

## Analisis Risiko, Waktu dan Biaya dengan Simulasi Monte Carlo pada Lanjutan Rekonstruksi Bendung/ Cek Dam Sungai Limau 2024

Mayuli<sup>1\*</sup>, Bambang Istijono<sup>2</sup> & Herix Sonata<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang – 25 143, Indonesia

Email: [2022250026.mayuli@itp.ac.id](mailto:2022250026.mayuli@itp.ac.id)

Dikirim: 11 November 2024

Direvisi: 13 Januari 2025

Diterima: 16 Januari 2025

### ABSTRAK

Pada setiap tahapan-tahapan proses pekerjaan konstruksi memiliki risiko-risiko yang menjadi hambatan, yang berpengaruh terhadap durasi waktu pelaksanaan dan memiliki konsekuensi terhadap biaya. Penelitian ini menekankan cara identifikasi risiko yang memperoleh 10 faktor risiko terbagi menjadi 65 faktor risiko dan usaha-usaha mitigasi terhadap semua faktor risiko, untuk mengurangi hambatan yang mungkin terjadi, sehingga durasi waktu pekerjaan dan kerugian secara finansial bisa dihindari semaksimal mungkin. Untuk itu proses pekerjaan konstruksi dapat diantisipasi dengan membuat simulasi terhadap kemungkinan terjadinya risiko yang akan memperpanjang durasi waktu pekerjaan dengan metode Network Diagram (diperoleh jalur kritis berisi 10 aktivitas kritis serta durasi masing-masing) dan korelasinya terhadap biaya proyek khususnya Biaya Variabel. Dengan menggunakan data hasil survei terhadap 10 responden terpilih (Non-Probability Sampling) diperoleh skor *likelihood* dan *consequences* untuk mendapat probabilitas yang digunakan dalam Simulasi Monte Carlo untuk memprediksi risiko mana akan terjadi dan seberapa parah akibat risiko tersebut, serta analisis hubungan antara risiko dengan aktivitas kritis, sehingga dapat diperhitungkan kemungkinan kerugian tiap aktifitas kritis. Simulasi ini juga digunakan untuk memperhitungkan durasi waktu masing-masing aktivitas kritis, dengan menggunakan tiga durasi waktu, pesimis, *forecast*, dan optimis. Dengan probabilitas terjadinya risiko dan akibat terhadap durasi waktu pelaksanaan diperoleh nilai kerugian finansial (biaya) baik akibat probabilitas risiko dan keparahannya, serta keterlambatan waktu, serta perbandingan kerugian dengan mitigasi dan tanpa mitigasi risiko.

**Kata kunci:** identifikasi risiko, mitigasi risiko, simulasi *monte carlo*, kerugian proyek

### 1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi adalah yang terbelakang dalam hal pengembangan sistem penganalisis dan prediksi yang kompleks dalam menjalankan prosesnya, sementara industri lain sudah mencapai tingkat penggunaan sistem matematis yang jauh lebih kompleks dalam hal itu. Ketegantungan yang sangat tinggi terhadap kemampuan individu manajer proyek dalam mencapai keberhasilan proyek dan persaingan yang sangat tinggi memaksa para kontraktor hanya fokus pada kompetensi inti mereka. Banyak sekali contoh dari sejumlah besar proyek yang salah perhitungan yang menunjukkan bahwa perhitungan biaya (yang dianggap memadai) yang sudah dilakukan selama ini oleh para kontraktor tidaklah cukup. Perhitungan biaya tersebut harus mempertimbangkan selain biaya dasar juga kontinjensi, yang merupakan risiko proyek. Untuk ini, diperlukan sistem manajemen risiko yang diimplementasikan dengan baik dan lengkap dengan model matematika untuk analisis risiko (Sutikno & Arif Rohman, 2022)

Keberhasilan sebuah proyek konstruksi tentunya selalu dikaitkan dengan tiga hal yang biasa disebut *triple constraints*, yaitu biaya, waktu dan mutu. Di mana untuk dapat mencapai sasaran biaya yang efisien, ketepatan waktu pelaksanaan dan tercapai mutu yang diharapkan, adalah dengan mengelola risiko (Bahari et al., 2018). Para praktisi industri konstruksi percaya bahwa keberhasilan proyek sangat bergantung pada pengalaman manajer proyek yang diperoleh selama bertahun-tahun. Mereka percaya bahwa pengalaman tidak dapat dengan mudah ditransfer ke model matematika (Peleskei et al., 2015). Dalam proses manajemen risiko, analisis risiko dipandang sebagai komponen yang paling sulit, tetapi juga yang paling berguna. Proyek Lanjutan Rehabilitasi Bendung Cek Dam Sungai Limau 2024 telah dilakukan pada tahun sebelumnya dan tidak berhasil diselesaikan oleh kontraktor pelaksananya dan dilanjutkan pembangunannya pada tahun ini oleh kontraktor lainnya. Dengan tanpa mengevaluasi dan menjustifikasi penyebab kegagalan pada tahun sebelumnya, penelitian ini memilih proyek ini sebab akan lebih menguntungkan dalam hal jumlah responden yang lebih banyak, dengan *stakeholder* yang tahun lalu ditambah yang sekarang (Susilo, 2017).

Simulasi *Monte Carlo* merupakan simulasi probabilistik di mana pemecahan dari suatu masalah berdasarkan proses memberikan angka random. Proses random ini menggunakan distribusi probabilitas dari variabel data yang dikumpulkan berdasarkan data sebelumnya maupun distribusi probabilitas teoritis (Mudhofar & Agustin, 2024). Oleh karena itu, simulasi Monte Carlo dapat menjadi solusi untuk permasalahan ketidakpastian yang muncul dalam proyek. Keunggulan dari penggunaan simulasi Monte Carlo adalah kemampuannya dalam menganalisis kemungkinan ketidakpastian yang sering terjadi dalam proyek.

Penelitian ini mengidentifikasi, menganalisis, dan memitigasi risiko, dengan melakukan survei dan wawancara terhadap para ahli dan *stakeholder* proyek untuk memperoleh skor *likelihood* dan *consequences* serta verifikasi faktor risiko yang teridentifikasi. Dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo* untuk membuat prediksi terjadinya risiko dan dalam hubungannya dengan delay waktu pelaksanaan, untuk memperoleh perbandingan nilai kerugian proyek tanpa mitigasi dan setelah mitigasi risiko.

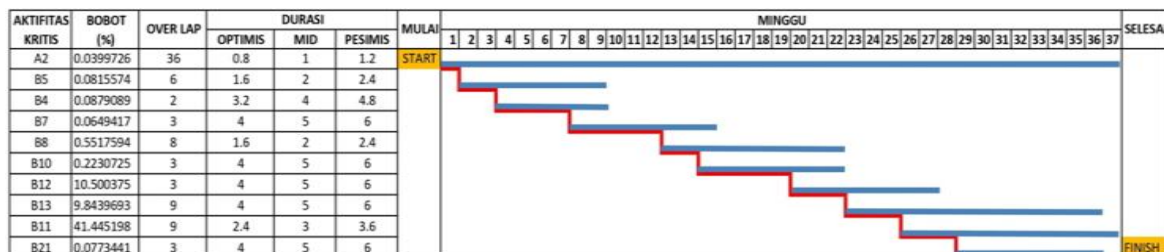
## 2. METODE PENELITIAN

Dengan melakukan identifikasi faktor risiko yang akan berpengaruh terhadap *delay* waktu pelaksanaan proyek, diperoleh 10 faktor risiko yaitu risiko terkait masalah disain, *external*, finansial, komunikasi, kontrak, material, peralatan, proyek, sehubungan dengan *site*, dan tenaga kerja, yang dijabarkan lagi menjadi 65 indikator. Selain itu juga dilakukan survei dengan menggunakan kuisioner dan wawancara. Dengan cara *nonrandom sampling* dipilih 10 responden, yang sekaligus memberikan masukan apakah faktor risiko dan indikator risiko yang teridentifikasi sudah relevan dengan kondisi proyek tersebut. Faktor dan indikator risiko dipaparkan pada Tabel 1. Selanjutnya dibuat *network* diagram dan menetapkan jalur kritis serta aktifitas kritisnya, menetapkan waktu pelaksanaan tiap aktifitas kritis dengan waktu optimis, waktu sesuai *forecast* perencanaan, dan waktu pesimis yang dipaparkan pada Gambar 1. Dengan mengabaikan jalur dan aktifitas lain penelitian ini fokus hanya pada aktifitas kritis yang terdapat pada jalur kritis (*critical path*) (Gambar 2).

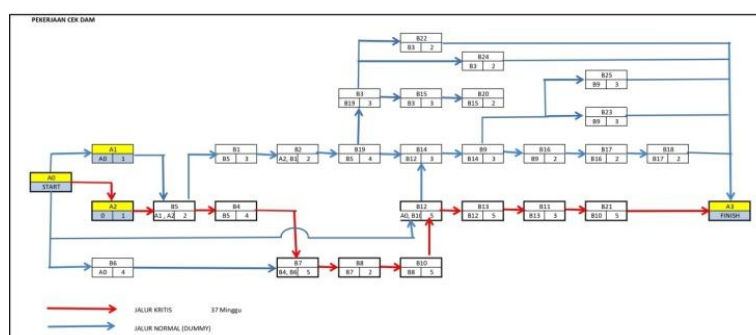
**Tabel 1.** Faktor dan indikator risiko

No	Kode	Faktor Risiko	Indikator Risiko
1	COM1	Komunikasi	Buruknya interaksi antar vendor pada tahap <i>engineering</i> dan pengadaan
2	COM2	Komunikasi	Kurangnya komunikasi antara pihak dalam proyek
3	COM3	Komunikasi	Struktur organisasi proyek yang kurang tepat
4	COM4	Komunikasi	Proses birokrasi yang berlebihan
5	COM5	Komunikasi	Kesulitan koordinasi antar pihak dalam proyek
6	COM6	Komunikasi	Buruknya dokumentasi pada proyek
7	COM7	Komunikasi	Lamanya pengambilan keputusan pada proyek
8	COM8	Komunikasi	Kurangnya penggunaan sistem informasi untuk berkomunikasi
1	DSN1	Desain	Terjadinya perubahan desain yang berulang-ulang
2	DSN2	Desain	Keterlambatan dalam menghasilkan dokumen desain
3	DSN3	Desain	Gambar desain yang tidak tepat
4	DSN4	Desain	Kompleksitas desain
5	DSN5	Desain	Pengumpulan data yang kurang lengkap saat survei
6	DSN6	Desain	Pengalaman tim desain yang kurang
7	DSN7	Desain	Tidak dipergunakannya software teroptimal dalam pembuatan desain
1	EXT1	Eksternal	Sulitnya memperoleh izin kerja menyangkut pihak ketiga
2	EXT2	Eksternal	Perubahan peraturan pemerintah
3	EXT3	Eksternal	Kondisi cuaca yang tidak mendukung untuk kegiatan operasi
4	EXT4	Eksternal	Permasalahan dengan penduduk sekitar
5	EXT5	Eksternal	Efek sosial dan permasalahan budaya setempat
6	EXT6	Eksternal	Terjadinya pencurian pada proyek
7	EXT7	Eksternal	Keterlambatan dalam inspeksi dan pengetesan oleh pihak ketiga
1	FIN1	Kuangan	Keterlambatan dalam proses pembayaran pekerjaan
2	FIN2	Kuangan	Kesulitan pembiayaan proyek oleh kontraktor
3	FIN3	Kuangan	Buruknya manajemen pengaturan kas proyek oleh pihak kontraktor
1	KON1	Kontrak	Adanya <i>change order</i> dan <i>variance order</i>
2	KON2	Kontrak	Adanya kesalahan dan perbedaan pada dokumen kontrak
3	KON3	Kontrak	Buruknya pendefinisian tahapan proses pembayaran
4	KON4	Kontrak	Jenis dan tipe kontrak yang tidak sesuai sifat proyek
5	KON5	Kontrak	Ketidakkonsistenan persyaratan pada kontrak
6	KON6	Kontrak	Spesifikasi teknis yang tidak konsisten
7	KON7	Kontrak	Pemberian proyek dengan metode penawar terendah
8	KON8	Kontrak	Ketidakmampuan mengatasi progres pekerjaan oleh penyedia jasa
1	MAT1	Material	Kekurangan jumlah material
2	MAT2	Material	Keterlambatan pengiriman material
3	MAT3	Material	Adanya fluktuasi harga material

No	Kode	Faktor Risiko	Indikator Risiko
4	MAT4	Material	Adanya perubahan spesifikasi material saat konstruksi
5	MAT5	Material	Keterbatasan jumlah material di pasaran
6	MAT6	Material	Rendahnya kualitas material
7	MAT7	Material	Terlambatnya pengajuan contoh dari material
9	MAT8	Material	Keterlambatan memulai order material long-lead
1	TOL1	Peralatan	Keterbatasan jumlah peralatan kerja
2	TOL2	Peralatan	Adanya peralatan yang rusak
1	PRJ1	Proyek	Pembatasan kerja di lapangan
2	PRJ2	Proyek	Utilitas air dan listrik yang tidak tersedia di tempat proyek
3	PRJ3	Proyek	Kecelakaan kerja selama konstruksi
4	PRJ4	Proyek	Adanya permasalahan dengan sub kontraktor
5	PRJ5	Proyek	Penambahan lingkup proyek
6	PRJ6	Proyek	Kesalahan dalam pendefinisian spesifikasi
7	PRJ7	Proyek	Laporan data tanah yang salah
8	PRJ8	Proyek	Pemberian gambar kerja yang tidak tepat waktu
9	PRJ9	Proyek	Adanya <i>rework</i> karena kesalahan eksekusi
10	PRJ10	Proyek	Perencanaan proyek yang tidak tepat
11	PRJ11	Proyek	Keterlambatan pada persetujuan gambar kerja dan contoh material
12	PRJ12	Proyek	Kurangnya pengalaman kontraktor dalam menangani proyek
13	PRJ13	Proyek	Kurangnya efektivitas pada pengawasan terhadap proyek
14	PRJ14	Proyek	Manajemen proyek yang kurang baik dari pihak kontraktor
1	SIT1	Site	Terjadinya interfensi kepada proyek oleh pemilik proyek pada lokasi proyek
2	SIT2	Site	Buruknya suvervisi dan manajemen lokasi
3	SIT3	Site	Peraturan <i>safety</i> yang tidak dipenuhi kontraktor
4	SIT4	Site	Adanya pemberhentian pekerjaan oleh pemilik proyek
1	WRK1	T Kerja	Kurangnya ketersediaan tenaga kerja
2	WRK2	T Kerja	Produktivitas tenaga kerja yang rendah
3	WRK3	T Kerja	Tenaga kerja yang kurang kompeten
4	WRK4	T Kerja	Kurangnya tenaga kerja yang berpengalaman



Gambar 1. Bar chart schedule



Gambar 2. Diagram network pekerjaan cek dam utama

Dari total biaya konstruksi fisik dipisahkan per item pekerjaan antara *fix cost* dengan *variable cost* namun karena penelitian ini fokus pada aktifitas kritis yang teridentifikasi dalam jalur kritis adalah 10 aktifitas kritis, maka hanya diperhitungkan *variable cost* masing-masing aktifitas kritis saja, yang dipakai untuk perhitungan selanjutnya (Tabel 2). Dengan perolehan skor *likelihood* hasil survey diperoleh nilai probabilitas masing-masing indikator risiko yang disimulasikan dengan metode *Monte Carlo* untuk mengetahui risiko berapa nilai peluang untuk terjadi (Bouayed, 2016).

**Tabel 2.** *Variable cost* tiap aktifitas kritis

Aktifitas Kritis	Variable Cost (Rp)
AK 1	48,000,000.00
AK 2	905,438.76
AK 3	28,055,733.75
AK 4	9,004,113.77
AK 5	11,158,500.00
AK 6	745,497,116.00
AK 7	219,325,176.00
AK 8	365,912,168.58
AK 9	99,704,540.40
AK 10	19,546,678.83

Sedangkan skor *consequences* dipakai untuk mengetahui kemungkinan besarnya dampak masing-masing risiko jika terjadi. Dengan simulasi *Monte Carlo* menggunakan tiga durasi waktu (optimis, forecast dan pesimis) masing-masing aktifitas kritis akan menghasilkan kemungkinan terjadinya keterlambatan (delay) yang dalam hari yang sesuai kontrak pekerjaan pemerintah dikenakan denda sebesar 1/1000/ hari, dapat dihitung kerugian akibat denda. Selanjutnya dilakukan identifikasi dan analisis upaya mitigasi terhadap risiko yang berakibat menggerser skor risiko dan mengubah kategori risiko dan kemudian mengulang lagi semua proses simulasi maka diperoleh hasil perhitungan kerugian sebelum mitigasi dan sesudah mitigasi.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Analisis berupa pengelompokan risiko berdasarkan skor yang diperoleh dari rumus berikut.

$$\text{Risiko} = \text{Likelihood} \times \text{Consequences} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk tiap-tiap indikator risiko sehingga dapat dikelompokkan sesuai *matriks risk rating* (Tabel 3). Berdasarkan hal tersebut diperoleh peta risiko dimana terdapat satu faktor risiko yang masuk dalam kategori ekstrim (Tabel 4-6).

**Tabel 3.** Risk Rating Matrix

		Consequences				
Likelihood	1	2	3	4	5	
	2	4	6	8	10	
	3	6	9	12	15	
	4	8	12	16	20	
	5	10	15	20	25	

**Tabel 4.** Peta risiko

		KATEGORI RISIKO			
		LOW	MEDIUM	HIGH	EXTREME
FAKTOR RISIKO	DSN		1-6-7	3-4-5	2
	EXT	2-5-6	4	1-3	
	FIN			1-2-3	
	COM	1-3-5-6-8	2-4-7		
	KON	7	1-2-3-4-6-8	5	
	MAT	3	2-4-5-6	1-7-8	
	TOL			1-2	
	PRJ	1-4-5-6	2-3-8-11-13-14	7-9-10-12	
	SIT		3	1-2-3-4	
	WRK		1-2	3-4	

Dengan diperolehnya hasil kuisioner tersebut maka dari masing-masing nilai indikator digabungkan menjadi nilai faktor risikonya, nilai rata-rata *likelihood* digunakan untuk memperoleh nilai probabilitas dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P(A) = n(A) / n(S) \dots\dots\dots (2)$$

$P(A)$  = Peluang Suatu Kejadian A

$n(A)$  = Banyaknya Kejadian A yang Diinginkan

$n(S)$  = Jumlah Total Kejadian Sampel

**Tabel 5.** *Probability dan severity faktor risiko*

No.	Faktor Risiko	Probability	Severity
1	Wrk	0.0445	0.0555
2	Mat	0.0427	0.0450
3	Tol	0.0555	0.0570
4	Ext	0.0482	0.0404
5	Prj	0.0384	0.0488
6	Kon	0.0391	0.0453
7	Sit	0.0508	0.0523
8	Com	0.0442	0.0329
9	Fin	0.0630	0.0458
10	Dsn	0.0540	0.0511

**Tabel 6.** *Sigma Probabiliti Untuk Aktifitas Kritis*

Variabel	$\Sigma(P)$
AK1	0.306247
AK2	0.300409
AK3	0.480429
AK4	0.298586
AK5	0.088762
AK6	0.426411
AK7	0.342817
AK8	0.194491
AK9	0.337683
AK10	0.396835

Dengan berbekal nilai probabilitas yang telah diperoleh untuk masing-masing aktifitas kritis maka dilakukan simulasi *monte carlo* dengan 10.000 (sepuluh ribu) iterasi, untuk memperoleh prediksi kemungkinan risiko terjadi pada aktifitas kritis. Dengan menggunakan persamaan berikut. Hasil dari perhitungan menggunakan persamaan tersebut di atas diperoleh probabilitas risiko terjadi untuk masing-masing aktifitas kritis (Tabel 7).

**Tabel 7.** *Probabilitas Aktifitas Kritis Terjadi*

Aktifitas Kritis	$\Sigma n(A) < P$	$\Sigma n(A)$	P (AK)
AK1	3,100 kali	10,000	31.00%
AK2	2,999 kali	10,000	29.99%
AK3	4,741 kali	10,000	47.41%
AK4	3,057 kali	10,000	30.57%
AK5	912 kali	10,000	9.12%
AK6	4,313 kali	10,000	43.13%
AK7	3,383 kali	10,000	33.83%
AK8	1,935 kali	10,000	19.35%
AK9	3,423 kali	10,000	34.23%
AK10	4,000 kali	10,000	40.00%

Dengan mengaitkan nilai probabilitas terjadinya aktivitas kritis (happened) dengan nilai konsekuensi (severity), diperoleh *Impact Factor* yang digunakan untuk melakukan kuantifikasi terhadap *Variable Cost* guna menentukan besarnya kerugian pada masing-masing aktivitas kritis.

IF =  $P(AK) \cdot Con$

IF = *Impact Factor*

$P(AK)$  = *Probability* risiko terjadi pada aktifitas kritis

Con = Rata-rata nilai *Consequences*

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas diperoleh besaran *Impact Factor* yang akan dipakai sebagai faktor untuk menghitung kerugian yang diderita oleh pihak kontraktor oleh sebab terjadinya risiko yang akan menghambat proses pekerjaan yang berada dalam jalur kritis. *Impact factor* ini dapat juga kita sebut dengan tingkat keparahan artinya seberapa besar atau seberapa parah dampak risiko yang ditimbulkan saat risiko benar-benar terjadi, dengan demikian maka sebagaimana yang telah dipaparkan sebelumnya tentang kerugian finansial suatu proyek hanya berdampak terhadap *variable cost* atau biaya tidak tetap. Maka dengan berbekal *impact factor* yang sudah dihitung dapat langsung dihubungkan dengan *variable cost* masing-masing Aktifitas Kritis sehingga kerugian dalam rupiah dapat dihitung seperti pada Tabel 8.

**Tabel 8.** *Impact factor dari probability dan consequences*

Aktifitas Kritis	Probability P (Ak)	Consequences (Con)	Impact Factor	Impact Factor	Variable Cost (Rp)	Kerugian (Rp)
AK1	31.00%	3.034425	0.929284	0.929284	48,000,000.00	44,605,624.85
AK2	29.99%	1.919048	0.5765	0.5765	905,438.76	521,985.09
AK3	47.41%	3.037718	1.459407	1.459407	28,055,733.75	40,944,733.91
AK4	30.57%	1.851825	0.55293	0.55293	9,004,113.77	4,978,642.03
AK5	9.12%	0.56875	0.050483	0.050483	11,158,500.00	563,319.00
AK6	43.13%	2.355575	1.004443	1.004443	745,497,116.00	748,809,253.20
AK7	33.83%	2.065575	0.708115	0.708115	219,325,176.00	155,307,342.49
AK8	19.35%	1.149861	0.223638	0.223638	365,912,168.58	81,831,811.08
AK9	34.23%	2.124147	0.717289	0.717289	99,704,540.40	71,516,929.34
AK10	40.00%	2.392718	0.949514	0.949514	19,546,678.83	18,559,849.02

Dari Tabel 8 terlihat perhitungan kerugian sebesar Rp 1.167.639.490,00 (satu milyar seratus enam puluh tujuh juta enam ratus tiga puluh sembilan ribu empat ratus sembilan puluh rupiah) akan diderita oleh kontraktor dan dana sebesar itu harus diusahakan oleh kontraktor sebagai dana kontingensi sebelum proyek dijalankan.

### 3.1 Prediksi Waktu Keterlambatan

Aktifitas kritis secara total jika dalam *forecast* dalam perencanaan sudah ditetapkan totalnya 37 minggu oleh karena itu masing-masing aktifitas kritis dapat ditetapkan pula *forecast* durasi waktu penyelesaiannya, dengan menggunakan metode CPM dapat ditetapkan durasi optimis dan durasi pesimis, di mana durasi pesimis merupakan selisih antara *Late Start* dengan *Late Finish*, sedangkan durasi optimis merupakan selisih antara *Early Start* dengan *Early Finish*, sehingga diperoleh. Dengan menggunakan metode Simulasi *Monte Carlo* dengan 1000 iterasi dengan standard deviasi 0.2 dihasilkan data seperti Tabel 9 di mana keterlambatan yang terjadi dalam simulasi dikonversikan dalam hari kalender. Denda yang akan dikenakan terhadap pekerjaan ini untuk per 1 hari keterlambatan adalah sebesar 1/1000 dari nilai kontrak, dengan nilai kontrak Rp13.606.810.000,00 maka denda per harinya adalah sebesar Rp13.606.810,00. Total keterlambatan terjadi 23.72 hari atau 24 hari (Tabel 10) maka denda keterlambatan yang dikenakan sesuai kontrak adalah sebesar Rp326.563.440,00 (tiga ratus dua puluh enam juta lima ratus enam puluh tiga ribu empat ratus empat puluh rupiah).

**Tabel 9.** Durasi aktifitas kritis optimis dan pesimis

Aktifitas Kritis	Durasi (Minggu/ Week)		
	Optimis	Forecast	Pesimis
AK1	0.8	1	1.41
AK2	1.6	2	2.81
AK3	3.2	4	5.62
AK4	4	5	7.03
AK5	1.6	2	2.81
AK6	4	5	7.03
AK7	4	5	7.03
AK8	4	5	7.03
AK9	2.4	3	4.22
A10	4	5	7.03
	<b>29.6</b>	<b>37</b>	<b>52.00</b>

**Tabel 10.** Keterlambatan terjadi

Aktifitas Kritis	Durasi			Keterlambatan	
	Forecast	Optimis	Pesimis	Minggu	Hari
AK1	1.00	0.80	1.41	- 0.10	- 0.72
AK2	2.00	1.60	2.81	- 0.21	- 1.44
AK3	4.00	3.20	5.62	- 0.41	- 2.88
AK4	5.00	4.00	7.03	- 0.51	- 3.59
AK5	2.00	1.60	2.81	- 0.21	- 1.44
AK6	1.00	0.80	1.41	- 0.10	- 0.72
AK7	5.00	4.00	7.03	- 0.51	- 3.59
AK8	5.00	4.00	7.03	- 0.51	- 3.59
AK9	3.00	2.40	4.22	- 0.31	- 2.16
AK10	5.00	4.00	7.03	- 0.51	- 3.59
<b>TOTAL KETERLAMBATAN TERJADI</b>				<b>- 3.39</b>	<b>- 23.72</b>

### 3.2 Mitigasi Risiko

Dengan mengasumsikan bahwa organisasi yang menerapkan manajemen konstruksi dengan berpedoman teknis akademis yang dapat dipertanggungjawabkan secara keilmuan, sedangkan organisasi yang lainnya tidak melakukannya. Hasil perhitungan kerugian yang menghubungkan antara waktu pelaksanaan, risiko dan finansial pada bagian sebelumnya merupakan gambaran organisasi yang meremehkan manajemen konstruksi dan menganggap apa yang telah dilakukan dengan mengabaikan aspek ilmu dan akademis tersebut adalah yang benar. Pada bagian berikut dipergunakan metode pengendalian risiko dan mitigasi risiko di mana risiko tidak seluruhnya diterima dan dibiarkan terjadi melainkan dikendalikan. Pada tahap ini dilakukan upaya mitigasi atau yang biasa dikenal dengan penanganan risiko, di mana risiko yang dimitigasi adalah semua indikator risiko baik yang masuk kategori *low*, *moderat*, *high* dan *extreme* (Buchholtz, 2016). Pada penelitian ini, mitigasi risiko yang dilakukan adalah sebatas upaya rekomendasi mitigasi, tidak sampai pada implementasi mitigasi risiko. Proses upaya ini dilakukan melalui wawancara dan diskusi kepada expert pada proyek ini, dan studi literatur pada penelitian-penelitian terdahulu. Diasumsikan bahwa dengan identifikasi upaya mitigasi ini organisasi akan menerapkannya dengan baik dan benar, oleh karena itu apabila implementasi dilakukan dengan berpedoman pada hasil ini maka dapat dikatakan akan terjadi *shifting* atau pergeseran skor untuk *likelihood* dan skor *consequences*, pergeseran ini dengan cara menggeser semua skor yang diperoleh dari hasil survei ke arah kiri atau mengurangi skor masukan dari para responden dengan -1.

Apabila responden memberikan skor *likelihood* untuk satu indikator risiko bernilai 3 (probabilitas kejadian antara 25%-50%) maka setelah tindakan mitigasi diimplementasikan di lapangan dengan sebaik-baiknya maka diasumsikan bahwa nilai *likelihood* untuk faktor risiko tersebut menurun satu *point*. Demikian pula terhadap skor *consequences* diperlakukan sama seperti ini menggeser satu *point* setelah dilakukannya mitigasi. Dengan kata lain bahwa tingkat keparahan suatu indikator risiko akan berkurang dengan dilakukannya upaya-upaya preventif yang lebih dini. Dengan mengulang seluruh proses di atas maka diharapkan akan dapat memperoleh gambaran pembandingan dari nilai kerugian finansial yang telah dihitung sebelumnya, yaitu sebelum mitigasi risiko dan setelah mitigasi risiko. Dengan menggunakan rumus di atas maka diperoleh nilai probabilitas risiko terjadi pada Aktifitas Kritis setelah *shifting*. Setelah diketahui tingkat kemungkinan (probabilitas) risiko terjadi pada Aktifitas Kritis maka prosentase kejadian, dengan menggunakan cara yang sama diperoleh hasil *Impact Factor* seperti Tabel 11. Setelah diperoleh *Impact Factor* dan *Variable Cost* maka dapat dihitung kerugian yang terjadi dalam rupiah, setelah dilakukan mitigasi (Tabel 12). Dalam perhitungan kerugian setelah mitigasi dengan menggunakan *Impact Factor* yang diperoleh dari skor-skor *likelihood* dan *consequences* yang dioleh sedemikian rupa dengan menggunakan Simulasi *Monte Carlo* (Tabel 13).

**Tabel 11.** Probabilitas Risiko Terjadi Pada Aktifitas Kritis Setelah Mitigasi dan *Impact Factor*

Aktifitas Kritis	$\Sigma n(A) < P$	$\Sigma n(A)$	P (AK)	Probabilitas	Consequences (Con)	Impact Factor
				Risiko Terjadi P (AK)		
AK1	1383	10,000	13.83%	13.83%	1.41	0.20
AK2	1365	10,000	13.65%	13.65%	1.86	0.25
AK3	2061	10,000	20.61%	20.61%	2.93	0.60
AK4	1359	10,000	13.59%	13.59%	1.79	0.24
AK5	321	10,000	3.21%	3.21%	0.55	0.02
AK6	1862	10,000	18.62%	18.62%	2.25	0.42
AK7	1502	10,000	15.02%	15.02%	1.98	0.30
AK8	848	10,000	8.48%	8.48%	1.13	0.10
AK9	1541	10,000	15.41%	15.41%	2.07	0.32
AK10	1739	10,000	17.39%	17.39%	2.31	0.40

**Tabel 12.** Kerugian Finansial Total Proyek Setelah Mitigasi

Ak	Impact Factor	Variable Cost (Rp)	Kerugian (Rp)
AK1	0.20	48,000,000.00	9,362,119.71
AK2	0.25	905,438.76	229,940.70
AK3	0.60	28,055,733.75	16,944,394.67
AK4	0.24	9,004,113.77	2,194,331.47
AK5	0.02	11,158,500.00	195,660.11
AK6	0.42	745,497,116.00	312,083,647.35
AK7	0.30	219,325,176.00	65,374,802.65
AK8	0.10	365,912,168.58	34,981,284.63
AK9	0.32	99,704,540.40	31,741,957.86
AK10	0.40	19,546,678.83	7,857,674.64
		<b>JUMLAH</b>	<b>480,965,813.80</b>

**Tabel 13. Keterlambatan Setelah Mitigasi**

AK	Durasi			IF	Keterlambatan	
	Forecast	Optimis	Pesimis		Minggu	Hari
AK1	1.00	0.80	1.41	0.20	- 0.02	- 0.14
AK2	2.00	1.60	2.81	0.25	- 0.05	- 0.37
AK3	4.00	3.20	5.62	0.60	- 0.25	- 1.74
AK4	5.00	4.00	7.03	0.24	- 0.13	- 0.88
AK5	2.00	1.60	2.81	0.02	- 0.00	- 0.03
AK6	1.00	0.80	1.41	0.42	- 0.04	- 0.30
AK7	5.00	4.00	7.03	0.30	- 0.15	- 1.07
AK8	5.00	4.00	7.03	0.10	- 0.05	- 0.34
AK9	3.00	2.40	4.22	0.32	- 0.10	- 0.69
AK10	5.00	4.00	7.03	0.40	- 0.21	- 1.45
<b>TOTAL KETERLAMBATAN</b>					<b>- 6.99</b>	

Total keterlambatan setelah mitigasi adalah 7 hari sehingga denda yang dikenakan untuk keterlambatan tersebut adalah sebesar  $7 \times 1/1000$  nilai kontrak, yaitu Rp 95.247.670,00. Maka total kerugian setelah dilakukan mitigasi adalah Rp 480.965.813,80 + Rp 95.247.670,00 = Rp 576.213.483,80, dengan perbandingan antara kerugian sebelum dan sesudah mitigasi sebagaimana dalam Tabel 14. Dapat dilihat pada Tabel 14, dengan menggunakan simulai *monte carlo* resiko keterlambatan baik dari segi waktu dan finansial dapat di tekan dengan sangat minim. Adapun sebelum dilakukan mitigasi total kerugian bernilai Rp 1,494,202,930.01 dan sedangkan setelah dilakukan mitigasi bernilai Rp 576,213,483.80. Terjadi pengurangan sekitar 61% kerugian yang nilai ini sangat signifikan.

**Tabel 14. Keterlambatan Setelah Mitigasi**

Sebelum Mitigasi	Kerugian Akibat Risiko Terjadi	1,167,639,490.01
	Denda Keterlambatan	326,563,440
	<b>Total Kerugian Sebelum Mitigasi</b>	<b>1,494,202,930.01</b>
Sesudah Mitigasi	Kerugian Akibat Risiko Terjadi	480,965,813.80
	Denda Keterlambatan	95,247,670.00
	<b>Total Kerugian Setelah Mitigasi</b>	<b>576,213,483.80</b>
	<b>Selisih</b>	<b>917,989,446.21</b>

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa risiko untuk sebuah proyek konstruksi selalu akan berakibat kerugian waktu dan berujung nilai finansial yang *tangible*. Dari identifikasi faktor risiko yang berpotensi menghambat waktu pelaksanaan proyek diperoleh 10 faktor risiko yang kemudian dijabarkan lagi dalam indikatornya masing-masing, Faktor Risiko Disain diperoleh 7 indikator, Faktor Risiko Eksternal diperoleh 7 indikator, Faktor Risiko Keuangan diperoleh 3 indikator, Faktor Risiko Komunikasi diperoleh 8 indikator, Faktor Risiko Kontrak diperoleh 8 indikator, Faktor Risiko Material diperoleh 8 indikator, Faktor Risiko Peralatan diperoleh 2 indikator, Faktor Risiko *Project Related* diperoleh 14 indikator, Faktor Risiko *Site Related* diperoleh 4 indikator, dan Faktor Risiko Tenaga Kerja diperoleh 4 indikator, sehingga total 66 indikator risiko yang tetapkan skor *likelihood* dan *consequences*-nya melalui survei. Kemudian diperoleh perhitungan skor total dari *likelihood* dan *consequences* yang memasukkan dalam kategori Risiko Kecil (15 indikator), Sedang (27 indikator), Besar (23 indikator) dan Ekstrem (1 indikator) dan diperoleh keterlambatan masing-masing aktifitas kritis dengan jumlah total keterlambatan 23,72 hari atau dibulatkan 24 hari dikalikan denda 1/1000 nilai kontrak. Total kerugian Simulasi ini adalah Rp 1,494,202,930.01, dan hasil akhirnya total kerugian setelah mitigasi menjadi Rp 576,213,483.80 atau lebih kurang sepertiga (tepatnya 0.38) dari kerugian sebelum mitigasi risiko dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bahari, H., Leksono, E. B., Industri, T., Muhammadiyah, U., & Gresik, K. (2018). Pendekatan Risk Management & Analisis Swot. *Matrik*, 18(2), 23–40. <https://doi.org/10.350587/Matrik>
- Bouayed, Z. (2016). Using Monte Carlo simulation to mitigate the risk of project cost overruns. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 6(2), 293–300. <https://doi.org/10.2495/SAFE-V6-N2-293-300>
- Buchholtz, J. D. (2016). AFIT Scholar Theses and Dissertations Student Graduate Works An Investigation in Construction Cost Estimation Using a Monte Carlo Simulation. <https://scholar.afit.edu/etd/281>
- Nurul Mudhofar, & Soffiana Agustin. (2024). Simulasi Monte Carlo Dalam Prediksi Penjualan Pempers Makuku. *Repeater: Publikasi Teknik Informatika Dan Jaringan*, 2(3), 57–66. <https://doi.org/10.62951/repeater.v2i3.103>



- Peleskei, C. A., Dorca, V., Munteanu, R. A., & Munteanu, R. (2015). Risk Consideration and Cost Estimation in Construction Projects Using Monte Carlo Simulation. *Management* (18544223), 10(2), 163–176. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=110130673&site=eds-live>
- Sobieraj, J. dan Metelski, D. (2022). Project Risk in the Context of Construction Schedules—Combined Monte Carlo Simulation and Time at Risk (TaR) Approach: Insights from the Fort Bema Housing Estate Complex. *Appl. Sci.* 2022, 12, 1044. <https://doi.org/10.3390/app12031044>
- Sutikno, A., & Arif Rohman, M. (2022). Pemodelan Estimasi Biaya Kontingensi Pada Proyek Konstruksi Jalan Raya Berbasis Metode Analisis Risiko. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(3), 421. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v20i3.14100>