby Pranata, serta kakak-kakak ipar saya, Safarrudin Hamim dan Nawang Wulandari yang selalu memberikan semangat, dukungan, motivasi, dan doa yang juga menjadi motivasi penulis untuk tetap semangat menjalani studi hingga sampai ke tahap ini.
13. Kepada keponakkan-keponakkan saya, Amabel Zeevara Letisya Safarrudin, Amran Pramudya Arrafi, Narendra Humayun Arkhan Pranata, dan Naratama Keenan Pranata yang turut mendoakan dan menjadi salah satu motivasi penulis untuk terus maju ke depan.

14. Kepada seseorang dengan NPM 2213033007, yang selalu membantu, mendampingi, dan kebersamai penulis, terimakasih atas doa dan dukungannya yang sangat berarti.
15. Keluarga Besar Teknik Sipil angkatan 2022 (TEGAS) yang menemani penulis berjuang dari awal perkuliahan, memberikan semangat dan dukungan yang luar biasa sampai dengan penulis menyelesaikan penulisan ini. Terimakasih atas segala kisah dan cerita yang tidak akan pernah bisa penulis lupakan dan akan selalu dikenang selamanya. Semoga kalian semua dapat mencapai apa yang kalian sudah cita-citakan dan memperoleh kesuksesan di masa yang akan datang. Semoga perjuangan kita dalam suka dan duka beroleh hasil yang sangat memuaskan nantinya.
16. Kepada Kakak-kakak dan Adik-adik angkatan yang secara langsung maupun tidak langsung turut membantu saya selama masa perkuliahan.
17. Dan kepada semua pihak yang tidak disebutkan yang telah membantu saya selama rentang hidup saya hingga saat ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga saran dan masukan membangun diperlukan oleh penulis di kemudian hari. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna.

Bandar Lampung, April 2026
Penulis

Sechly Firmansyah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. <i>Building Information Modeling</i> (BIM).....	7
2.1.1 Definisi dan Konsep Dasar <i>Building Information Modeling</i> (BIM).....	7
2.1.2 Fungsi dan Tujuan Penerapan <i>Building Information Modeling</i> (BIM).....	9
2.1.3 Level dan Dimensi BIM (3D-7D).....	10
2.1.4 Siklus Implementasi BIM dalam Proyek Konstruksi	12
2.2. Manajemen Risiko dalam Proyek Konstruksi	13
2.2.1 Definisi Risiko dan Analisis Risiko.....	14
2.2.2 Tahapan Manajemen Risiko	15
2.2.3 Peran Teknologi Digital dalam Analisis Risiko	17
2.3. Integrasi BIM dalam Analisis Risiko Proyek Konstruksi	18
2.3.1 Hubungan BIM dengan Manajemen Risiko	19
2.3.2 Studi dan Aplikasi Empiris BIM dalam Analisis Risiko.....	20
2.3.3 Tantangan dan Hambatan Implementasi BIM untuk Analisis Risiko.....	21
2.4. <i>Systematic Literature Review</i> (SLR)	22

2.4.1 Definisi dan Tujuan SLR.....	23
2.4.2 Tahapan Pelaksanaan SLR	24
2.4.3 VOSviewer	27
2.4.4 Watase UAKE	28
2.4.5 <i>Population Intervention, Comparison, Outcome, Context</i> (PICOC).....	28
2.5. <i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta</i> <i>Analyses</i> (PRISMA)	29
2.6. Penelitian Terdahulu.....	33
2.7. Kesimpulan Tinjauan Pustaka	35
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1. Metode Penelitian	37
3.2. Formulasi Masalah	37
3.3. Penyusunan Protokol Penelitian	38
3.3.1 Sumber Data dan Kata Kunci	38
3.3.2 Kriteria Literatur.....	38
3.3.3 Pencarian dan Seleksi Literatur	39
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1. Penyajian Data dan Analisis Data	41
4.1.1 Evolusi Analisis Risiko Pada Proyek Konstruksi Berbasis <i>Building Information Modeling</i> (BIM)	43
4.2. Analisis Peran BIM dalam Manajemen Risiko	57
4.2.1 BIM dalam Identifikasi Risiko	58
4.2.2 BIM dalam Analisis Risiko	62
4.3. Sintesis Kontribusi BIM dalam Manajemen Risiko	65
4.3.1 Temuan Secara Kualitatif.....	65
4.3.2 Temuan Secara Kuantitatif.....	71
4.4. Arah dan Tren Penelitian BIM dalam Analisis dan Manajemen Risiko Konstruksi.....	75
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	80
5.1. Kesimpulan.....	80
5.2. Saran	81

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. BIM <i>Lifecycle Model</i>	9
2. Dimensi BIM (3D-7D).....	12
3. Proses Manajemen Risiko (ISO 31000).....	17
4. Tahapan <i>Systematic Literature Review</i>	27
5. Contoh Diagram Alir PRISMA.....	32
6. Diagram PRISMA.....	39
7. Diagram Alir Penelitian	40
8. Diagram Hasil PRISMA	42
9. Grafik Distribusi Artikel Berdasarkan Tahun Publikasi	46
10. Grafik Distribusi Artikel Berdasarkan Negara.....	47
11. Diagram Persentase Jenis Artikel.....	50
12. Diagram Distribusi Artikel Berdasarkan Kualitas Artikel.....	52
13. Hasil Akhir Visualisasi <i>Co-occurrence</i> Kata Kunci	55
14. Distribusi Fokus Identifikasi Risiko	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu	33
2. <i>Framework</i> PICOC	37
3. Kriteria Literatur	38
4. Daftar <i>Keyword</i> Berdasarkan Sumber Data	44
5. Distribusi Artikel Berdasarkan Jenisnya	50
6. Daftar Jurnal Berdasarkan Artikel yang Terpilih.....	54
7. Kontribusi Kualitatif dan Hasil Temuan.....	66
8. Ringkasan Temuan Kuantitatif	72
9. Perbandingan Tren Penelitian BIM dalam Analisis Risiko	78

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri konstruksi merupakan sektor ekonomi strategis dengan kontribusi signifikan terhadap PDB global dan penyerapan tenaga kerja, namun masih menghadapi permasalahan mendasar berupa keterlambatan, pembengkakan biaya, rendahnya produktivitas, dan tingginya risiko proyek. Berbagai studi menunjukkan bahwa deviasi waktu dan biaya umumnya dipicu oleh lemahnya identifikasi serta mitigasi risiko sejak tahap perencanaan, diperparah oleh kompleksitas proyek, keterlibatan banyak pihak, dan dominasi proses manual yang membuat pengelolaan informasi tidak efisien serta rentan kesalahan, konflik, dan sengketa kontraktual. Kondisi ini menegaskan perlunya pendekatan manajemen risiko yang lebih terintegrasi dan berbasis data pada proyek konstruksi (Zhao, 2024).

Building Information Modeling (BIM) hadir sebagai inovasi digital penting dalam industri konstruksi yang berfungsi sebagai platform manajemen informasi terintegrasi, tidak terbatas pada pemodelan tiga dimensi. BIM menggabungkan data desain, waktu (4D), biaya (5D), dan operasional proyek dalam satu sistem kolaboratif, sehingga memungkinkan analisis risiko secara proaktif melalui simulasi digital, deteksi benturan, dan evaluasi berbagai skenario sebelum pelaksanaan. Pendekatan ini mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti, meningkatkan efisiensi dan koordinasi antar disiplin, serta menurunkan tingkat ketidakpastian proyek (Mi & Li, 2024).

Selain manfaat teknisnya, BIM juga memiliki potensi besar dalam memperkuat sistem manajemen risiko yang lebih komprehensif dan adaptif. Integrasi BIM dengan teknologi lain seperti kecerdasan buatan, analisis data besar, dan *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan kondisi proyek secara *real time*, deteksi anomali, serta prediksi risiko berbasis data historis. Pendekatan ini mengubah

paradigma pengelolaan risiko dari bersifat reaktif menjadi prediktif (Bian et al., 2024). Namun demikian, adopsi BIM di banyak negara, termasuk Indonesia, masih dihadapkan pada tantangan implementatif, seperti keterbatasan sumber daya manusia yang terampil, belum optimalnya interoperabilitas perangkat lunak, biaya investasi awal yang tinggi, dan resistensi organisasi terhadap perubahan sistem kerja digital. Selain itu, belum adanya pedoman nasional yang baku mengenai penerapan BIM dalam manajemen risiko menyebabkan implementasi di lapangan sering tidak seragam (Latupeirissa et al., 2024).

Untuk memahami sejauh mana BIM berkontribusi terhadap analisis dan Langkah awal mitigasi risiko pada proyek konstruksi, diperlukan kajian ilmiah yang bersifat sistematis, transparan, dan berbasis bukti. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pendekatan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Pendekatan ini memberikan kerangka kerja yang terstruktur dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil penelitian terdahulu mengenai penerapan BIM dalam konteks risiko konstruksi. Melalui SLR berbasis PRISMA, penelitian ini bertujuan untuk memetakan tren dan arah perkembangan penelitian, menemukan kesenjangan pengetahuan yang masih ada, serta merumuskan strategi konseptual untuk pengembangan penerapan BIM yang lebih efektif, terstandarisasi, dan adaptif terhadap kebutuhan industri konstruksi modern (Bian et al., 2024).

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang manajemen risiko konstruksi. Kajian ini tidak hanya memperkuat dasar teoretis mengenai hubungan antara BIM dan pengelolaan risiko, tetapi juga memberikan rekomendasi praktis untuk meningkatkan efisiensi, transparansi, dan keberlanjutan dalam pelaksanaan proyek konstruksi melalui transformasi digital yang terarah dan berbasis bukti.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tren publikasi, karakteristik metodologi, dan sebaran geografis dari literatur mengenai penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam analisis risiko proyek konstruksi?
2. Bagaimana efektivitas penerapan manajemen risiko berbasis *Building Information Modeling* (BIM) secara komprehensif pada proyek konstruksi?
3. Bagaimana pembuktian empiris mengenai signifikansi efektivitas penggunaan teknologi berbasis BIM dalam mereduksi tingkat risiko pada proyek konstruksi?
4. Apa saja faktor-faktor yang menjadi penentu keberhasilan serta hambatan utama dalam implementasi BIM di lapangan?
5. Bagaimana arah evolusi dan tren teknologi masa depan dari integrasi BIM dalam ekosistem manajemen risiko konstruksi global?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memetakan tren publikasi, karakteristik metodologi penelitian, dan sebaran geografis dari literatur penerapan BIM dalam analisis risiko.
2. Menganalisis efektivitas penerapan manajemen risiko berbasis *Building Information Modeling* (BIM) secara komprehensif pada proyek konstruksi.
3. Menganalisis bukti empiris mengenai signifikansi efektivitas penggunaan teknologi berbasis BIM dalam mereduksi tingkat risiko pada proyek konstruksi.
4. Mengidentifikasi faktor pendukung serta hambatan utama yang memengaruhi tingkat keberhasilan implementasi manajemen risiko berbasis BIM.
5. Memetakan arah evolusi dan tren teknologi masa depan terkait integrasi BIM dengan teknologi digital lainnya dalam ekosistem manajemen risiko.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini membatasi cakupan pada penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dimensi 3D, 4D, dan 5D dalam analisis risiko proyek konstruksi, yang meliputi pemodelan geometrik, penjadwalan, dan estimasi biaya. Pembahasan tidak mencakup penerapan BIM untuk manajemen aset, operasi bangunan, perawatan fasilitas, maupun dimensi lanjutan seperti 6D dan 7D.
2. Penelitian ini hanya menganalisis artikel ilmiah yang diterbitkan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir (2016–2025), guna memastikan bahwa hasil kajian mencerminkan perkembangan terkini dalam penerapan BIM untuk manajemen risiko konstruksi.
3. Artikel yang bersifat opini, tinjauan umum tanpa metodologi yang jelas, atau penelitian yang dilakukan di luar konteks proyek konstruksi tidak disertakan dalam analisis.
4. Kajian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pendekatan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), yang berfokus pada sintesis dan evaluasi hasil penelitian terdahulu.
5. Penelitian ini tidak membahas aspek teknis mendalam terkait pemrograman, pengembangan perangkat lunak BIM, atau integrasi sistem digital lainnya, melainkan menitikberatkan pada aspek manajerial, strategis, dan kebijakan yang berhubungan dengan penerapan BIM dalam identifikasi serta mitigasi risiko proyek konstruksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tentang *Building Information Modeling* (BIM) untuk Analisis Risiko pada Proyek Konstruksi: Kajian Systematic Literature Review melalui Pendekatan PRISMA adalah :

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai peran dan mekanisme kerja *Building Information Modeling* (BIM) dalam proses identifikasi, analisis, dan mitigasi risiko pada proyek konstruksi.
2. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang manajemen konstruksi, khususnya terkait integrasi teknologi digital dalam sistem analisis risiko yang terukur dan berbasis data.
3. Penelitian ini diharapkan mampu menyusun sintesis literatur yang sistematis untuk mengidentifikasi tren, tantangan, serta peluang penerapan BIM dalam pengelolaan risiko proyek, sehingga dapat menjadi rujukan akademik maupun praktis bagi penelitian selanjutnya.
4. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis bagi pemangku kepentingan di industri konstruksi dalam menerapkan BIM secara efektif untuk mengurangi ketidakpastian, meningkatkan efisiensi, serta memperkuat pengendalian risiko proyek.
5. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung transformasi digital sektor konstruksi dengan mendorong adopsi BIM sebagai fondasi utama dalam menciptakan sistem manajemen risiko yang kolaboratif, transparan, dan berkelanjutan sesuai dengan kebutuhan industri modern.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan pada penelitian ini terdiri dari sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang hasil kajian penelitian sebelumnya sebagai penunjang penelitian yang akan dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi uraian mengenai gambaran umum dan metode yang akan digunakan untuk memperoleh data–data yang dibutuhkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil pengumpulan data, pengelolaan data, analisis serta pembahasan data berdasarkan teori yang ada.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan akhir yang merupakan hasil dari pembahasan yang didapat dari pengolahan data dan saran dari hasil tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Kemajuan teknologi informasi telah mengubah paradigma pengelolaan proyek konstruksi yang semakin kompleks dan dinamis. Ketidakpastian yang tinggi menuntut sistem manajemen informasi yang mampu mengintegrasikan berbagai disiplin sekaligus menganalisis potensi risiko sejak tahap perencanaan. *Building Information Modeling* (BIM) hadir sebagai pendekatan digital yang memungkinkan integrasi data desain, biaya, dan waktu untuk mengidentifikasi serta menilai risiko proyek secara komprehensif. Dengan demikian, kajian terhadap teori, konsep, dan penelitian terkait BIM dan analisis risiko menjadi landasan utama dalam memahami penerapan teknologi ini pada proyek konstruksi modern.

2.1 *Building Information Modeling* (BIM)

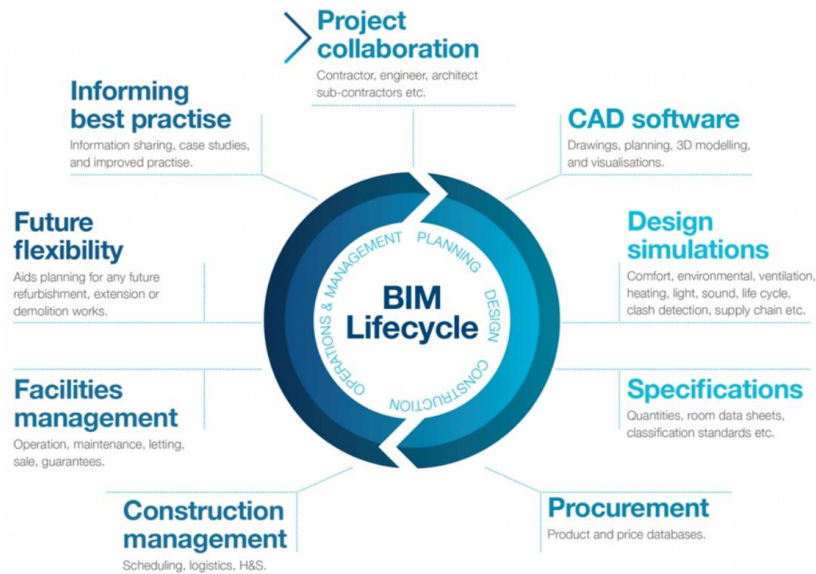
Building Information Modeling (BIM) merupakan pendekatan digital yang mengintegrasikan berbagai informasi proyek konstruksi ke dalam satu model terpadu yang bersifat multidimensi. Melalui BIM, seluruh pemangku kepentingan dapat berkolaborasi secara lebih efektif dalam perencanaan, desain, dan analisis proyek sejak tahap awal. Penerapan BIM tidak hanya meningkatkan akurasi representasi fisik bangunan, tetapi juga memungkinkan pengelolaan data terkait waktu, biaya, dan risiko secara simultan. Dengan demikian, BIM menjadi landasan penting dalam upaya mewujudkan proses konstruksi yang lebih efisien, transparan, dan berbasis data, terutama dalam konteks analisis risiko yang menjadi fokus penelitian ini.

2.1.1 Definisi Konsep Dasar *Building Information Modeling* (BIM)

Building Information Modeling (BIM) adalah representasi digital dari karakter fisik dan fungsional suatu fasilitas, yang berfungsi sebagai sumber informasi bersama dan dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan selama siklus hidup bangunan,

mulai dari tahap perencanaan, desain, konstruksi, hingga operasional dan pemeliharaan. BIM tidak hanya sekadar model tiga dimensi (3D), melainkan juga mengintegrasikan berbagai data penting seperti geometri, material, jadwal (4D), biaya (5D), hingga analisis energi dan manajemen fasilitas (6D dan 7D) (Al-Kazee & Ramhamdani, 2025). Definisi BIM berkembang dalam tiga kategori utama, yaitu sebagai produk (model digital bangunan), sebagai metode (proses kolaboratif lintas disiplin), dan sebagai metodologi (kerangka kerja manajemen informasi proyek). Dengan demikian, BIM menjadi paradigma baru dalam industri konstruksi yang mendorong kolaborasi, visualisasi, dan manajemen proyek yang lebih efektif antar seluruh pemangku kepentingan (Khattra & Jain, 2024).

Perkembangan konsep BIM berawal dari sistem *Computer-Aided Design* (CAD) yang hanya berfokus pada pembuatan gambar dua dimensi (2D) atau tiga dimensi (3D) tanpa integrasi data non-geometris. CAD digunakan untuk menggambar dan mendokumentasikan desain, namun memiliki keterbatasan dalam hal kolaborasi dan manajemen informasi proyek. BIM hadir sebagai evolusi dari CAD dengan menambahkan dimensi informasi yang komprehensif, sehingga model yang dihasilkan tidak hanya berupa visualisasi geometri, tetapi juga memuat data terkait material, volume, jadwal, biaya, hingga siklus hidup bangunan (Khattra & Jain, 2024). Transformasi ini memungkinkan proses perencanaan, pelaksanaan, dan pengelolaan proyek konstruksi menjadi lebih terintegrasi, kolaboratif, dan efisien, serta mampu mengurangi kesalahan, duplikasi pekerjaan, dan meningkatkan produktivitas secara signifikan. Siklus hidup pengelolaan informasi pada proyek konstruksi ini divisualisasikan secara komprehensif pada Gambar 1, yang menunjukkan alur kerja kolaboratif dari fase perencanaan, konstruksi, hingga manajemen fasilitas.



Gambar 1. BIM Lifecycle Model
Sumber: *The AEC Associates* (2015)

2.1.2 Fungsi dan Tujuan Penerapan *Building Information Modeling* (BIM)

Building Information Modeling (BIM) merupakan sebuah pendekatan digital yang merevolusi proses perencanaan, pelaksanaan, dan pengelolaan proyek konstruksi dengan mengintegrasikan seluruh informasi proyek ke dalam satu model digital yang kolaboratif. Fungsi utama BIM meliputi penyediaan representasi fisik dan fungsional bangunan secara menyeluruh, memfasilitasi pengambilan keputusan sepanjang siklus hidup proyek, serta mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu seperti arsitektur, struktur, dan mekanikal dalam satu platform terpadu. Tujuan penerapan BIM adalah untuk meningkatkan efisiensi proses desain dan konstruksi, mempercepat pengambilan keputusan, serta memastikan seluruh pemangku kepentingan dapat berkoordinasi secara efektif melalui sistem informasi yang terpusat dan transparan (Bian et al., 2024).

Manfaat BIM sangat signifikan terhadap efisiensi waktu, biaya, kualitas, kolaborasi lintas disiplin, dan pengurangan kesalahan desain. Penggunaan BIM terbukti mampu mempercepat durasi proyek melalui penjadwalan yang lebih akurat dan visualisasi 4D, sehingga mengurangi keterlambatan dan pekerjaan berulang. Dari sisi biaya, BIM membantu mengidentifikasi potensi benturan (*clash detection*)

sebelum konstruksi dimulai, sehingga mengurangi risiko perubahan desain dan pemborosan material (Khattra & Jain, 2024). Kualitas hasil proyek meningkat karena BIM memudahkan pemantauan mutu dan dokumentasi secara *real-time*, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Kolaborasi lintas disiplin menjadi lebih efektif karena seluruh pihak dapat bekerja pada satu model yang sama, meminimalkan miskomunikasi dan mempercepat penyelesaian masalah. Selain itu, BIM berperan penting dalam mengurangi kesalahan desain melalui simulasi dan integrasi data yang komprehensif, sehingga menghasilkan proyek yang lebih efisien, berkualitas, dan berkelanjutan (Al-Kazee & Ramhamdani, 2025).

2.1.3 Level dan Dimensi BIM (3D-7D)

Building Information Modeling (BIM) merupakan pendekatan multidimensi yang mengintegrasikan data dan informasi ke dalam model geometrik digital bangunan. Dimensi BIM berkembang dari model 3D dasar yang hanya memuat representasi geometrik, menjadi platform pengelolaan informasi yang lebih kompleks dengan penambahan data terkait waktu, biaya, keberlanjutan, hingga manajemen fasilitas. Setiap penambahan dimensi bertujuan memperkaya model dengan informasi spesifik yang mendukung pengambilan keputusan sepanjang siklus hidup proyek konstruksi, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga operasional dan pemeliharaan bangunan (Al-Kazee & Ramhamdani, 2025).

Dimensi pada BIM adalah sebagai berikut :

1. 3D (Tiga Dimensi) – Model Generik

Model 3D merupakan fondasi BIM yang merepresentasikan bentuk fisik dan spasial bangunan secara digital. Model ini memuat informasi geometrik seperti ukuran, bentuk, dan posisi elemen bangunan, sehingga memudahkan visualisasi, deteksi benturan (*clash detection*), serta koordinasi desain antar disiplin (Al-Kazee & Ramhamdani, 2025)

2. 4D (Empat Dimensi) – *Time Schedule*

Dimensi 4D menambahkan unsur waktu (*time schedule*) ke dalam model 3D, memungkinkan simulasi urutan konstruksi dan pemantauan progres pekerjaan. Integrasi ini membantu perencanaan jadwal, identifikasi potensi keterlambatan, serta optimalisasi urutan pelaksanaan konstruksi (Al-Kazee & Ramhamdani, 2025).

3. 5D (Lima Dimensi) – *Cost Estimation*

Pada level 5D, model BIM diperkaya dengan data estimasi biaya (*cost estimation*) yang terintegrasi dengan jadwal dan model geometrik. Hal ini memungkinkan analisis biaya secara real-time, prediksi dampak perubahan desain terhadap anggaran, serta peningkatan akurasi perencanaan keuangan proyek (Khattra & Jain, 2024).

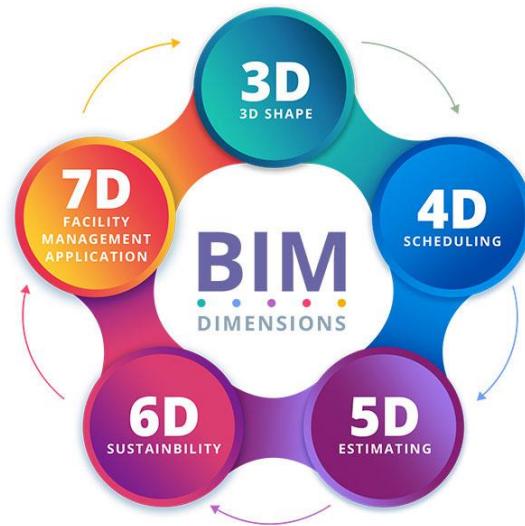
4. 6D (Enam Dimensi) – *Sustainability*

Dimensi 6D menambahkan aspek keberlanjutan (*sustainability*), seperti data konsumsi energi, emisi karbon, dan efisiensi sumber daya. Informasi ini mendukung pengambilan keputusan terkait desain ramah lingkungan dan perhitungan kinerja bangunan sejak tahap konseptual (Bhuyain et al., 2025).

5. 7D (Tujuh Dimensi) – *Facility Management*

Pada 7D, BIM diintegrasikan dengan data manajemen fasilitas (*facility management*), mencakup informasi spesifikasi komponen, jadwal pemeliharaan, masa garansi, dan riwayat perbaikan. Dimensi ini mendukung pengelolaan aset bangunan secara menyeluruh sepanjang siklus hidupnya, dari operasional hingga pembongkaran (Hatmoko et al., 2025). Sebagian besar standar akademik dan industri, seperti ISO 19650, *National Institute of Building Sciences* (NIBS), serta literatur utama membatasi pembahasan BIM hingga 7D karena dimensi-dimensi tersebut telah memiliki definisi, aplikasi, dan manfaat yang jelas serta diakui secara luas dalam praktik industri. Dimensi di atas 7D, seperti 8D (keselamatan dan kesehatan kerja) dan 9D (*lean construction* atau integrasi aspek keamanan), mulai diperkenalkan dalam beberapa literatur, namun belum terstandarisasi secara global dan aplikasinya masih terbatas pada kasus tertentu (Hatmoko et al., 2025).

Untuk memperjelas evolusi dan cakupan data yang terintegrasi pada masing-masing tingkatannya, representasi visual dari dimensi BIM mulai dari 3D hingga 7D dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Dimensi BIM (3D-7D)
Sumber: FIDIC (2022).

Pembahasan *Building Information Modeling* (BIM) difokuskan hingga dimensi 5D, yang mencakup model tiga dimensi (3D), penjadwalan waktu (4D), dan estimasi biaya (5D). Ketiga dimensi tersebut dianggap paling relevan dalam analisis risiko proyek konstruksi karena berkaitan langsung dengan aspek teknis, waktu, dan biaya yang menjadi sumber utama potensi risiko. Sementara itu, dimensi lanjutan seperti 6D (keberlanjutan dan efisiensi energi) serta 7D (operasi dan pemeliharaan) tidak dibahas lebih lanjut karena berada di luar cakupan analisis risiko pada tahap perencanaan dan pra-konstruksi.

2.1.4 Siklus Implementasi BIM dalam Proyek Konstruksi

Siklus implementasi *Building Information Modeling* (BIM) pada proyek konstruksi meliputi beberapa tahapan utama, yaitu perencanaan, desain, konstruksi, hingga operasi dan pemeliharaan bangunan. Pada tahap perencanaan, BIM digunakan untuk mensimulasikan konsep proyek secara digital, memungkinkan analisis awal

terhadap kebutuhan, potensi risiko, dan efisiensi sumber daya. Selanjutnya, pada tahap desain, BIM memfasilitasi pengembangan model tiga dimensi yang terintegrasi dengan data teknis, sehingga seluruh disiplin ilmu (arsitektur, struktur, MEP) dapat berkolaborasi secara *real-time*, mengurangi kesalahan desain dan mempercepat proses revisi. Pada fase konstruksi, BIM berkembang ke dimensi 4D (penjadwalan) dan 5D (estimasi biaya), mendukung perencanaan pelaksanaan, kontrol progres, serta pengelolaan anggaran secara dinamis. Setelah konstruksi selesai, model BIM berfungsi sebagai basis data untuk operasi dan pemeliharaan (6D/7D), menyediakan informasi akurat terkait aset bangunan, yang sangat penting untuk efisiensi operasional dan keberlanjutan jangka panjang (Pantiga & Soekiman, 2021).

Sebagai sistem kolaboratif, BIM berperan sentral dalam mengintegrasikan seluruh pemangku kepentingan proyek pada setiap tahapan siklus hidup bangunan. Pada tahap perencanaan dan desain, BIM menyediakan platform kolaborasi yang memungkinkan pertukaran data dan visualisasi solusi desain secara transparan, sehingga meminimalkan konflik antar disiplin dan meningkatkan kualitas keputusan. Selama konstruksi, BIM mendukung koordinasi lapangan melalui model virtual yang dapat diakses bersama, mempercepat deteksi dan penyelesaian masalah, serta mengoptimalkan logistik dan penggunaan material. Pada tahap operasi, BIM menjadi sumber informasi utama untuk manajemen fasilitas, pemeliharaan prediktif, dan renovasi, sehingga memperpanjang umur bangunan dan meningkatkan nilai investasi. Integrasi BIM dengan teknologi terkini seperti *artificial intelligence* dan *digital twin* semakin memperkuat peranannya sebagai sistem kolaboratif yang adaptif terhadap kebutuhan industri konstruksi modern (Al-Kazee & Ramhamdani, 2025).

2.2 Manajemen Risiko dalam Proyek Konstruksi

Dalam konteks manajemen proyek konstruksi, *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) menetapkan sepuluh bidang pengetahuan (*knowledge areas*) yang menjadi kerangka dasar pengelolaan proyek secara menyeluruh. Bidang-

bidang tersebut mencakup manajemen integrasi, ruang lingkup, jadwal, biaya, kualitas, sumber daya, komunikasi, risiko, pengadaan, serta pemangku kepentingan. Di antara keseluruhan kerangka tersebut, manajemen risiko memiliki peran strategis karena berhubungan langsung dengan upaya mengidentifikasi, menganalisis, dan merespons ketidakpastian yang dapat memengaruhi pencapaian tujuan proyek. Penerapan manajemen risiko yang sistematis sesuai pedoman PMBOK membantu memastikan bahwa potensi permasalahan dapat diantisipasi sejak dini, sehingga meningkatkan keberhasilan pelaksanaan proyek konstruksi secara keseluruhan.

2.2.1 Definisi Risiko dan Analisis Risiko

Dalam konteks proyek konstruksi, risiko didefinisikan sebagai kemungkinan terjadinya peristiwa atau kondisi yang dapat berdampak positif maupun negatif terhadap pencapaian tujuan proyek, seperti biaya, mutu, waktu, dan keselamatan kerja. Menurut ISO 31000:2018, risiko adalah “efek dari ketidakpastian terhadap tujuan,” yang menekankan bahwa risiko tidak hanya berupa ancaman, tetapi juga peluang yang dapat memengaruhi hasil proyek (de Oliveira et al., 2017). Sementara itu, *Project Management Institute* (PMI) melalui PMBOK mendefinisikan risiko sebagai “peristiwa atau kondisi yang tidak pasti yang, jika terjadi, memiliki dampak positif atau negatif pada satu atau lebih tujuan proyek” (George, 2020). Dalam praktiknya, risiko pada proyek konstruksi sangat beragam dan dapat dikategorikan menjadi risiko teknis (misalnya kegagalan desain atau teknologi baru), risiko finansial (seperti keterlambatan pembayaran atau fluktuasi harga material), risiko hukum (terkait perizinan dan kontrak), risiko lingkungan (misalnya bencana alam atau pencemaran), serta risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang sering menjadi penyumbang utama kecelakaan di sektor konstruksi (Ali Alshehhi et al., 2025).

Analisis risiko dalam konteks manajemen proyek konstruksi merupakan proses sistematis untuk memahami, menilai, dan mengukur kemungkinan serta dampak dari berbagai risiko yang dapat memengaruhi pencapaian tujuan proyek.

Berdasarkan standar internasional ISO 31000 dan PMBOK, analisis risiko adalah bagian integral dari manajemen risiko yang terdiri atas tiga tahapan utama: identifikasi risiko, analisis risiko, dan evaluasi risiko. Identifikasi risiko berfokus pada pengenalan potensi risiko yang dapat muncul selama siklus hidup proyek, sedangkan analisis risiko bertujuan untuk memahami karakteristik, penyebab, probabilitas, dan konsekuensi dari risiko-risiko tersebut, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Evaluasi risiko kemudian membandingkan hasil analisis dengan kriteria risiko yang telah ditetapkan untuk menentukan prioritas penanganan (de Oliveira et al., 2017).

2.2.2 Tahapan Manajemen Risiko

Manajemen risiko merupakan aspek fundamental dalam pelaksanaan proyek konstruksi, mengingat tingginya tingkat kecelakaan kerja, potensi kerugian finansial, serta kompleksitas dan dinamika lingkungan proyek. Penerapan manajemen risiko yang sistematis dan terstruktur sangat penting untuk meminimalkan dampak negatif dari ketidakpastian, menjaga keselamatan tenaga kerja, serta memastikan tercapainya tujuan proyek sesuai waktu, biaya, dan mutu yang direncanakan. Standar internasional seperti ISO 31000 dan pedoman *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) menekankan bahwa manajemen risiko harus menjadi bagian integral dari seluruh siklus hidup proyek, mulai dari perencanaan hingga pemantauan dan evaluasi, agar pengendalian risiko dapat dilakukan secara proaktif dan berkelanjutan (Ali Alshehhi et al., 2025). Tahapan pada manajemen risiko pada proyek konstruksi adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi Risiko

Tahap awal yang sangat krusial, bertujuan untuk mengenali seluruh potensi risiko yang dapat mempengaruhi pencapaian tujuan proyek. Identifikasi dilakukan melalui berbagai metode seperti *brainstorming*, *checklist*, wawancara, observasi lapangan, serta analisis dokumen. Hasil identifikasi berupa daftar risiko yang terstruktur, mencakup sumber, penyebab, dan potensi dampaknya (George, 2020).

2. Analisis Risiko

Setelah risiko teridentifikasi, dilakukan analisis untuk memahami karakteristik, kemungkinan terjadinya, dan besaran dampak dari setiap risiko. Analisis dapat bersifat kualitatif (menggunakan matriks risiko) maupun kuantitatif (menghitung probabilitas dan konsekuensi secara numerik). Tujuannya adalah menentukan tingkat prioritas risiko berdasarkan tingkat keparahan dan peluang terjadinya (Ali Alshehhi et al., 2025).

3. Evaluasi Risiko

Pada tahap ini, hasil analisis risiko dibandingkan dengan kriteria risiko yang telah ditetapkan untuk menentukan apakah suatu risiko dapat diterima, ditoleransi, atau harus ditangani lebih lanjut. Evaluasi ini membantu manajemen dalam pengambilan keputusan terkait perlakuan risiko, serta menetapkan prioritas penanganan (de Oliveira et al., 2017).

4. Mitigasi atau Perlakuan Risiko

Tahapan ini meliputi perencanaan dan implementasi tindakan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya risiko atau meminimalkan dampaknya. Strategi mitigasi dapat berupa pengendalian teknis (*engineering control*), administratif (penyusunan SOP, pelatihan), penggunaan alat pelindung diri (APD), transfer risiko (asuransi), atau bahkan menghindari aktivitas berisiko tinggi (Ali Alshehhi et al., 2025)

5. Pemantauan dan Tinjauan Risiko

Proses pemantauan dilakukan secara berkala untuk memastikan efektivitas tindakan mitigasi yang telah diterapkan, serta mendeteksi risiko baru yang mungkin muncul selama pelaksanaan proyek. Tinjauan berkala juga diperlukan untuk memperbarui daftar risiko dan strategi penanganannya sesuai perkembangan proyek (de Oliveira et al., 2017).

Tahapan krusial dalam penerapan manajemen risiko tersebut selaras dengan standar internasional ISO 31000, yang alur pelaksanaannya secara berkesinambungan diilustrasikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Proses Manajemen Risiko (ISO 31000)
Sumber: Riskindo (2023).

2.2.3 Peran Teknologi Digital dalam Analisis Risiko

Teknologi digital telah merevolusi manajemen risiko pada proyek konstruksi dengan menyediakan alat yang mampu mengidentifikasi, memantau, dan memprediksi risiko secara proaktif dan berbasis data. *Building Information Modeling* (BIM) memungkinkan visualisasi dan simulasi digital seluruh siklus hidup proyek, sehingga risiko dapat diidentifikasi sejak tahap desain hingga pelaksanaan. BIM memfasilitasi analisis risiko secara kualitatif dan kuantitatif melalui simulasi skenario, integrasi data kinerja, serta pemantauan *real-time* yang terhubung dengan data lapangan. Hal ini memungkinkan deteksi dini potensi bahaya, pengujian respons risiko, dan kolaborasi lintas pemangku kepentingan untuk pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat (Numan, 2024). Integrasi BIM dengan teknologi *Digital Twin* menciptakan replika digital dinamis dari aset fisik, memungkinkan pemantauan berkelanjutan, deteksi anomali, dan prediksi kegagalan sebelum terjadi, sehingga efisiensi dan keselamatan kerja meningkat secara signifikan (Numan, 2024).

Big Data Analytics dan *Artificial Intelligence* (AI) memperkuat kemampuan prediktif dan adaptif dalam mitigasi risiko. AI, khususnya *machine learning* dan

predictive analytics, mampu menganalisis data historis dan *real-time* untuk mengidentifikasi pola risiko seperti keterlambatan, pembengkakan biaya, atau potensi kecelakaan. AI juga dapat mengintegrasikan data dari berbagai sumber—termasuk sensor IoT, cuaca, dan kondisi lapangan—untuk memberikan peringatan dini dan rekomendasi tindakan mitigasi secara otomatis. Dengan demikian, pengambilan keputusan menjadi lebih berbasis data, responsif, dan adaptif terhadap dinamika proyek. Penerapan AI dan *Big Data* terbukti meningkatkan efisiensi alokasi sumber daya, mengoptimalkan jadwal, serta mengurangi insiden kecelakaan dan pemborosan material (Numan, 2024).

Secara keseluruhan, sinergi antara BIM, *Digital Twin*, *Big Data*, dan AI membangun ekosistem manajemen risiko yang terintegrasi dan berkelanjutan. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan kerja, tetapi juga mendorong pengambilan keputusan yang lebih transparan, kolaboratif, dan berbasis bukti, sehingga proyek konstruksi menjadi lebih tangguh terhadap ketidakpastian dan kompleksitas risiko.

2.3 Integrasi BIM dalam Analisis Risiko Proyek Konstruksi

Integrasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam analisis risiko proyek konstruksi menjadi langkah penting menuju manajemen proyek yang lebih terukur dan berbasis data. Melalui pemodelan digital yang komprehensif, BIM memungkinkan identifikasi dan evaluasi risiko dilakukan secara visual dan kuantitatif sejak tahap perencanaan. Pendekatan ini tidak hanya memperkuat proses pengambilan keputusan, tetapi juga meningkatkan kolaborasi antar pemangku kepentingan dengan menyediakan informasi yang konsisten dan mudah diakses. Dengan demikian, integrasi BIM berpotensi mengubah paradigma tradisional manajemen risiko menjadi lebih proaktif, transparan, dan terintegrasi dalam seluruh siklus proyek konstruksi.

2.3.1 Hubungan BIM dengan Manajemen Risiko

Hubungan antara *Building Information Modeling* (BIM) dan manajemen risiko pada proyek konstruksi sangat erat, di mana BIM berperan sebagai platform digital yang terintegrasi untuk mendukung seluruh proses *risk management*, mulai dari *risk identification*, *risk analysis*, *risk evaluation*, hingga *risk mitigation*. BIM memungkinkan identifikasi risiko secara otomatis dan visual melalui model 3D/4D yang kaya data, sehingga potensi bahaya, konflik desain (*clash detection*), serta ketidaksesuaian urutan kerja dapat terdeteksi lebih awal sebelum tahap konstruksi dimulai. Kemampuan *clash detection* pada BIM secara signifikan mengurangi risiko desain dan konstruksi, serta meminimalisir terjadinya *rework* dan keterlambatan proyek. Selain itu, BIM memfasilitasi integrasi data (*data integration*) dari berbagai disiplin ilmu dan stakeholder, sehingga seluruh informasi risiko dapat dikumpulkan, divisualisasikan, dan dianalisis secara komprehensif dalam satu sistem terpusat (Bian et al., 2024).

Dalam proses *risk analysis* dan *risk evaluation*, BIM menyediakan fitur *simulation modeling* yang memungkinkan analisis dampak risiko terhadap waktu (*schedule risk*) dan biaya (*cost risk*) secara *real-time*. Melalui simulasi urutan kerja (*work sequencing*) dan pemodelan 4D/5D, manajer proyek dapat memvisualisasikan skenario risiko, mengevaluasi dampaknya terhadap jadwal dan anggaran, serta menguji berbagai strategi mitigasi sebelum implementasi di lapangan (Okoli & Schabram, 2015). BIM juga mendukung *monitoring* risiko secara berkelanjutan dengan menghubungkan model digital ke data progres konstruksi aktual, sehingga peringatan dini terhadap potensi deviasi dapat diberikan secara otomatis. Studi-studi terbaru menegaskan bahwa integrasi BIM dalam manajemen risiko meningkatkan kolaborasi antar *stakeholder*, mempercepat pengambilan keputusan berbasis data, dan secara signifikan menurunkan insiden kecelakaan serta kegagalan proyek (Bian et al., 2024).

Secara keseluruhan, BIM telah terbukti menjadi alat transformasional dalam manajemen risiko konstruksi, dengan keunggulan pada deteksi dini risiko,

visualisasi interaktif, integrasi data lintas disiplin, serta kemampuan analisis dan mitigasi berbasis simulasi. Namun, tantangan seperti resistensi perubahan, kebutuhan pelatihan, dan integrasi dengan sistem manajemen risiko tradisional masih perlu diatasi untuk optimalisasi implementasi BIM di industri konstruksi (Numan, 2024).

2.3.2 Studi dan Aplikasi Empiris BIM dalam Analisis Risiko

Studi empiris dan kasus penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam proyek konstruksi sangat penting untuk mengidentifikasi, mengelola, dan menganalisis berbagai risiko yang sering terjadi, seperti keterlambatan, pembengkakan biaya, serta masalah keselamatan dan keberlanjutan. BIM menawarkan pendekatan terintegrasi berbasis data yang mampu meningkatkan kolaborasi antar pemangku kepentingan, mempercepat pengambilan keputusan, serta meminimalisir kesalahan perencanaan dan pelaksanaan. Implementasi BIM yang didukung oleh bukti empiris dapat meningkatkan efisiensi, akurasi, dan transparansi dalam manajemen risiko proyek konstruksi, sehingga menjadi landasan penting dalam pengembangan praktik manajemen risiko modern di bidang teknik sipil (Bian et al., 2024).

Contoh penerapan nyata BIM dalam analisis risiko :

1. BIM 4D untuk Mengurangi Risiko Keterlambatan

Studi kasus pada proyek gedung bertingkat tinggi menunjukkan bahwa integrasi BIM 4D dengan *Critical Chain Project Management* mampu meningkatkan akurasi penjadwalan, mempercepat penyelesaian proyek dari 403 hari menjadi 326 hari (efisiensi waktu 19%), serta meminimalisir risiko keterlambatan melalui simulasi visual dan koordinasi tim yang lebih efektif (Adriansyah, 2019).

2. BIM 5D untuk Estimasi Biaya Dinamis

- a. Penerapan BIM 5D pada proyek konstruksi memungkinkan integrasi estimasi biaya secara *real-time* dengan jadwal proyek, sehingga risiko pembengkakan biaya (*cost overrun*) dapat diminimalisir melalui kontrol biaya yang lebih akurat dan transparan (Widiasanti et al., 2023).

- b. BIM 5D juga memudahkan identifikasi risiko pembiayaan sejak tahap perencanaan, serta mengurangi terjadinya *change order* yang berpotensi menambah biaya (Widiasanti et al., 2023).
3. BIM untuk Analisis Efisiensi Energi dan Keberlanjutan
BIM dapat digunakan untuk menganalisis efisiensi energi dan aspek keberlanjutan bangunan, sehingga risiko terkait keberlanjutan lingkungan dapat diidentifikasi dan dimitigasi sejak tahap desain (Pantiga & Soekiman, 2021).
4. BIM untuk Simulasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (*Health and Safety Simulation*)
 - a. BIM dapat digunakan untuk simulasi dan visualisasi risiko keselamatan kerja, seperti identifikasi potensi bahaya, perencanaan penggunaan alat pelindung diri (APD), serta pelatihan keselamatan berbasis model 3D yang meningkatkan kesadaran dan kepatuhan pekerja terhadap prosedur K3 (Sari et al., 2024).
 - b. Implementasi BIM juga memudahkan deteksi dini terhadap potensi kecelakaan kerja dan mendukung pengawasan prosedur keselamatan secara lebih efektif (Sari et al., 2024).
5. BIM untuk Kolaborasi dan Komunikasi *Stakeholder*
BIM meningkatkan kolaborasi dan komunikasi antar stakeholder melalui model digital terintegrasi, sehingga risiko miskomunikasi dan konflik desain dapat diminimalisir (Pantiga & Soekiman, 2021).

2.3.3 Tantangan dan Hambatan Implementasi BIM untuk Analisis Risiko

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam analisis risiko proyek konstruksi menghadapi berbagai tantangan teknis, manajerial, dan sumber daya manusia. Dari sisi teknis, *interoperability* atau kurangnya interoperabilitas antarperangkat lunak menjadi hambatan utama, karena banyak perangkat lunak BIM yang tidak sepenuhnya kompatibel satu sama lain maupun dengan sistem manajemen risiko yang sudah ada. Selain itu, *reliability* atau keandalan model BIM dan integrasi dengan *workflow* manajemen risiko tradisional juga sering menjadi kendala. Biaya awal implementasi BIM yang tinggi, termasuk investasi perangkat

lunak, perangkat keras, dan pelatihan, menjadi *adoption barrier* yang signifikan, terutama bagi perusahaan kecil hingga menengah. Minimnya *standardization* atau standar nasional terkait BIM juga memperumit proses adopsi, karena tidak adanya pedoman baku yang dapat diikuti oleh seluruh pemangku kepentingan (Numan, 2024).

Dari aspek manajerial dan sumber daya manusia, resistensi terhadap perubahan dalam *organizational culture* sering kali menghambat adopsi BIM secara efektif. Banyak organisasi konstruksi masih enggan beralih dari metode konvensional karena kekhawatiran terhadap perubahan proses kerja dan ketidakpastian hasil. Keterbatasan kompetensi SDM, baik dalam hal pengetahuan teknis maupun pengalaman praktis terkait BIM, juga menjadi hambatan utama.

Faktor-faktor utama yang diidentifikasi meliputi :

1. *Interoperability* antarperangkat lunak
2. *Adoption barrier* akibat biaya awal
3. Keterbatasan kompetensi dan kebutuhan *training* SDM
4. Resistensi terhadap perubahan dalam *organizational culture*, dan
5. Minimnya *standardization* nasional.

Untuk mengatasi hambatan ini, strategi seperti program pelatihan, dukungan manajemen, dan pengembangan standar nasional sangat diperlukan agar potensi BIM dalam analisis risiko dapat dioptimalkan (Numan, 2024).

2.4 Systematic Literature Review (SLR)

Berbagai pendekatan tinjauan literatur seperti *narrative review*, *scoping review*, *bibliometric analysis*, *systematic mapping study*, dan *meta-analysis* memiliki karakteristik dan keterbatasan masing-masing. *Narrative review* bersifat fleksibel namun rentan bias karena tidak sistematis; *scoping review* dan *systematic mapping study* memetakan topik secara luas tetapi kurang menilai kualitas studi secara mendalam; *bibliometric analysis* menyoroti tren publikasi tanpa menelaah isi secara kritis; sedangkan *meta-analysis* mensintesis data kuantitatif namun hanya efektif jika data homogen dan berkualitas tinggi (Kitchenham & Charthers, 2007).

Keterbatasan tersebut meliputi potensi bias, kurangnya penilaian kualitas, serta keterbatasan generalisasi hasil. Oleh karena itu, *Systematic Literature Review* (SLR) dipilih karena menawarkan metodologi yang sistematis, transparan, dan replikatif, mulai dari pencarian literatur komprehensif, seleksi berdasarkan kriteria eksplisit, hingga penilaian kualitas dan sintesis kritis, sehingga meminimalkan bias dan meningkatkan validitas hasil (Moher et al., 2009).

2.4.1 Definisi dan Tujuan SLR

Systematic Literature Review (SLR) merupakan metode tinjauan pustaka yang dilakukan secara terstruktur, transparan, dan terstandarisasi untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, serta mensintesis seluruh bukti ilmiah yang relevan terkait suatu pertanyaan penelitian spesifik. SLR berbeda dengan tinjauan pustaka konvensional yang cenderung bersifat naratif dan subjektif, karena SLR mengikuti protokol atau tahapan yang ketat, seperti perumusan pertanyaan penelitian, penentuan kriteria inklusi-eksklusi, pencarian literatur secara komprehensif, penilaian kualitas studi, hingga sintesis data secara sistematis (Moher et al., 2009). Kitchenham (2007) menegaskan bahwa SLR adalah metode yang rigor dan terbuka, di mana seluruh prosesnya harus dapat direplikasi oleh peneliti lain, sehingga hasil sintesis yang dihasilkan lebih dapat dipercaya dan bebas dari bias. Okoli & Schabram (2010) juga menekankan pentingnya SLR sebagai pendekatan yang mampu mengekstraksi dan mensintesis konsep-konsep teoretis dari studi primer secara sistematis, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih mendalam dan terstruktur. Sementara itu, Moher (2009) menyoroti bahwa keunggulan utama SLR terletak pada penggunaan metode eksplisit dan terdokumentasi dalam setiap tahapannya, yang membedakannya dari tinjauan naratif tradisional.

Tujuan utama SLR adalah menyediakan gambaran komprehensif, objektif, dan terpercaya mengenai pengetahuan yang ada pada suatu topik penelitian, serta mengidentifikasi celah penelitian yang masih terbuka. Dalam praktiknya, SLR digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menyintesis hasil penelitian terdahulu secara sistematis, sehingga dapat menghindari bias seleksi dan

interpretasi subjektif peneliti (Moher et al., 2009). Keunggulan SLR dibandingkan metode tinjauan pustaka konvensional antara lain :

1. Meningkatkan transparansi dan replikasi proses *review*
2. Meminimalkan bias melalui kriteria seleksi yang jelas
3. Menghasilkan sintesis pengetahuan yang lebih valid dan dapat diandalkan sebagai dasar pengambilan keputusan atau pengembangan teori, serta
4. Mampu mengidentifikasi tren, kesenjangan, dan kebutuhan penelitian lanjutan secara lebih akurat (Kitchenham & Charthers, 2007).

Dengan demikian, SLR menjadi metode yang sangat penting dalam penelitian ilmiah, khususnya di bidang teknik sipil, untuk memastikan bahwa keputusan atau rekomendasi yang diambil benar-benar didasarkan pada bukti ilmiah yang kuat dan teruji.

2.4.2 Tahapan Pelaksanaan SLR

Systematic Literature Review (SLR) merupakan metode yang terstruktur dan transparan untuk mengidentifikasi, menyeleksi, mengevaluasi, dan mensintesis seluruh bukti yang relevan terkait pertanyaan penelitian tertentu. Setiap tahap dalam SLR memiliki tujuan utama: merumuskan pertanyaan penelitian yang jelas, memastikan proses yang dapat direplikasi melalui protokol, memperoleh literatur yang relevan secara sistematis, menyeleksi studi secara objektif, mengekstraksi data penting, mensintesis temuan secara kritis, dan akhirnya melaporkan hasil secara komprehensif agar dapat digunakan oleh peneliti lain. Tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut :

1. Formulasi Masalah

Tahap awal dalam pelaksanaan *Systematic Literature Review* (SLR) adalah mengidentifikasi permasalahan serta merumuskan pertanyaan penelitian. Pada tahap ini, peneliti menentukan fokus kajian dengan menyusun pertanyaan penelitian yang spesifik, jelas, dan relevan dengan topik. Sebelum pertanyaan penelitian tersebut dirumuskan, penulis terlebih dahulu menerapkan pendekatan PICOC (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context*) sebagai panduan agar pertanyaan yang disusun memiliki struktur yang baik. Pertanyaan

penelitian ini menjadi dasar utama bagi seluruh proses penelusuran literatur. Semakin terarah dan terdefinisi pertanyaan yang dibuat, semakin efektif pula proses pencarian dan seleksi studi yang akan dilakukan (Okoli & Schabram, 2015)

2. Penyusunan Protokol Penelitian

Setelah pertanyaan penelitian ditetapkan, peneliti menyusun protokol telaah yang berisi rencana kerja secara detail. Protokol ini mencakup strategi pencarian literatur, kriteria inklusi dan eksklusi, metode penilaian kualitas studi, serta prosedur ekstraksi dan sintesis data. Protokol yang disusun secara eksplisit dan komprehensif sangat penting untuk mengurangi bias 28 dan memastikan bahwa proses SLR dapat direplikasi oleh peneliti lain (Okoli & Schabram, 2015)

3. Pencarian dan Seleksi Literatur

Tahap pencarian literatur merupakan bagian inti dari proses *Systematic Literature Review* (SLR). Pada tahap ini, peneliti merancang dan menerapkan kata kunci serta *search string* yang telah disusun secara sistematis untuk menelusuri berbagai basis data penelitian, seperti Scopus, Web of Science, dan Google Scholar. Proses pencarian tidak terbatas pada pencarian langsung di basis data tersebut, tetapi juga mencakup penerapan metode *backward* dan *forward search* guna memastikan seluruh studi yang relevan dapat teridentifikasi. Pendekatan pencarian yang sistematis ini bertujuan untuk memperoleh keseluruhan bukti ilmiah yang berkaitan dengan pertanyaan penelitian (Moher et al., 2009).

4. Penyaringan dan Penilaian Kualitas Studi

Setelah seluruh literatur terkumpul, tahap selanjutnya adalah proses penyaringan studi. Penyaringan ini dilakukan melalui dua tahapan utama

- a. Penyaringan Awal (*Coarse Sieve*), yaitu pemeriksaan terhadap judul dan abstrak untuk menyingkirkan studi yang tidak relevan dengan fokus penelitian.
- b. Penyaringan Mendalam (*Fine Sieve*), yaitu penelaahan penuh terhadap studi yang lolos tahap awal guna menilai tingkat relevansi serta kualitas metodologisnya.

Kedua tahap ini memiliki peran krusial dalam memastikan bahwa hanya studi yang benar-benar relevan dan memiliki kualitas ilmiah memadai yang digunakan sebagai dasar dalam proses sintesis data. (Okoli & Schabram, 2015).

5. Ekstraksi Data

Pada tahap ekstraksi data, peneliti mengidentifikasi serta mengambil informasi penting dari setiap studi yang telah lolos tahap seleksi. Data yang diekstraksi dapat berupa informasi kuantitatif maupun kualitatif, bergantung pada karakteristik studi serta tujuan pertanyaan penelitian. Proses ekstraksi dilakukan secara sistematis dengan memanfaatkan formulir pengkodean (*coding form*) untuk mencatat rincian penting yang akan mendukung tahap analisis berikutnya. Pendekatan yang terstruktur ini memastikan seluruh data yang relevan telah terdokumentasi dengan baik (Moher et al., 2009). Selanjutnya, proses sintesis dilakukan baik secara naratif—melalui deskripsi menyeluruh terhadap temuan-temuan studi—maupun dengan metode *meta-analysis* apabila data kuantitatif tersedia. Hasil sintesis ini menjadi bagian inti dari SLR karena berfungsi sebagai dasar dalam penarikan kesimpulan yang komprehensif.

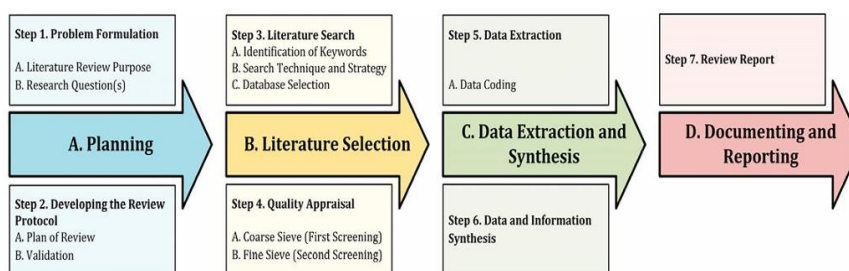
6. Sintesis Data dan Informasi

Tahap sintesis data merupakan bagian krusial dalam *Systematic Literature Review*, di mana seluruh informasi yang telah diekstraksi dianalisis untuk menemukan pola, tren, serta keterkaitan antar studi. Proses sintesis ini dapat dilakukan secara naratif, yaitu dengan mendeskripsikan temuan-temuan utama secara kualitatif, atau melalui *meta-analysis* apabila data yang tersedia bersifat kuantitatif. Hasil dari sintesis tersebut diharapkan mampu memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai perkembangan pengetahuan dalam bidang yang dikaji, sekaligus mengungkap kesenjangan penelitian yang masih memerlukan eksplorasi lebih lanjut (Okoli & Schabram, 2015).

7. Tahap akhir dalam *Systematic Literature Review* (SLR) adalah penyusunan laporan yang merangkum seluruh proses serta temuan penelitian. Laporan ini harus disajikan secara transparan dengan menguraikan setiap tahapan yang telah dilalui, mulai dari perumusan masalah, pengembangan protokol, strategi pencarian literatur, penyaringan studi, hingga proses sintesis data. Pelaporan yang disusun secara jelas dan sistematis tidak hanya membantu pembaca

memahami metodologi yang diterapkan, tetapi juga memastikan bahwa penelitian dapat direplikasi secara konsisten oleh peneliti lain (Kitchenham & Charthers, 2007).

Secara keseluruhan, ketujuh langkah pelaksanaan *Systematic Literature Review* (SLR) tersebut pada dasarnya dapat dikonseptualisasikan ke dalam empat fase utama secara berurutan, sebagaimana diilustrasikan pada diagram alur di Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan *Systematic Literature Review*

Sumber: *Institute for Technologies and Management of Digital Transformation* (2023)

2.4.3 VOSviewer

VOSviewer merupakan perangkat lunak yang secara luas digunakan dalam penelitian *Systematic Literature Review* (SLR) sebagai alat analisis bibliometrik yang unggul dalam pemetaan dan visualisasi jaringan pengetahuan ilmiah. Secara konseptual, Secara metodologis, VOSviewer memfasilitasi pemetaan keterkaitan kata kunci (*keyword co-occurrence*s), visualisasi jaringan penelitian, serta pengelompokan tema (*clustering*), sehingga peneliti dapat mengidentifikasi struktur, tren, dan celah penelitian secara objektif dan sistematis (Moral-Muñoz et al., 2020). Visualisasi yang dihasilkan memungkinkan pemetaan hubungan antar topik, kolaborasi penulis, serta evolusi tema penelitian, yang sangat membantu dalam merumuskan arah dan strategi riset selanjutnya. Dengan demikian, VOSviewer tidak hanya memperkuat transparansi dan akurasi SLR, tetapi juga memperkaya pemahaman konseptual terhadap lanskap pengetahuan dan perkembangan suatu bidang secara menyeluruh (Darman et al., 2023).

2.4.4 Watase UAKE

Proses sintesis data untuk *systematic review* dalam penelitian ini dibantu oleh Watase UAKE (watase.web.id), sebuah platform berbasis web yang dirancang untuk mendukung kolaborasi riset antarpeleliti. Diperkenalkan pertama kali pada tahun 2018 oleh Lilik Wahyudi dkk. dan disempurnakan sejak tahun 2020, aplikasi ini menawarkan berbagai fitur utama, mulai dari *systematic literature review* berstandar PRISMA, meta-analisis, pengelompokan artikel ilmiah, hingga visualisasi data. Penggunaan Watase UAKE sangat membantu dalam menyusun riset yang lebih sistematis dan terencana, terutama karena sistemnya terintegrasi langsung dengan basis data Scopus (mencakup jurnal Q1 hingga Q4) dan secara ketat mengadopsi pedoman PRISMA (Aulia, 2025). Adapun tampilan antarmuka aplikasi ini diuraikan pada Lampiran A.

2.4.5 *Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context* (PICOC)

PICOC adalah sebuah kerangka kerja sistematis yang digunakan dalam metodologi penelitian untuk merumuskan pertanyaan penelitian secara terstruktur dan jelas. PICOC merupakan akronim dari *Population, Intervention, Comparison, Outcome, dan Context*. Komponen *Population* merujuk pada kelompok subjek atau populasi yang menjadi fokus penelitian. *Intervention* adalah perlakuan, tindakan, atau metode yang diterapkan pada populasi tersebut. *Comparison* mengacu pada pembandingan, baik berupa kelompok kontrol, metode alternatif, atau kondisi lain yang relevan. *Outcome* adalah hasil atau efek yang diukur sebagai akibat dari intervensi yang dilakukan. *Context* menekankan pada latar belakang, lingkungan, atau situasi spesifik di mana penelitian berlangsung, sehingga memperjelas ruang lingkup dan relevansi hasil penelitian (Kitchenham & Charthers, 2007).

Fungsi utama PICOC adalah membantu peneliti merumuskan fokus penelitian secara sistematis, sehingga pertanyaan penelitian menjadi lebih spesifik, terarah, dan mudah dipahami. Dengan menggunakan PICOC, peneliti dapat mengidentifikasi elemen-elemen kunci yang perlu dicakup dalam pertanyaan

penelitian, memudahkan proses pencarian literatur, serta meningkatkan transparansi dan replikasi dalam studi sistematis (Moher et al., 2009). Kerangka ini juga memfasilitasi perbandingan antar studi dan memperjelas kriteria inklusi-eksklusi dalam telaah pustaka, sehingga memperkuat validitas dan relevansi temuan penelitian..

2.5 Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses (PRISMA)

PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses*) merupakan pedoman yang dikembangkan untuk membantu peneliti dalam menyusun serta melaporkan hasil *Systematic Literature Review (SLR)* dan *meta-analysis* secara transparan, sistematis, dan dapat direplikasi oleh peneliti lain et al., 2009). Penerapan PRISMA memungkinkan proses penelusuran dan seleksi literatur dilakukan secara lebih terstruktur, sehingga mampu meminimalkan potensi bias dalam analisis. Seiring dengan perkembangan metodologi penelitian, PRISMA telah mengalami pembaruan dari versi awal tahun 2009 menjadi PRISMA 2020, yang menawarkan panduan lebih rinci dan komprehensif guna meningkatkan kualitas pelaporan hasil tinjauan sistematis (Moher et al., 2009).

Dalam penerapannya, PRISMA berperan sebagai panduan yang membantu peneliti dalam proses identifikasi, seleksi, evaluasi, dan sintesis terhadap berbagai studi yang relevan dengan topik penelitian. Melalui pendekatan ini, penelitian berbasis tinjauan pustaka menjadi lebih kredibel dan didukung oleh bukti yang lebih kuat. Tujuan utama penerapan PRISMA adalah untuk meningkatkan transparansi, konsistensi, dan sistematisasi dalam penyusunan serta pelaporan hasil *Systematic Literature Review (SLR)*. Adanya standar yang jelas memungkinkan seluruh tahapan penelitian terdokumentasi dengan baik, sehingga memudahkan proses replikasi oleh peneliti lain serta mengurangi potensi bias dalam seleksi maupun analisis literatur. Selain itu, PRISMA berkontribusi dalam menghasilkan sintesis penelitian yang lebih komprehensif, memungkinkan perbandingan antar studi secara lebih akurat, dan meningkatkan kualitas *meta-analysis* melalui pendekatan

yang terstandarisasi (Moher et al., 2009). Penerapan pedoman ini juga memberikan nilai tambah bagi penelitian berbasis bukti, karena memungkinkan peneliti mengidentifikasi pola, tren, serta kesenjangan dalam literatur yang ada, sehingga menghasilkan penelitian yang lebih relevan dan signifikan secara ilmiah.

PRISMA terdiri atas empat tahapan utama, yaitu Identifikasi (*Identification*), Penyaringan (*Screening*), Kelayakan (*Eligibility*), dan Inklusi (*Inclusion*). Keempat tahapan ini menggambarkan alur proses seleksi literatur secara sistematis, mulai dari pengumpulan seluruh sumber yang relevan hingga pemilihan studi akhir yang sesuai dengan kriteria penelitian. Umumnya, proses ini divisualisasikan melalui diagram alur PRISMA (*PRISMA Flow Diagram*), yang menampilkan jumlah artikel atau dokumen pada setiap tahap beserta alasan pengecualian pada masing-masing fase. Diagram tersebut berfungsi untuk meningkatkan transparansi dan akuntabilitas penelitian, karena memberikan gambaran jelas mengenai bagaimana literatur dipilih, disaring, dan dimasukkan ke dalam analisis akhir (Moher et al., 2009).

1. Identifikasi (*Identification*)

Tahap Identifikasi merupakan langkah awal dalam proses pencarian literatur. Pada tahap ini, peneliti melakukan eksplorasi terhadap berbagai basis data ilmiah seperti Scopus, PubMed, Google Scholar, Web of Science, maupun IEEE Xplore dengan menggunakan kombinasi kata kunci dan string pencarian yang telah ditetapkan sebelumnya. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memastikan bahwa seluruh studi yang relevan dengan topik penelitian berhasil ditemukan dan dikumpulkan secara komprehensif (Kitchenham & Charthers, 2007).

Langkah-langkah dalam tahap identifikasi:

- a. Menetapkan kata kunci yang relevan dengan topik penelitian.
- b. Menggunakan operator *Boolean* (*AND*, *OR*, *NOT*) guna mempersempit atau memperluas hasil pencarian secara lebih terarah.
- c. Mencatat jumlah total studi yang diperoleh sebelum proses penyaringan dimulai.

2. Penyaringan (*Screening*)

Pada tahap Penyaringan, daftar artikel yang telah diperoleh dari proses identifikasi diseleksi berdasarkan judul dan abstrak. Artikel yang tidak relevan atau tidak memenuhi kriteria awal akan dikeluarkan dari daftar. Proses penyaringan ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Menghapus artikel duplikat yang muncul dari berbagai *database*.
- b. Mengeliminasi artikel yang tidak relevan berdasarkan peninjauan judul dan abstrak.
- c. Mengecualikan studi yang menggunakan bahasa di luar kriteria yang telah ditentukan.

Tahap ini berperan penting dalam memastikan bahwa hanya literatur yang benar-benar relevan dan memenuhi kriteria penelitian yang dilanjutkan ke tahap berikutnya.

3. Kelayakan (*Eligibility*)

Pada tahap Kelayakan, artikel yang telah lolos proses penyaringan dievaluasi lebih mendalam melalui penelaahan terhadap teks lengkap masing-masing studi. Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini meliputi :

- a. Menganalisis keseluruhan isi artikel untuk memastikan relevansinya terhadap pertanyaan penelitian.
- b. Menilai metodologi penelitian yang diterapkan dalam setiap studi.
- c. Menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi, seperti :
 - Menerima studi yang diterbitkan dalam jurnal bereputasi.
 - Mengecualikan artikel yang bersifat opini atau tidak didukung oleh data empiris.

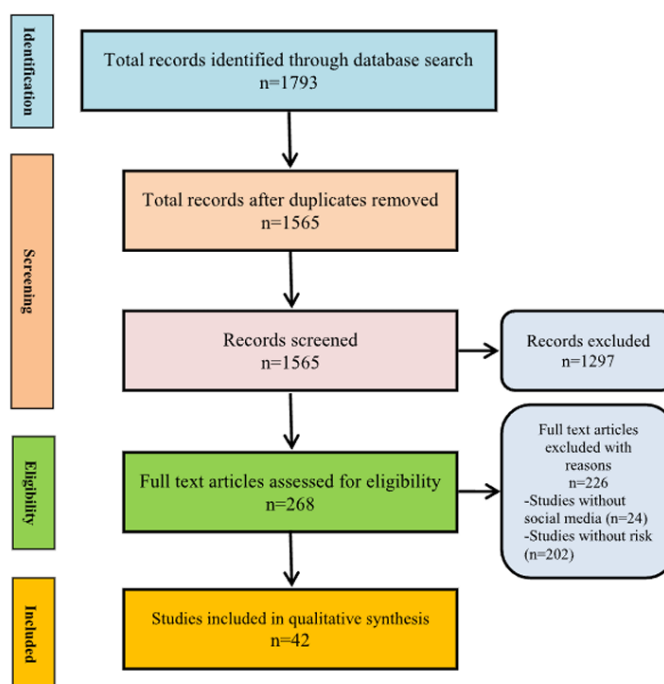
Artikel yang tidak memenuhi kriteria kelayakan akan dikeluarkan dari daftar untuk memastikan bahwa hanya studi yang berkualitas dan relevan yang digunakan dalam analisis akhir.

4. Inklusi (*Inclusion*)

Tahap Inklusi merupakan langkah terakhir dalam proses PRISMA, di mana seluruh studi yang telah memenuhi kriteria kelayakan dikompilasi dan dianalisis secara mendalam. Proses ini meliputi :

- Menghimpun artikel yang lolos seleksi untuk dianalisis lebih lanjut.
- Mencatat informasi penting dari setiap studi, seperti metodologi, hasil penelitian, dan kesimpulan.
- Melaporkan hasil sintesis dalam bentuk narasi deskriptif atau meta-analisis, tergantung pada tujuan penelitian.

Melalui tahap ini, peneliti dapat menarik kesimpulan berbasis bukti dan mengidentifikasi wawasan baru yang berkontribusi terhadap pengembangan pengetahuan dalam bidang yang dikaji. Contoh dokumentasi visual dalam bentuk diagram alur PRISMA dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Contoh Diagram PRISMA.

Sumber: Rehman et al. (2020)

2.6 Penelitian Terdahulu

Berikut disajikan ringkasan penelitian terdahulu yang relevan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
1.	<i>Revolutionizing Construction Safety: Unveiling the Digital Potential of Building Information Modeling (BIM)</i>	(Manzoor et al., 2025)	Mengkaji pengaruh BIM terhadap protokol keselamatan konstruksi dan mitigasi kecelakaan	PRISMA, SLR pada Scopus & WoS	BIM meningkatkan identifikasi bahaya, deteksi konflik, simulasi keselamatan virtual, dan kolaborasi <i>stakeholder</i> ; menyoroti gap integrasi regulasi dan <i>monitoring real-time</i>
2.	<i>BIM and Risk Management: A Review of Strategies for Identifying, Analysing and Mitigating Project Risks</i>	(Numan, 2024)	Mereview peran BIM dalam proses manajemen risiko proyek konstruksi	SLR, studi kasus, wawancara ahli	BIM memfasilitasi identifikasi otomatis risiko, analisis kualitatif/kuantitatif, pemantauan <i>real-time</i> , namun terkendala resistensi perubahan dan integrasi sistem
3.	<i>The Application of BIM-Based Technology toward Fall Hazard Mitigation in Construction</i>	(Sesiesie Ajasa et al., 2024)	Meneliti kontribusi BIM dalam mitigasi bahaya jatuh pada fase konstruksi dan renovasi	SLR	BIM efektif dalam pencegahan kecelakaan jatuh melalui monitoring personalisasi dan integrasi teknologi deteksi <i>real-time</i>
4.	<i>Exploring the Role of BIM in Construction Safety in Developing Countries: Toward Automated Hazard Analysis</i>	(Akram et al., 2022)	Mengembangkan kerangka kerja manajemen keselamatan berbasis BIM di negara berkembang	SLR, survei, konsultasi ahli	BIM dapat diintegrasikan sepanjang siklus proyek untuk otomatisasi identifikasi bahaya; keterbatasan pada pelaporan keselamatan di negara berkembang

Tabel 1. Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
5.	<i>Collaboration and Risk in Building Information Modelling (BIM): A Systematic Literature Review</i>	(Ali et al., 2022)	Menganalisis kolaborasi dan risiko dalam BIM pada proyek konstruksi	SLR, bibliometrik	Kolaborasi dan integrasi BIM dengan GIS/IoT penting untuk mitigasi risiko; riset masih terbatas pada aspek kolaborasi dan ketidakpastian
6.	<i>Building Information Modelling (BIM) to Enhance Occupational Safety in Construction Activities: Research Trends Emerging from One Decade of Studies</i>	(Fargnoli & Lombardi, 2020)	Menyintesis tren riset BIM untuk peningkatan keselamatan kerja konstruksi	SLR (PRISMA)	BIM efektif untuk pelatihan keselamatan, visualisasi dinamis, dan analisis risiko kuantitatif; dibutuhkan aplikasi praktis untuk pelatihan dan <i>resilience</i>
7.	<i>Risk Mitigation Strategies in Large Scale Infrastructure Project: a Project Management Perspective</i>	(Nahid et al., 2024)	Menyintesis strategi mitigasi risiko berbasis teknologi pada proyek infrastruktur besar	SLR (PRISMA)	BIM dan <i>digital twin</i> memungkinkan monitoring risiko <i>real-time</i> dan prediksi; pentingnya budaya sadar risiko dan model hybrid adaptif
8.	<i>Digital information technologies for prevention through design (PtD): a literature review and directions for future research</i>	(Farghaly et al., 2022)	Mereview aplikasi teknologi digital (termasuk BIM) untuk PtD dalam keselamatan konstruksi	SLR 5 tahap	BIM mendukung visualisasi bahaya, <i>rule checking</i> otomatis, dan pelatihan keselamatan; AI dan <i>game-based learning potential</i> untuk edukasi desainer
9.	<i>Improving Hazard Recognition in the Construction Industry: A Systematic Review of a Building Information Modeling Approach</i>	(Taherpour et al., 2024)	Mengkaji dampak BIM pada kemampuan pengenalan bahaya di proyek konstruksi	SLR	BIM meningkatkan kolaborasi stakeholder dan pengenalan bahaya di berbagai fase proyek; identifikasi fase yang masih kurang dieksplorasi
10.	<i>Utilising BIM in Construction Safety</i> (Prashar & Maheswari, 2022) <i>iew</i>	(Prashar & Maheswari, 2022)	Mereview pengetahuan BIM dalam perencanaan keselamatan konstruksi	SLR, bibliometrik	BIM memungkinkan identifikasi dan mitigasi bahaya sebelum konstruksi; <i>rule-based checking</i> otomatis pada fase desain

2.7 Kesimpulan Tinjauan Pustaka

Literatur menunjukkan bahwa *Building Information Modeling* (BIM) telah menjadi elemen kunci dalam analisis risiko proyek konstruksi modern. Sebagai pendekatan digital multidimensi, BIM memungkinkan identifikasi, analisis, dan mitigasi risiko secara lebih proaktif dan komprehensif, mencakup aspek keterlambatan, pembengkakan biaya, keselamatan kerja (K3), serta keberlanjutan lingkungan. Penerapan BIM terbukti memfasilitasi deteksi dini risiko melalui simulasi visual, pendeteksian benturan (*clash detection*), dan analisis berbasis data, sehingga efektif meningkatkan kolaborasi antar pemangku kepentingan dan mengurangi pengerjaan ulang (*rework*).

Sintesis dari berbagai penelitian terdahulu yang dirangkum pada Subbab 2.6 menunjukkan bahwa tren riset saat ini sangat didominasi oleh pemanfaatan BIM untuk manajemen risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Berbagai studi secara konsisten menyoroti efektivitas BIM dalam melakukan identifikasi bahaya otomatis (*rule-based checking*), visualisasi dinamis pada area kerja, dan simulasi keselamatan secara virtual. Selain itu, riset-riset tersebut mengungkapkan adanya tren integrasi BIM dengan teknologi mutakhir seperti *Internet of Things* (IoT), *Geographic Information System* (GIS), dan *Digital Twin* untuk keperluan pemantauan risiko secara *real-time*. Meskipun menjanjikan potensi besar, kajian terdahulu juga menegaskan bahwa implementasi BIM masih terhambat oleh resistensi budaya organisasi terhadap perubahan, kurangnya kompetensi SDM, masalah interoperabilitas perangkat lunak, serta tingginya kendala penerapan infrastruktur digital pelaporan keselamatan, khususnya di negara-negara berkembang.

Dari tinjauan konseptual dan pemetaan penelitian terdahulu tersebut, dapat ditarik beberapa celah penelitian (*research gap*) utama yang mendasari perlunya kajian ini, yaitu:

1. Kajian yang mensintesis efektivitas BIM secara holistik pada berbagai sasaran kelayakan proyek (biaya, waktu, mutu, dan keselamatan kerja) masih terfragmentasi dan belum terpetakan secara sistematis.
2. Belum adanya tinjauan komprehensif yang mengkategorikan secara spesifik faktor-faktor penentu keberhasilan (baik dari aspek teknis, manajerial, maupun organisasi) yang memengaruhi implementasi manajemen risiko berbasis BIM.
3. Perlunya pemetaan secara sistematis mengenai tren metodologi penelitian terkini dan arah perkembangan teknologi di masa depan (seperti integrasi BIM dengan AI, *Internet of Things*, dan *Digital Twin*) guna memandu fokus riset selanjutnya.

Untuk menjawab celah penelitian tersebut, kajian sistematis literatur (*Systematic Literature Review*) ini dilakukan menggunakan pedoman PRISMA. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun sintesis bukti empiris mengenai efektivitas penerapan BIM dalam analisis risiko, mengidentifikasi faktor dan tantangan implementasinya, serta memetakan tren teknologi di masa depan. Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi signifikan dengan menyediakan landasan literatur yang komprehensif bagi praktisi industri maupun akademisi dalam mengoptimalkan BIM sebagai instrumen mitigasi risiko proyek yang cerdas dan adaptif.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian *Systematic literature review*, yang dimana peneliti merangkum berbagai penelitian sebelumnya sesuai dengan topik atau objek yang diteliti. *Systematic literature review* merupakan sebuah kajian yang mengumpulkan *paper-paper* dalam suatu topik bahasan kemudian merangkum atau membandingkannya. Hasil penelitian kemudian disajikan dalam bentuk ringkasan untuk memberikan gambaran umum tentang topik tersebut. Dalam penelitian ini, protokol *Systematic literature review* yang digunakan adalah protokol PRISMA.

3.2 Formulasi Masalah

Perumusan ruang lingkup masalah dilakukan menggunakan kerangka PICOC sebagaimana disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 2. *Framework* PICOC

Kerangka PICOC	Kriteria
<i>Population</i>	Proyek konstruksi dan proses manajemen risiko pada proyek gedung maupun infrastruktur.
<i>Intervention</i>	Penerapan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) dalam identifikasi, analisis, dan mitigasi risiko proyek konstruksi
<i>Comparison</i>	(Tidak digunakan)
<i>Outcome</i>	Peningkatan identifikasi dan analisis risiko, visualisasi risiko, serta pengurangan risiko biaya, waktu, dan koordinasi.
<i>Context</i>	Proyek konstruksi dan infrastruktur dalam konteks studi akademik dan praktik profesional.

3.3 Penyusunan Protokol Penelitian

3.3.1 Sumber Data dan Kata Kunci

Penelitian ini memanfaatkan data sekunder, yaitu data yang tidak diperoleh secara langsung dari lapangan, melainkan bersumber dari hasil penelitian terdahulu. Data sekunder yang digunakan diambil dari database Scopus, Web of Science (WoS), Google Scholar yang terbit pada 10 tahun terakhir (2016–2025). Pemilihan artikel didasarkan pada kata kunci: ("*Building Information Modeling*" OR "BIM") AND ("*risk management*" OR "*risk analysis*" OR "*risk assesment*" OR "*risk mitigation*" OR "*uncertainty management*" OR "*health and safety*") AND ("*construction project*" OR "*infrastructure project*" OR "*engineering project*").

3.3.2 Kriteria Literatur

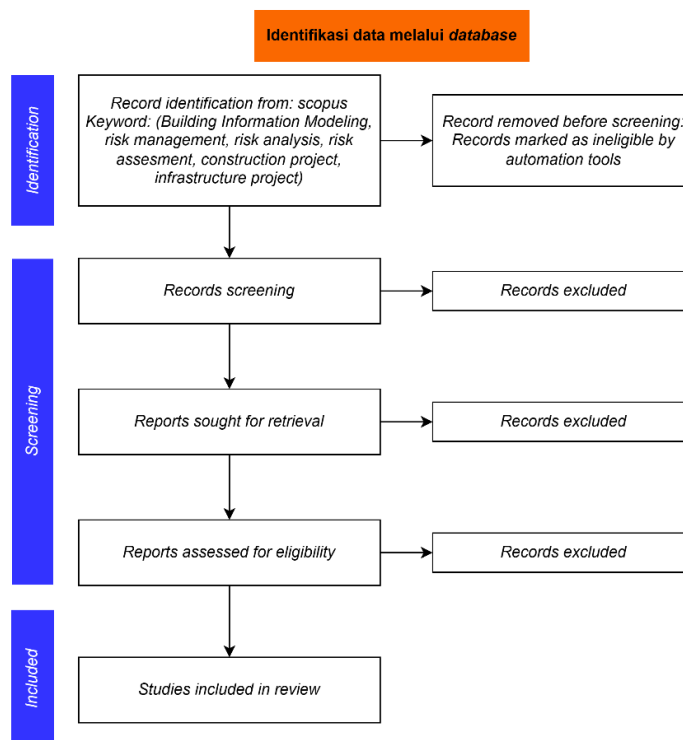
Berikut disajikan kriteria pemilihan literatur yang relevan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Kriteria Literatur

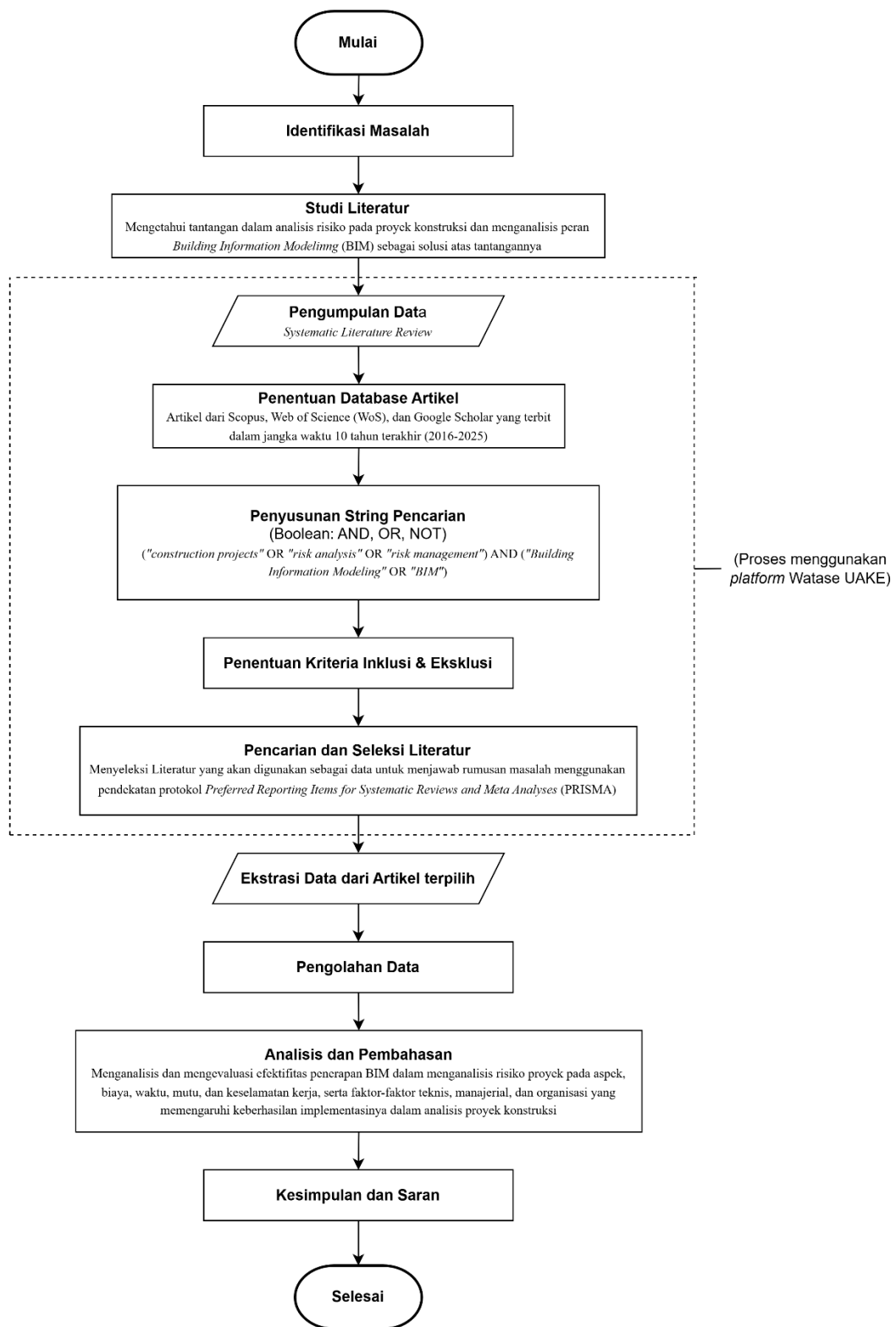
Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Subjek	Penelitian pada teknologi sekitar <i>Building Information Modeling</i>	Diluar penelitian dari teknologi sekitar <i>Building Information Modeling</i>
Sumber	Artikel penelitian yang <i>open access</i> yang dapat diakses secara <i>full text</i> dan diambil dari Scopus, Web of Science (WoS), dan Google Scholar	Artikel penelitian yang berbayar atau tidak dapat diakses secara <i>full text</i> dan selain dari Scopus, Web of Science (WoS), dan Google Scholar
Jangka Waktu	Penerbitan artikel dalam 10 tahun terakhir (2016-2025)	Penerbitan artikel kurang dari tahun 2016
Tema Isi Jurnal	Artikel yang membahas mengenai <i>Building Information Modeling</i> untuk analisis risiko pada proyek konstruksi	Artikel yang setelah dilakukan analisis mendalam dan tidak sesuai dengan konteks penelitian
Area	<i>Construction projects, risk management, risk analysis</i>	Selain <i>construction projects, risk management, risk analysis</i>
Bahasa	Bahasa Inggris dan bahasa Indonesia	Tidak dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia

3.3.3 Pencarian dan Seleksi Literatur

Penelitian ini menerapkan metode seleksi literatur *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). PRISMA terdiri dari empat tahapan utama, yaitu Identifikasi, Penyaringan, Kelayakan, dan Inklusi. Keempat tahapan ini umumnya divisualisasikan dalam diagram alir PRISMA yang menggambarkan jumlah artikel yang dianalisis pada setiap tahap (Moher et al., 2009). Pada proses ini, peneliti memanfaatkan perangkat lunak WATASE UAKE yang dapat diakses secara gratis untuk memudahkan pencarian artikel terindeks Scopus sesuai kata kunci yang telah ditetapkan, serta memfasilitasi pelaksanaan protokol PRISMA. Selain itu, analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer diterapkan untuk memetakan keterkaitan kata kunci dan mengidentifikasi tren penelitian yang relevan. Dengan demikian, gambaran umum diagram PRISMA dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6 dan diagram alir untuk keseluruhan penelitian ini disajikan pada Gambar 7.



Gambar 6. Diagram PRISMA
(diadaptasi dari Chandra, 2025).



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan sintesis data dari 30 literatur terpilih mengenai penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam analisis risiko proyek konstruksi menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pendekatan PRISMA, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tren penelitian BIM untuk analisis risiko menunjukkan perkembangan yang signifikan, terutama pada periode 2024–2025. Sebagian besar literatur berasal dari jurnal bereputasi tinggi (Q1) dan didominasi oleh pendekatan pengembangan sistem serta studi kasus, yang menunjukkan bahwa kajian BIM telah berkembang dari tataran konseptual menuju implementasi praktis. Secara geografis, kontribusi publikasi tertinggi berasal dari China dan Britania Raya.
2. Penerapan BIM terbukti efektif dalam meningkatkan manajemen risiko proyek konstruksi secara lebih proaktif, terintegrasi, dan berbasis data. Dalam hal ini, 4D BIM berperan dalam mitigasi risiko keselamatan kerja dan keterlambatan melalui simulasi visual prakonstruksi, sedangkan 5D BIM mendukung pengendalian biaya melalui estimasi anggaran yang terhubung dengan jadwal. Selain itu, BIM juga berfungsi sebagai *single source of truth* untuk meminimalkan miskomunikasi, konflik informasi, dan *rework*.
3. Hasil sintesis menunjukkan bahwa integrasi BIM mampu memberikan dampak nyata dalam menurunkan tingkat risiko proyek. Penerapan BIM mendukung pengurangan konflik spasial-temporal, peningkatan akurasi deteksi bahaya kerja, serta perbaikan dalam pengelolaan biaya dan arus kas. Temuan ini menegaskan bahwa BIM berkontribusi signifikan terhadap efisiensi, keselamatan, dan keandalan proses manajemen risiko proyek konstruksi.

4. Keberhasilan implementasi BIM dipengaruhi oleh kesiapan teknis, dukungan manajerial, dan kesiapan organisasi. Interoperabilitas data melalui standar seperti *Industry Foundation Classes* (IFC), dukungan kebijakan dalam kontrak, serta kompetensi sumber daya manusia menjadi faktor utama keberhasilan. Namun, penerapannya masih menghadapi hambatan, terutama di negara berkembang, seperti resistensi terhadap budaya kerja konvensional, tingginya biaya investasi teknologi, dan belum meratanya standar pemodelan nasional.
5. Perkembangan BIM dalam manajemen risiko mengarah pada transformasi menuju ekosistem digital yang lebih cerdas, prediktif, dan berkelanjutan. Integrasi BIM dengan *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), dan *Digital Twin* membuka peluang identifikasi dan pemantauan risiko secara *real-time*. Selain itu, fokus analisis risiko ke depan juga berkembang menuju pendekatan yang lebih holistik melalui *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA).

5.2 Saran

Berdasarkan temuan kesimpulan serta batasan (*research gap*) yang teridentifikasi selama kajian literatur ini, terdapat beberapa saran yang direkomendasikan bagi pihak-pihak terkait:

Bagi Peneliti Selanjutnya:

1. Peningkatan Studi Empiris Kuantitatif Berskala Besar: Mengingat penelitian empiris kuantitatif berskala besar saat ini masih sangat minim (hanya mencakup 7% dari total literatur yang dianalisis), disarankan agar riset mendatang memperbanyak studi berbasis data statistik. Hal ini krusial untuk mengukur secara presisi tingkat efektivitas, efisiensi, dan besaran penurunan risiko dari integrasi BIM di lapangan.
2. Perluasan Konteks Geografis ke Negara Berkembang: Sebagian besar studi manajemen risiko BIM masih berpusat di negara-negara maju dan China yang memiliki infrastruktur teknologi kuat. Peneliti selanjutnya disarankan untuk

mengeksplorasi hambatan institusional, keterbatasan sumber daya manusia, dan solusi implementasi BIM yang relevan di negara-negara berkembang.

3. Pendalaman Terhadap Interoperabilitas Data: Mengingat pentingnya pertukaran data yang mulus, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai standarisasi data (seperti IFC) untuk memastikan aliran informasi risiko tidak terhambat akibat penggunaan perangkat lunak yang berbeda antar pihak.

Bagi Praktisi Industri (Kontraktor, Konsultan, dan Pemilik Proyek):

1. Pemanfaatan BIM Sebagai Ekosistem Proaktif, Bukan Sekadar Alat 3D: Praktisi disarankan untuk menggeser pemahaman dan penggunaan BIM dari sekadar alat visualisasi menjadi sumber data tunggal (*single source of truth*). Integrasi BIM dengan teknologi sensor IoT di lapangan harus mulai diadaptasi untuk mendeteksi ancaman risiko keterlambatan dan pembengkakan biaya secara *real-time*.
2. Penerapan Analisis Risiko yang Holistik (LCSA): Industri konstruksi dianjurkan untuk mulai meninggalkan metode identifikasi risiko yang terfragmentasi (hanya melihat K3, biaya, atau waktu secara terpisah). Praktisi perlu mengadopsi asesmen risiko yang menyeluruh hingga mencakup dampak lingkungan dan sosial sepanjang siklus hidup bangunan (*Life Cycle Sustainability Assessment*) guna menjamin keberlanjutan proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, A. (2019). Penerapan *Critical Chain Project Management* dan *Building Information Modeling* (BIM) 4D pada Pekerjaan Struktur Atas Proyek Bangunan Gedung Hunian Bertingkat Tinggi. <https://consensus.app/papers/penerapan-critical-chain-project-management-dan-building-adriansyah/6803be7747515e9b8a6338ddcfbfe8ef/>
- Ahmad, D. M., Gáspár, L., Bencze, Z., & Maya, R. A. (2025). A Risk-Informed BIM-LCSA Framework for Lifecycle Sustainability Optimization of Bridge Infrastructure. *Buildings*, 15(16).
- Ahmad, D. M., Gáspár, L., & Maya, R. A. (2025). Optimizing Sustainability in Bridge Projects: A Framework Integrating Risk Analysis and BIM with LCSA According to ISO Standards. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(1).
- Ahmad, Z., Thaheem, M. J., & Maqsoom, A. (2018). Building information modeling as a risk transformer: An evolutionary insight into the project uncertainty. *Automation in Construction*, 92, 103–119.
- Akram, R., Thaheem, M. J., Khan, S., Nasir, A. R., & Maqsoom, A. (2022). Exploring the Role of BIM in Construction Safety in Developing Countries: Toward Automated Hazard Analysis. *Sustainability*, 14(19), 12905.
- Aladayleh, K. J., & Aladaileh, M. J. (2024). Applying Analytical Hierarchy Process (AHP) to BIM-Based Risk Management for Optimal Performance in Construction Projects. *Buildings*, 14(11), 3632.

- Alfreahat, D., & Sebestyén, Z. (2022). A construction-specific extension to a standard project risk management process. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 14(1), 2666–2674.
- Ali Alshehhi, H. S. M., Sidik, R., & Rozali, E. A. (2025). Evaluating Risk Management Concepts and Their Applications in the Context of Construction Projects. *International Journal of Environmental Sciences*, 996–1005.
- Ali, K. N., Alhajlah, H. H., & Kassem, M. A. (2022). Collaboration and Risk in Building Information Modelling (BIM): A Systematic Literature Review. *Buildings*, 12(5), 571.
- Al-Kazee, M. F., & Ramhamdani, R. (2025). BIM Technology: A Comprehensive Overview of Definitions, Benefits, and Implementations. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, XII(VII), 2273–2278.
- Amin Ranjbar, A., Ansari, R., Taherkhani, R., & Hosseini, M. R. (2021). Developing a novel cash flow risk analysis framework for construction projects based on 5D BIM. *Journal of Building Engineering*, 44.
- Badran, D., AlZubaidi, R., & Venkatachalam, S. (2020). BIM based risk management for design bid build (DBB) design process in the United Arab Emirates: a conceptual framework. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11(6), 1339–1361.
- Bhuyain, Md. G. S., Bhuiyan, S., Alam, S., & Mahzuz, H. M. A. (2025). *6D Bim for Sustainability Analysis: A Conceptual Model for a Typical Residential Building*.
- Bian, Y., Liao, Q., Shi, Y., & Zhang, X. (2024). Research on Risk Management of Engineering Projects Based on Building Information Model (BIM)

Technology. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 115(1), 169–176.

Castañeda, K., Sánchez, O., Peña, C. A., Herrera, R. F., & Mejía, G. (2025). BIM Uses for Mitigating Deficiencies in Road Scheduling Planning. *Sustainability (Switzerland)*, 17(6).

Chen, D., Zhou, J., Duan, P., & Zhang, J. (2023). Integrating knowledge management and BIM for safety risk identification of deep foundation pit construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(8), 3242–3258.

Collinge, W. H., & Osorio-Sandoval, C. (2024). Deploying a Building Information Modelling (BIM)-Based Construction Safety Risk Library for Industry: Lessons Learned and Future Directions. *Buildings*, 14(2).

Darko, A., Chan, A. P. C., Yang, Y., & Tetteh, M. O. (2020). Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs. In *Computers in Industry* (Vol. 123). Elsevier B.V.

de Oliveira, U. R., Marins, F. A. S., Rocha, H. M., & Salomon, V. A. P. (2017). The ISO 31000 standard in supply chain risk management. *Journal of Cleaner Production*, 151, 616–633.

Farghaly, K., Collinge, W., Mosleh, M. H., Manu, P., & Cheung, C. M. (2022). Digital information technologies for prevention through design (PtD): a literature review and directions for future research. *Construction Innovation*, 22(4), 1036–1058.

- Fargnoli, M., & Lombardi, M. (2020). Building Information Modelling (BIM) to Enhance Occupational Safety in Construction Activities: Research Trends Emerging from One Decade of Studies. *Buildings*, *10*(6), 98.
- George, C. (2020). The Essence of Risk Identification in Project Risk Management: An Overview. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, *9*(2), 973–978.
- Hatmoko, J. U. D., Taqy, M. R. A., Utama, R. P., & Hermawan, F. (2025). The 7D BIM Modeling for Building Asset Data Management Using Revit, COBie Extension, and QR code. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, *15*(2), 271–276.
- Jin, Z., Gambatese, J., Liu, D., & Dharmapalan, V. (2019). Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *26*(11), 2637–2654.
- Khattra, S. K., & Jain, R. (2024). Building Information Modeling: A Comprehensive Overview of Concepts and Applications. *Advances in Research*, *25*(5), 140–149.
- Kitchenham, & Charthers. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. *Diabetes Care*, *34*(Supplement_1), e99–e99.
- Latupeirissa, J. E., Arrang, H., & Wong, I. L. K. (2024). The Challenges of Implementing Building Information Modeling in Indonesia Construction Projects. *Engineering and Technology Journal*, *09*(04).
- Li, X., Jia, X., & Huang, M. (2024). Digital Application of Construction Project Cost Risk Control and Management Based on BIM Technology. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, *9*(1).

- Liu, N., Guo, D., Song, Z., Zhong, S., & Hu, R. (2023). BIM-based digital platform and risk management system for mountain tunnel construction. *Scientific Reports*, *13*(1).
- Madihi, M. H., Tafazzoli, M., Shirzadi Javid, A. A., & Nasirzadeh, F. (2025). Probabilistic Cash Flow Analysis Considering Risk Impacts by Integrating 5D-Building Information Modeling and Bayesian Belief Network. *Buildings*, *15*(11).
- Manzoor, B., Charef, R., Antwi-Afari, M. F., Alotaibi, K. S., & Harirchian, E. (2025). Revolutionizing Construction Safety: Unveiling the Digital Potential of Building Information Modeling (BIM). *Buildings*, *15*(5), 828.
- Mi, Z., & Li, J. (2024). Maximizing project efficiency and collaboration in construction management through building information modeling (BIM). *Applied and Computational Engineering*, *72*(1), 24–29.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, *6*(7), e1000097.
- Montoya Villanueva, F. R., & Brioso, X. (2024). Management Model Using Standardized Contracts and BIM Tools for the Optimization of PPP Projects in Peru. *Buildings*, *14*(10).
- Moshtaghian, F., Golabchi, M., & Noorzai, E. (2020). A framework to dynamic identification of project risks. *Smart and Sustainable Built Environment*, *9*(4), 375–393.
- Nahid, O. F., Rahmatullah, R., Al-Arafat, M., Kabir, M. E., & Dasgupta, A. (2024). Risk Mitigation Strategies in Large Scale Infrastructure Project: A Project Management Perspective. *Non Human Journal*, *1*(01), 21–37.

- Numan, M. (2024). BIM and Risk Management: A Review of Strategies for Identifying, Analysing and Mitigating Project Risks. *Journal of Engineering Research and Sciences*, 3(1), 20–26.
- Okoli, C., & Schabram, K. (2015). A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research. *SSRN Electronic Journal*.
- Pantiga, J., & Soekiman, A. (2021). Kajian Implementasi Building Information Modeling (BIM) di Dunia Konstruksi Indonesia. *Rekayasa Sipil*, 15(2), 104–110.
- Prashar, P., & Maheswari, J. U. (2022). *Utilising BIM in Construction Safety Planning: A Systematic Review* (pp. 1–10).
- Providakis, S., Rogers, C. D. F., & Chapman, D. N. (2019). Predictions of settlement risk induced by tunnelling using BIM and 3D visualization tools. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 92.
- Providakis, S., Rogers, C. D. F., & Chapman, D. N. (2022). 3D spatiotemporal risk assessment analysis of the tunnelling-induced settlement in an urban area using analytical hierarchy process and BIM. *Georisk*, 16(2), 251–266.
- Rehman, Z. U., Baharun, R., & Salleh, N. Z. M. (2020). Antecedents, consequences, and reducers of perceived risk in social media: A systematic literature review and directions for further research. *Psychology & Marketing*, 37(1), 74–86.
- Salem, T., & Dragomir, M. (2023). Digital Twins for Construction Projects—Developing a Risk Systematization Approach to Facilitate Anomaly Detection in Smart Buildings. *Telecom*, 4(1), 135–145.

- Sari, K. P., Suraji, A., Irawan, D., & Halim, A. (2024). Efektivitas Penggunaan Teknologi Building Information Modelling (BIM) Dalam Desain Rumah 3 Lantai. *Jurnal Aplikasi dan Inovasi Ipteks "Soliditas" (J-SOLID)*, 7(1), 51.
- Sesesie Ajasa, S., Seichi Marchiori, R., & Song, S. (2024). The Application of BIM-Based Technology toward Fall Hazard Mitigation in Construction. *Construction Research Congress 2024*, 538–547.
- Sloot, R. N. F., Heutink, A., & Voordijk, J. T. (2019). Assessing usefulness of 4D BIM tools in risk mitigation strategies. *Automation in Construction*, 106.
- Taherpour, F., Biratu Dadi, G., Kheiri, P., & Keshavarz, M. (2024). Improving Hazard Recognition in the Construction Industry: A Systematic Review of a Building Information Modeling Approach. *Construction Research Congress 2024*, 956–966.
- Tran, S. V. T., Lee, D., Bao, Q. L., Yoo, T., Khan, M., Jo, J., & Park, C. (2023). A Human Detection Approach for Intrusion in Hazardous Areas Using 4D-BIM-Based Spatial-Temporal Analysis and Computer Vision. *Buildings*, 13(9).
- Vitiello, U., Ciotta, V., Salzano, A., Asprone, D., Manfredi, G., & Cosenza, E. (2019). BIM-based approach for the cost-optimization of seismic retrofit strategies on existing buildings. *Automation in Construction*, 98, 90–101.
- Widiasanti, I., Wijaya, M. A., Anggraini, S., Balqis, O. A., Suryapratama, R. Y., & Prasetya, B. T. (2023). Penerapan Building Information Modeling (Bim) 5D pada Manajemen Biaya Proyek dalam Dunia Konstruksi. *Jurnal Talenta Sipil*, 6(2), 256.
- Xie, P., Zhang, R., Zheng, J., & Li, Z. (2022). Probabilistic analysis of subway station excavation based on BIM-RF integrated technology. In *Automation in Construction* (Vol. 135). Elsevier B.V.

- Yin, J., Luo, S., Rui, J., Yao, J., Zhang, F., Fu, B., & Kassem, M. (2024). BIM-based detection and optimization of spatial-temporal clashes in underground pipeline construction. *Automation in Construction*, 166.
- Yun Zhen, G. W., Wai Wah, L., Sui Pheng, L., & Shi Yee, W. (2025). Application of building information modelling (BIM) technology in risk management of high-rise building (HRB) projects in Malaysia. *International Journal of Construction Management*.
- Zhang, L., Wu, X., Ding, L., Skibniewski, M. J., & Lu, Y. (2016). Bim-Based Risk Identification System in tunnel construction. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(4), 529–539.
- Zhao, X. (2024). Construction risk management research: intellectual structure and emerging themes. *International Journal of Construction Management*, 24(5), 540–550.
- Zhou, M., Tang, Y., Jin, H., Zhang, B., & Sang, X. (2021). A bim-based identification and classification method of environmental risks in the design of beijing subway. *Journal of Civil Engineering and Management*, 27(7), 500–514.
- Zou, L., & Gui, W. (2020). Simulation and prediction of geologic hazards and the impacts on homestay buildings in scenery spots through BIM. In *PLoS ONE* (Vol. 15, Number 9 September 2020). *Public Library of Science*.
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2016). Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 23(6), 727–750.

Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88–98.

Zou, Y., Kiviniemi, A., Jones, S. W., & Walsh, J. (2019). Risk Information Management for Bridges by Integrating Risk Breakdown Structure into 3D/4D BIM. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(2), 467–480.