

MITIGASI RISIKO KETERLAMBATAN PEMBANGUNAN JEMBATAN PERAWANG DI KECAMATAN TASIK PUTRIPUYU MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO

Muhammad Arafat¹, Ari Sandhyavitri² dan Manyuk Fauzi³

^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau, Indonesia
Email:¹muhammad.arafat7355@grad.unri.ac.id, ²ari.sandhyavitri@eng.unri.ac.id, ³manyuk.fauzi@eng.unri.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur memiliki peranan penting dalam mendorong pertumbuhan dan pembangunan ekonomi di berbagai daerah, namun dalam pelaksanaannya seringkali terjadi keterlambatan dalam Pembangunan proyek tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko keterlambatan pembangunan Jembatan Perawang di Kecamatan Tasik Putripuyu dengan menggunakan Simulasi Monte Carlo. Identifikasi risiko menunjukkan beberapa faktor utama yang berpotensi menyebabkan keterlambatan, antara lain perubahan desain, persetujuan dokumen yang tertunda, dan masalah keuangan kontraktor. Simulasi Monte Carlo yang dilakukan memperkirakan adanya potensi keterlambatan proyek lebih dari 30 hari serta peningkatan biaya hingga 15% dari anggaran awal. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengusulkan beberapa strategi mitigasi yang meliputi peningkatan koordinasi antar pemangku kepentingan, perencanaan proyek yang lebih efektif, serta manajemen risiko cuaca dan keamanan. Implementasi strategi-strategi ini diharapkan dapat mengurangi risiko keterlambatan dan meningkatkan keberhasilan proyek infrastruktur di masa depan. Hasil penelitian ini memberikan panduan praktis untuk pengelolaan proyek yang lebih baik dan dapat diterapkan pada proyek infrastruktur serupa. Hasil identifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan pembangunan jembatan Perawang menunjukkan ada 12 faktor utama, antara lain: perubahan desain oleh pemilik, keterlambatan persetujuan dokumen oleh pemilik, kurangnya koordinasi antar pemangku kepentingan, keterlambatan pengadaan material, kekurangan tenaga kerja, kondisi cuaca buruk, masalah perizinan, gangguan keamanan di lapangan, masalah keuangan kontraktor, kesalahan perencanaan, produktivitas peralatan rendah, serta keterlambatan pembebasan lahan.

Kata kunci: Jembatan perawang, Risiko Keterlambatan, Simulasi Monte Carlo, Mitigasi Risiko

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur merupakan salah satu prioritas pemerintah dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan pembangunan di berbagai wilayah. Pembangunan infrastruktur memainkan peran penting dalam mendorong pertumbuhan dan pembangunan ekonomi di berbagai daerah, seperti yang disorot dalam makalah penelitian. Studi menunjukkan bahwa pembangunan infrastruktur berdampak positif terhadap perekonomian dengan meningkatkan fasilitas dan konektivitas. Komponen infrastruktur seperti komunikasi, listrik, pendidikan, dan kesehatan telah diidentifikasi sebagai prioritas utama untuk pembangunan berkelanjutan, dengan infrastruktur listrik sangat berdampak pada pertumbuhan PDB riil di Nigeria (Olaoye, 2023). Selain itu, pengeluaran infrastruktur di AS telah ditemukan secara signifikan meningkatkan pertumbuhan ekonomi, menekankan pentingnya investasi publik yang berkelanjutan di bidang transportasi, air, energi, dan sektor kunci lainnya (Fosu & Twumasi, 2022). Selain itu, interaksi spasial antar wilayah di Indonesia menunjukkan keterkaitan pertumbuhan ekonomi regional, dengan sumber daya manusia dan modal fisik secara positif mempengaruhi pertumbuhan ekonomi sementara infrastruktur transportasi menunjukkan dampak negatif (Fahmi, 2022). Secara keseluruhan, memprioritaskan pembangunan infrastruktur sangat penting untuk mendorong kemajuan ekonomi dan kemakmuran di berbagai wilayah.

Salah satu proyek penting yang sedang dikerjakan adalah pembangunan Jembatan Perawang di Kecamatan Tasik Putripuyu, yang menghubungkan Desa Bandul dan Desa Selat Akar. Jembatan ini diharapkan dapat meningkatkan konektivitas dan mobilitas masyarakat, serta mendukung aktivitas ekonomi di wilayah tersebut. Robohnya Jembatan Perawang pada Agustus 2023 menyebabkan terputusnya akses antara kedua desa dan mengganggu mobilitas serta perekonomian warga setempat. Jembatan ini merupakan infrastruktur vital bagi warga

Desa Bandul, Desa Selat Akar, dan beberapa desa di Kecamatan Merbau dan Tasik Putripuyu. Selain itu, jembatan ini juga menjadi akses utama warga Kepulauan Meranti untuk bepergian ke Kabupaten Bengkalis.

Pemerintah Provinsi Riau telah menetapkan pembangunan kembali Jembatan Perawang sebagai prioritas utama dalam anggaran tahun 2024. Proyek ini dianggarkan sebesar Rp 36.700.000.000 dengan pengawasan pembangunan sebesar Rp 661.000.000. Pembangunan kembali jembatan ini menggunakan Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) murni tahun 2024 dan berada di bawah pengawasan Dinas Pekerjaan Umum, Penataan Ruang, dan Perumahan Kawasan Permukiman Pertanahan (PUPR-PKPP) Provinsi Riau. Detail Engineering Design (DED) untuk proyek ini telah disusun menggunakan APBD Perubahan Provinsi Riau tahun 2023.

Namun, dalam pelaksanaan pembangunan Jembatan Perawang, terdapat potensi risiko keterlambatan yang dapat menghambat penyelesaian proyek sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan. Keterlambatan pembangunan dapat berdampak signifikan terhadap biaya, waktu, dan kualitas dari proyek. Berbagai penelitian menyoroti efek merugikan dari keterlambatan, seperti penurunan kualitas kerja, peningkatan risiko kecelakaan kerja, dan dilema etika profesional bagi manajer (Kim & Bilbao, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa keterlambatan adalah masalah umum dan kompleks yang mempengaruhi kinerja proyek, dengan faktor-faktor seperti manajemen yang buruk, tenaga kerja yang terbatas, dan komunikasi yang buruk berkontribusi pada penundaan (Mejía et al., 2023; Vazquez et al., 2023). Setiap pelaksanaan proyek konstruksi tidak terlepas dari unsur risiko yang merupakan kejadian tidak pasti dan dapat berdampak positif maupun negatif terhadap sebuah proyek. Apabila risiko terjadi dalam pelaksanaan sebuah proyek maka akan menyebabkan terganggunya kinerja proyek baik dari segi kinerja pekerja, kinerja keuangan dan kinerja waktu (Zamroni et al., 2021). Permasalahan dan tantangan utama yang sering muncul dalam proyek konstruksi berkaitan dengan keterlambatan proyek dan masih banyak yang harus diatasi untuk mencapai hampir nol keterlambatan di semua proyek konstruksi (Sepasgozar et al., 2019). Keterlambatan pelaksanaan proyek konstruksi dapat menimbulkan dampak yang buruk bagi kontraktor dan *owner*. Kontraktor pelaksana proyek konstruksi yang mengalami keterlambatan akan mengalami kerugian dari segi waktu dan biaya sehingga keuntungan yang diharapkan kontraktor akan berkurang atau bahkan tidak mendapatkan keuntungan sama sekali. Sedangkan bagi *owner*, keterlambatan penyelesaian proyek dapat menyebabkan kerugian terhadap waktu operasi hasil proyek sehingga penggunaan hasil proyek akan terlambat (Ismael, 2013).

Penundaan pengambilan keputusan oleh pemangku kepentingan juga secara signifikan menghambat kemajuan proyek, yang mengarah pada konsekuensi negatif pada kinerja proyek (Khahro et al., 2023). Selain itu, keterlambatan penyelesaian kegiatan dapat mengakibatkan jadwal dan pembengkakan biaya, menekankan pentingnya mengatasi penundaan segera untuk memastikan keberhasilan pelaksanaan proyek. Dengan memahami dan mengurangi akar penyebab keterlambatan, pemangku kepentingan dapat meningkatkan hasil proyek dan kepuasan pemangku kepentingan. Oleh karena itu, diperlukan upaya mitigasi yang efektif untuk mengelola risiko-risiko tersebut. Simulasi monte carlo merupakan salah satu metode yang relatif banyak digunakan dalam memecahkan masalah yang berkaitan dengan ketidakpastian terutama sistem yang dapat diperbaiki (Han, 2019). Metode Monte Carlo adalah simulasi probabilitas yang digunakan untuk memahami dampak risiko dan ketidakpastian dari peramalan perspektif keuangan dan waktu skenario terbaik dan terburuk (Traynor, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi risiko keterlambatan pembangunan Jembatan Perawang di Kecamatan Tasik Putripuyu dan mengembangkan strategi mitigasi yang sesuai menggunakan Simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi, mengukur, dan mengelola risiko-risiko dalam proyek konstruksi. Ini dapat diterapkan pada berbagai skenario, seperti menilai probabilitas kegagalan bendungan karena perubahan laju aliran sungai (Alberts & Marques Filho, 2023), mensimulasikan sistem yang sepenuhnya terbuka dengan parameter kontrol seperti potensi kimia dan suhu (Latella et al., 2021), mengevaluasi dampak ekonomi kutipan OSHA terkait dengan pelanggaran COVID-19 di sektor konstruksi (Sadeh et al., 2023), menguji model probabilistik proses pengukuran untuk penilaian risiko dalam pengendalian kualitas produk (Toczek & Smulko, 2021), dan menganalisis implikasi peristiwa force majeure seperti pandemi pada proyek konstruksi untuk dikembangkan kerangka kerja bimbingan risiko untuk para profesional (Chadee et al., 2023). Dengan memanfaatkan simulasi Monte Carlo, pemangku kepentingan konstruksi dapat lebih memahami dan mengurangi risiko yang tidak terduga, membuat keputusan berdasarkan informasi, dan meningkatkan hasil proyek.

Pertanyaan-pertanyaan yang ingin dijawab dalam penelitian ini adalah: Apa saja faktor-faktor penyebab keterlambatan pembangunan jembatan Perawang? Bagaimana hasil analisis risiko keterlambatan pembangunan jembatan Perawang menggunakan simulasi Monte Carlo? Serta strategi mitigasi apa saja yang dapat diterapkan untuk mengurangi risiko keterlambatan pembangunan jembatan Perawang? Dengan mengidentifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan, melakukan analisis risiko, serta mengembangkan strategi mitigasi yang sesuai, diharapkan penelitian ini dapat memberikan solusi yang komprehensif untuk mengelola risiko keterlambatan pada pembangunan jembatan Perawang.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh informasi yang komprehensif tentang faktor-faktor penyebab keterlambatan pembangunan Jembatan Perawang, serta strategi mitigasi yang dapat diterapkan untuk meminimalkan risiko dan memastikan penyelesaian proyek sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan. Hasil

penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pihak-pihak yang terlibat dalam proyek pembangunan Jembatan Perawang, serta menjadi referensi bagi penelitian-penelitian serupa di masa depan.

2. METODE

Pendekatan penelitian ini menggunakan metode campuran, yang menggabungkan penelitian kualitatif dan kuantitatif untuk memecahkan masalah (Creswell, 2011). Model yang digunakan adalah *exploratory sequential design*, dimulai dengan pengumpulan data kualitatif, diikuti oleh data kuantitatif untuk identifikasi risiko. Dalam *Schedule Risk Analysis*, analisis risiko dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif berdasarkan standar manajemen risiko dari PMBOK 2017 (Project Management Institute, 2017).

Lokasi penelitian terletak di Kecamatan Tasik Putripuyu, Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Riau, Indonesia, di mana jembatan ini menjadi infrastruktur vital bagi masyarakat lokal. Data primer dikumpulkan melalui wawancara, diskusi mendalam dengan pakar dan tim proyek, serta survei lapangan. Sedangkan data sekunder diperoleh melalui studi literatur dan analisis dokumentasi terkait. Analisis data kualitatif menggunakan pendekatan tema, sementara data kuantitatif dianalisis menggunakan simulasi Monte Carlo untuk mengevaluasi risiko keterlambatan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam tentang penyebab keterlambatan proyek pembangunan jembatan serta rekomendasi mitigasi yang efektif bagi pihak terkait.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penyebab Keterlambatan Pembangunan Jembatan Perawang

Hasil identifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan pembangunan jembatan Perawang menunjukkan ada 12 faktor utama, antara lain: perubahan desain oleh pemilik, keterlambatan persetujuan dokumen oleh pemilik, kurangnya koordinasi antar pemangku kepentingan, keterlambatan pengadaan material, kekurangan tenaga kerja, kondisi cuaca buruk, masalah perizinan, gangguan keamanan di lapangan, masalah keuangan kontraktor, kesalahan perencanaan, produktivitas peralatan rendah, serta keterlambatan pembebasan lahan.

Berbagai faktor berkontribusi terhadap keterlambatan proyek pembangunan jembatan umumnya adalah faktor lingkungan, masalah keuangan, perubahan selama implementasi, perencanaan yang lemah, penjadwalan yang tidak efektif, kurangnya pengalaman di antara kontraktor, komunikasi yang buruk, kondisi bawah tanah yang berbeda, lalu lintas padat, dan kualitas kontrol proyek yang rendah diidentifikasi sebagai faktor kunci yang menyebabkan penundaan (Frederic & Irechukwu, 2023; Abidin et al., 2019; Hetal & Tushar, 2018; Venkateswaran & Murugasan, 2017; Kim & Bilbao, 2023). Terjadinya keterlambatan tidak selalu disebabkan oleh pelaku konstruksi di lapangan, banyak aspek yang menjadi faktor dan *variable risiko* keterlambatan, bila dilihat dari keseluruhan siklus dan tahapan penyelenggaraan proyek, mulai dari awal sampai dengan berakhirnya proyek (Simanjuntak, 2020). Dalam manajemen proyek, perencanaan menjadi aspek yang sangat penting dalam suatu proyek pembangunan. Suatu perencanaan diperlukan dan dipergunakan sebagai pedoman dalam melaksanakan proyek sehingga proyek dapat dilaksanakan dengan waktu yang efisien. Perencanaan menjadi aspek yang sangat penting dalam manajemen proyek karena memainkan peran utama dalam keberhasilan serta tingkat pendapatan proyek (Setiawan et al., 2021).

Selain itu, keterlambatan dalam proyek infrastruktur secara umum dikaitkan dengan praktik manajemen proyek yang buruk, kekurangan sumber daya, dan pembengkakan biaya, menekankan kekritisan mengidentifikasi dan mengatasi alasan keterlambatan (Venkateswaran & Murugasan, 2017). Para ahli juga menyoroti bahwa penundaan konstruksi dapat berasal dari periode konstruksi awal yang singkat, kesalahan desain, dan pengerjaan ulang, yang berdampak pada kualitas kerja, risiko keselamatan, dan dilema etika profesional (Kim & Bilbao, 2023). Memahami faktor-faktor ini dan menerapkan langkah-langkah seperti kontrol kualitas menyeluruh dan meninjau dokumen desain dapat membantu mengurangi keterlambatan dalam proyek konstruksi jembatan. Mitigasi Risiko merupakan tindakan atau penanggulangan terhadap risiko yang terjadi selama siklus proyek berlangsung. Penanggulangan yang dilakukan bukan berarti untuk menghilangkan risiko yang terjadi namun meminimalisir frekuensi dan konsekuensi risiko yang terjadi (Jaya et al., 2019). Analisis risiko merupakan suatu proses dari identifikasi dan penilaian (*assessment*), sedangkan manajemen risiko adalah respon dan tindakan yang dilakukan untuk memitigasi serta mengontrol risiko yang telah dianalisis (Hartanto dkk, 2018). Manajemen Risiko (*Risk management*) merupakan proses mengidentifikasi, memantau dan mengelola risiko potensial untuk meminimalkan dampak negatif yang ditimbulkan terhadap suatu organisasi. Risiko itu sendiri merupakan suatu kemungkinan terjadinya sesuatu yang buruk atau hilangnya sesuatu yang bernilai. Dalam dunia bisnis, risiko merupakan hal yang harus dipertimbangkan secara mendalam agar tujuan perusahaan dapat tercapai. Dengan begitu perlu dilakukannya manajemen risiko terlebih dahulu agar risiko dapat teratasi. Menurut Rumpuin (2020), tahapan-tahapan untuk melakukan manajemen risiko menurut adalah sebagai berikut; merencanakan manajemen risiko (*Plan risk management*); mengidentifikasi risiko

(Identify the risk); menganalisis risiko (Analysis risk); merencanakan respon risiko (Plan risk responses); mengimplementasi respon risiko (Implement risk responses); dan melacak risiko (Monitor risk).

Banyak faktor penyebab keterlambatan yang tidak tertangani dengan tepat, seringkali terjadi keterlambatan pekerjaan karena tidak tersedianya material di lapangan sehingga pekerjaan menjadi tertunda, kurangnya koordinasi antar tim kerja membuat pekerjaan tidak efektif, tidak lengkapnya dokumen izin kerja yang mengakibatkan izin kerja harian lambat mendapat persetujuan dari pemilik fasilitas merupakan sebagian kecil penyebab terlambatnya pekerjaan proyek (Arvin, 2019). Faktor keterlambatan proyek akan dikelompokkan berdasarkan persepsi Kontraktor, Klien dan PMC. Setiap faktor keterlambatan proyek akan dianalisa berdasarkan jenis faktor keterlambatannya, yaitu: Keuangan; Teknis; dan Koordinasi. Disimpulkan bahwa jenis faktor delay "keuangan" adalah masalah yang menyebabkan keterlambatan proyek menurut persepsi "Klien". Ketika jenis faktor keterlambatan "Teknis" merupakan penyebab dominan keterlambatan menurut Kontraktor dan PMC. Untuk jenis faktor delay "Koordinasi" menjadi pertimbangan utama untuk penyebab keterlambatan proyek bagi Kontraktor (Asmi & Djamaris, 2021). Keterlambatan dalam proyek konstruksi dianggap sebagai salah satu masalah paling umum yang menyebabkan banyak efek negatif pada proyek dan pihak yang berkontrak. Keterlambatan dapat menyebabkan kerugian terhadap perekonomian, pembengkakan biaya, perselisihan, arbitrase, proyek terbengkalai, dan kualitas proyek yang rendah (Sajiah, 2020). Kinerja keselamatan yang buruk bertanggung jawab sebagian untuk penurunan kualitas kerja dan produktivitas karyawan yang diamati dan peningkatan biaya proyek dan waktu penyelesaian. Itu industri arsitektur, konstruksi, dan teknik (ACE) harus mengadopsi dan menerapkan praktik keselamatan inovatif dengan kapasitas total yang tinggi sepanjang siklus hidup proyek untuk meningkatkan kinerja keselamatan dalam konstruksi. (Okpala et al., 2020)

3.2. Analisis Risiko dengan Simulasi Monte Carlo

Analisis risiko dalam konstruksi jembatan dapat dilakukan secara efektif menggunakan Monte Carlo Simulation (MCS) untuk menilai keandalan struktur (Ni et al., 2023; Chen et al., 2023; Pokorádi, 2022). MCS membantu dalam memperkirakan probabilitas kegagalan langka di bawah berbagai beban, seperti beban statis, bergerak dinamis, dan seismik, meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam analisis reliabilitas (Ni et al., 2023). Dengan mensimulasikan distribusi beban dan resistansi, MCS memungkinkan penentuan keandalan jembatan berdasarkan keadaan batas akhirnya, berkontribusi pada keselamatan dan keberlanjutan dalam sistem transportasi (Yilmaz et al., 2022). Selain itu, MCS dapat memprediksi penjadwalan untuk kegiatan konstruksi jembatan gantung, dengan tingkat akurasi tinggi, membantu mitigasi risiko dan manajemen proyek (Santony, 2020). Secara keseluruhan, penerapan MCS dalam proyek konstruksi jembatan memberikan wawasan berharga tentang faktor risiko, implikasi biaya, dan strategi untuk mengurangi risiko, memastikan keberhasilan penyelesaian proyek infrastruktur.

Simulasi monte carlo ini merupakan salah satu metode yang relatif banyak digunakan dalam memecahkan masalah yang berkaitan dengan ketidakpastian terutama sistem yang dapat diperbaiki (Han, 2019). Metode Monte Carlo adalah simulasi probabilitas yang digunakan untuk memahami dampak risiko dan ketidakpastian dari peramalan perspektif keuangan dan waktu skenario terbaik dan terburuk (Traynor, 2019). Hasil analisis risiko menggunakan simulasi Monte Carlo mengindikasikan bahwa probabilitas keterlambatan penyelesaian proyek melebihi 30 hari adalah sebesar 65%. Faktor-faktor yang berkontribusi signifikan terhadap risiko keterlambatan adalah perubahan desain oleh pemilik, keterlambatan persetujuan dokumen, serta masalah keuangan kontraktor. Simulasi juga menunjukkan bahwa potensi tambahan biaya akibat keterlambatan dapat mencapai 15% dari anggaran awal proyek. Temuan ini sejalan dengan penyebab umum keterlambatan dalam proyek konstruksi, seperti manajemen proyek yang buruk, perubahan desain, dan masalah keuangan, seperti yang disorot dalam tinjauan literatur (Lokeshwaran & Bharath, 2023). Selain itu, studi tentang penundaan aktivitas menunjukkan bahwa setelah memperhitungkan faktor risiko, penundaan mengikuti distribusi log-normal, menekankan adanya pola yang mendasari dalam penundaan proyek (Vazquez et al., 2023). Simulasi juga memproyeksikan potensi biaya tambahan hingga 15% dari anggaran awal karena penundaan ini, menggarisbawahi dampak keuangan dari gangguan jadwal pada hasil proyek (Zhang & Wang, 2023).

Hasil penelitian Arvin et al (2019) menunjukkan bahwa simulasi monte carlo dengan program @Risk mampu mengestimasi total durasi pelaksanaan proyek untuk memperoleh hasil yang mendekati akurat. Hasilnya menunjukkan bahwa setelah dilakukan mitigasi terhadap faktor risiko keterlambatan pada tingkat probabilitas 80% (P80) estimasi total pekerjaan adalah 218 hari dan mengalami percepatan waktu sebesar 17,34%. Hasil penelitian Erviani & Nurcahyo (2023) menunjukkan bahwa berdasarkan Simulasi Monte Carlo yang telah dilakukan maka ditemukan tiga kemungkinan durasi dalam proyek pembangunan Gudang Marunda yaitu 1) Durasi pesimis atau durasi paling lama proyek dapat diselesaikan berdasarkan hasil simulasi sejumlah 107 hari dimana kemungkinan terjadinya sebesar 94,87%. 2) Durasi optimis atau durasi tercepat proyek dapat diselesaikan akan memakan waktu selama 91 hari dengan persentase terjadinya sebesar 11,17%. 3) Durasi yang paling mungkin atau durasi rata-rata (mean) berdasarkan simulasi adalah selama 97 hari dengan persentase kemungkinan terjadi sebesar 51,9%.

Sedangkan, Durasi yang direncanakan secara deterministik sejumlah 98 hari memiliki persentase kemungkinan sebesar 60,03%. Hasil simulasi durasi probabilistik ini memiliki jumlah hari yang serupa dengan perencanaan durasi secara deterministik yang telah dilakukan pada proyek pembangunan Gudang Marunda. Selanjutnya penelitian Agustin et al (2023) menunjukkan bahwa dari perhitungan simulasi metode monte carlo menghasilkan nilai maksimum dan minimum dari semua parameter dalam Konsep Nilai Hasil, dan mendapatkan hasil analisis probabilitas dari nilai BCWS, maksimum, minimum. Yaitu nilai Probabilitas Bcws adalah 13,97%, Bcws Min sebesar 10,1851%, dan Bcws Max sebesar 17,7667% pada akhir periode peninjauan. Berdasarkan pelaporan pada minggu terakhir nilai CV pada akhir peninjauan adalah -3,178% dimana terjadi biaya aktual yang lebih banyak atau kontraktor mengalami keuntungan selama pelaporan proyek berlangsung

3.3. Pengujian Deformasi

Berdasarkan hasil analisis tersebut, peneliti mengembangkan beberapa strategi mitigasi risiko yang dapat diterapkan, antara lain: 1) Meningkatkan koordinasi dan komunikasi yang efektif antar pemangku kepentingan; 2) Memperkuat perencanaan dan pengendalian proyek, termasuk penjadwalan yang realistis; 3) Mengalokasikan anggaran kontingensi yang memadai untuk mengantisipasi risiko; 4) Memperbaiki manajemen keuangan kontraktor melalui sistem pembayaran yang lebih baik; 5) Mempersiapkan rencana penanganan cuaca buruk dan gangguan keamanan; serta 6) Mempercepat proses perizinan dan pembebasan lahan.

Strategi mitigasi untuk mengurangi risiko penundaan pembangunan jembatan dapat mencakup penerapan kembar digital inovatif (DT) melalui Building Information Modeling (BIM) untuk pemantauan waktu nyata dan penilaian kondisi Kaewunruen, 2023. Selain itu, penggunaan klausul force majeure dalam kontrak konstruksi dapat membantu mengelola penundaan dan pembengkakan biaya karena peristiwa tak terduga seperti pandemi, seperti COVID-19, dengan memberikan perpanjangan waktu kepada kontraktor (Chadee et al., 2023). Selanjutnya, aplikasi strategis metode seismologi real-time, seperti yang dieksplorasi dalam Proyek REAKT, dapat mengoptimalkan kinerja struktur kritis seperti jembatan kabel dan jembatan gantung, meningkatkan ketahanannya terhadap potensi risiko gempa bumi dan meminimalkan penundaan konstruksi (Cauzzi et al., 2016). Dengan mengintegrasikan pendekatan ini, profesional konstruksi dapat secara proaktif mengatasi dan mengurangi berbagai faktor yang dapat menyebabkan keterlambatan dalam proyek konstruksi jembatan.

Implementasi strategi mitigasi ini secara komprehensif diharapkan dapat mengurangi probabilitas dan dampak risiko keterlambatan pembangunan jembatan Perawang. Selain itu, pendekatan yang sistematis dalam manajemen risiko proyek konstruksi dapat dijadikan contoh bagi proyek-proyek serupa di masa mendatang. Temuan dan rekomendasi penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dan praktis dalam upaya meningkatkan keberhasilan proyek-proyek konstruksi serupa di masa depan.

4. KESIMPULAN

Kesimpulannya, penelitian ini mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor penyebab keterlambatan pembangunan Jembatan Perawang, serta mengembangkan strategi mitigasi menggunakan Simulasi Monte Carlo. Hasil menunjukkan bahwa perubahan desain, persetujuan dokumen, dan masalah keuangan kontraktor berkontribusi signifikan terhadap risiko keterlambatan. Simulasi menunjukkan potensi keterlambatan lebih dari 30 hari dengan kemungkinan tambahan biaya hingga 15% dari anggaran awal. Strategi mitigasi yang direkomendasikan meliputi peningkatan koordinasi antar pemangku kepentingan, perencanaan proyek yang lebih baik, dan pengelolaan risiko cuaca serta keamanan. Implementasi langkah-langkah ini diharapkan dapat mengurangi risiko keterlambatan dan meningkatkan keberhasilan proyek infrastruktur serupa di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih. Kepada Prof. Dr. Ir. Ari Sandhyavitri, M.Sc selaku pembimbing pertama, dan bapak Dr. Ir. Manyuk Fauzi, S.T., M.T., IPM selaku pembimbing dua yang telah membantu dalam penulisan tesis dan artikel saya. Selanjutnya saya ucapkan terima kasih kepada fakultas Teknik Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah memberikan kesempatan kepada penulis sehingga bisa mengikuti seminar nasional ini. Ucapan terima kasih penulis kepada fakultas teknik sipil,, dosen dan staf yang berada pada lingkup Universitas Rau yang membantu penulis untuk menyelesaikan karya tulis ilmiah ini, sehingga bisa berkesempatan mengikuti seminar nasional yang diselenggarakan oleh Institut teknologi yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M., Widyaningsih, N., & Bintoro, B. P. K. (2019). Factors for Delay in LRT Bridge Structure Work. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*, 5(7), 110–117. <https://doi.org/10.31695/ijerat.2019.3541>
- Agustin, C. E., Soetjipto, J. W., & Hasanudin, A. (2023). Probabilitas Ketepatan Biaya Dan Waktu Dengan Metode Monte Carlo Pada Konsep Earned Value Untuk Proyek Jalan. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 4(1), 42–47. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.151>
- Alberts, R., & Marques Filho, J. (2023). The increase in streamflows and its impact on the probability of failure by sliding of the Santa Clara HPP dam using Monte Carlo method. *Applied Water Science*, 13(7), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01962-x>
- Arvin, A., Sandhyavetri, A., & Ikhsan, M. (2018). Mitigasi Risiko Keterlambatan Proyek Perbaikan Tangki Minyak Mentah Di Duri Dengan Simulasi Monte Carlo. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 17(2), 49. <https://doi.org/10.31258/jst.v17.n2.p49-55>
- Cauzzi, C., Gasparini, P., Wiemer, S., & Zschau, J. (2016). Preface to the special issue “Strategic applications of real-time risk mitigation strategies and tools: case studies and lessons learned in REAKT.” *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14(9), 2437–2439. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9966-8>
- Chadee, A. A., Gallage, S., Martin, H. H., Rathnayake, U., Ray, I., Kumar, B., & Sihag, P. (2023). Minimizing Liability of the COVID-19 Pandemic on Construction Contracts—A Structural Equation Model for Risk Mitigation of Force Majeure Impacts. *Buildings*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/buildings13010070>
- Chen, Y.-T., Yang, Y.-Y., & Chen, Y.-H. (2023). Assessing the COVID-19 Impact of Projects under Construction with Monte Carlo Simulation. *Architecture*, 3(2), 175–194. <https://doi.org/10.3390/architecture3020011>
- Creswell, J. W. (2011). *Research Design Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed*. Pustaka Pelajar.
- Erviani, R. N. D. E., & Nurcahyo, C. B. (2023). Analisis Penjadwalan Proyek Pembangunan Gudang Marunda Menggunakan Simulasi Monte Carlo. *Jurnal Teknik ITS*, 12(2).
- Fahmi, A. (2022). Volume . 19 Issue 2 (2022) Pages 468-474 AKUNTABEL : Jurnal Akuntansi dan Keuangan ISSN : 0216-7743 (Print) 2528-1135 (Online) Efek spasial infrastruktur terhadap pertumbuhan ekonomi. 2(2), 468–474. <https://doi.org/10.29264/jakt.v19i2.10934>
- Fosu, P., & Twumasi, M. A. (2022). Infrastructure and economic growth: Evidence from the United States. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 6(1), 1–13. <https://doi.org/10.24294/jipd.v6i1.1419>
- Frederic, H., & Irechukwu, E. N. (2023). Factors Affecting Cost and Execution Period of Trail Bridge Construction Project in Nyamagabe District, Rwanda. *Journal of Entrepreneurship & Project Management*, 7(5), 21–44. <https://doi.org/10.53819/81018102t5192>
- Hetal, P., & Tushar, M. (2018). Study of Time Delays in Bridge Construction with Specific Context to Delay in Design Approval & Design Changes. 7(04), 431–442. www.ijert.org
- Ismael, I. (2013). Keterlambatan Proyek Konstruksi Gedung Faktor Penyebab dan Tindakan Pencegahannya. *Jurnal Momentum*, 14(1), 46–56. <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/momentum/article/view/25>
- Jaya, I. N. M., Sudarsana, D. K., & Wiratni, G. A. K. I. (2019). Manajemen Risiko Terhadap Pelaksanaan Proyek Konstruksi Hotel di Kawasan Sarbagita. *Jurnal Spektran*, 7(1), 51–57.
- Khahro, S. H., Shaikh, H. H., Zainun, N. Y., Sultan, B., & Khahro, Q. H. (2023). Delay in Decision-Making Affecting Construction Projects: A Sustainable Decision-Making Model for Mega Projects. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/su15075872>
- Kim, J., & Bilbao, P. (2023). Why Are the Frequently Reported Delay Factors in Construction Projects Recurring?: A Qualitative Study. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 14(1), 21–31. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2023.14.01.003>
- Latella, I., Campa, A., Casetti, L., Di Cintio, P., Rubi, J. M., & Ruffo, S. (2021). Monte Carlo simulations in the unconstrained ensemble. *Physical Review E*, 103(6), 1–5. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.103.L061303>
- Lokeshwaran M, & Aswin Bharath A. (2023). A Literature Review on Developing Causes and Mitigation Strategies of Delay in Construction Projects: Gaps Between Owners and Contractors in Successful and Unsuccessful Projects. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 3(2), 822–830. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-8925>
- Mejía, G., Sánchez, O., Castañeda, K., & Pellicer, E. (2023). Stakeholders’ issues as a source of project delays: a meta-analy-sis between building and road projects. *Revista de La Construcción*, 22(1), 51–73. <https://doi.org/10.7764/RDLC.22.1.51>

- Ni, P., Li, J., & Hao, H. (2023). Reliability analysis of bridges under different loads using polynomial chaos and subset simulation. *Earthquake Engineering and Resilience*, 2(2), 163–179. <https://doi.org/10.1002/eer2.42>
- Okpala, I., Nnaji, C., & Karakhan, A. A. (2020). Utilizing Emerging Technologies for Construction Safety Risk Mitigation. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(2), 04020002. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)sc.1943-5576.0000468](https://doi.org/10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000468)
- Olaoye, O. O. (2023). Facilitating Economic Growth by Leveraging on Infrastructure Development. *Journal of Economics, Finance and Management Studies*, 06(05), 2382–2399. <https://doi.org/10.47191/jefms/v6-i5-59>
- Pokorádi, L. (2022). Monte-Carlo Simulation-based Analysis of Bridge Structure Systems' Reliability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1237(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1237/1/012004>
- Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (Sixth)*. PA: Project Management Institute.
- Sadeh, H., Mirarchi, C., Shahbodaghlou, F., & Pavan, A. (2023). Predicting the trends and cost impact of COVID-19 OSHA citations on US construction contractors using machine learning and simulation. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(8), 3461–3479. <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2021-0953>
- Sajiah, F. S. (2020). PENYEBAB KETERLAMBATAN PENYELESAIAN PROYEK KONTRAK TAHUN JAMAK Causes of Multi Years Contract Project Delay. *Jurnal Anggaran Dan Keuangan Negara Indonesia (AKURASI)*, 2(2). <https://anggaran.e-journal.id/akurasi>
- Santony, J. (2020). Simulasi Penjadwalan Proyek Pembangunan Jembatan Gantung dengan Metode Monte Carlo. *Jurnal Informasi & Teknologi*, 2, 36–42. <https://doi.org/10.37034/jidt.v2i1.34>
- Sepasgozar, S. M. E., Karimi, R., Shirowzhan, S., Mojtahedi, M., Ebrahimzadeh, S., & McCarthy, D. (2019). Delay causes and emerging digital tools: A novel model of delay analysis, including integrated project delivery and PMBOK. In *Buildings* (Vol. 9, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/buildings9090191>
- Setiawan, D. C., Ridwan, A., & Suwarno, S. (2021). Optimalisasi Penjadwalan Proyek Pembangunan Gedung Puskesmas Badas Menggunakan Critical Path Method-Project Evaluation and Review Technique (CPM-PERT). *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 4(2), 71. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v4i2.2011>
- Simanjuntak, M., & Salim, A. (2020). Analisis Pilot Project Risiko Keterlambatan Proyek Pilot Project Analysis of Project Delay Risk. *SNITT- Politeknik Negeri Balikpapan*, 401–410.
- Toczek, W., & Smulko, J. (2021). Risk analysis by a probabilistic model of the measurement process. *Sensors*, 21(6), 1–15. <https://doi.org/10.3390/s21062053>
- Vazquez, A., Marasinou, C., Kalogridis, G., & Ellinas, C. (2023). The law of activity delays. 1–10.
- Venkateswaran, C. B., & Murugasan, R. (2017). Time delay and cost overrun of road over bridge (ROB) construction projects in India. *Journal of Construction in Developing Countries*, 22(November), 79–96. <https://doi.org/10.21315/jcdc2017.22.suppl.5>
- Yilmaz, M. F., Ozakgul, K., & Caglayan, B. O. (2022). Simulation-Based Reliability Analysis of Steel Girder Railway Bridges. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 17(3), 44–65. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2022-17.568>
- Zamroni, Z., Almufid, A., Zulaecha, H. E., & Sari, R. M. (2021). Risiko Terhadap Kinerja, Biaya Dan Waktu Proyek Risks To Project Performance, Cost and Time. *Jurnal Teknik*, 10(1), 47–58. <https://doi.org/10.31000/jt.v10i1.4027>
- Zhang, S., & Wang, X. (2023). Quantifying Schedule Delay Risk in Construction Projects: A Data-Driven Approach with BIM and Probabilistic Reliability Analysis. *Advances in Civil Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/5525655>