

ANALISIS RESIKO DAN PENJADWALAN PADA PROYEK MULTIKOMPLEKS. STUDI KASUS : EASTGATE PROJECT, SURABAYA

Yustinus Melvern Hariadi¹, Lie Arijanto²

¹ Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya

² Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya

¹ y.melvernhariadi@gmail.com, ² arijanto_lie@yahoo.com,

ABSTRAK: Proyek multikompleks memiliki tingkat risiko tinggi yang dapat mempengaruhi jadwal penyelesaian. Studi ini menganalisis risiko dan penjadwalan pada Proyek *Eastgate*, Surabaya, menggunakan pendekatan simulasi *Monte Carlo*, CPM, dan PERT. Penelitian ini dilakukan dengan mengidentifikasi risiko utama yang berdampak, kemudian melakukan analisis probabilitas waktu penyelesaian aktivitas menggunakan simulasi *Monte Carlo*. Data dikumpulkan dari observasi lapangan, diskusi dengan kontraktor dan *time schedule*, kemudian diolah untuk mengevaluasi probabilitas jadwal proyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor lingkungan dan karakteristik lapangan tergolong risiko dengan dampak signifikan terhadap waktu proyek. Aktivitas kritis seperti pekerjaan Saluran Kota, Median dan Berem Jalan, serta Aspal memiliki probabilitas rendah untuk selesai tepat waktu. Hasil simulasi menunjukkan, kemungkinan penyelesaian proyek dalam waktu 100 hari sangat kecil, dengan probabilitas 18.41%. Sehingga, mitigasi risiko yang lebih efektif diperlukan untuk meningkatkan ketepatan waktu proyek. Studi ini dapat memberikan wawasan bagi manajemen proyek multikompleks dalam mengoptimalkan jadwal dan pengelolaan risiko.

Kata kunci: risiko proyek konstruksi; penjadwalan proyek; probabilitas jadwal proyek

ABSTRACT: *Multi-complex projects are high level of risk that can affect schedule completion. This study analyzes risk and scheduling in the Eastgate Project, Surabaya, using the Monte Carlo Simulation (MCS), CPM, and PERT. The research was conducted by identifying key risks impacting the project, followed by probabilistic analysis of critical activity completion times using MCS. Data were collected from field observations and project schedules, then processed to evaluate project schedule probabilities. The study results indicate that environmental factors and site characteristics are categorized as risks with a significant impact on project timelines. Critical activities such as City Drainage, Road Median-Shoulders, and Asphalt work have low probability of being completed on time. The simulation show low probability to complete the project within 100 days, about 18.41%. Therefore, more effective risk mitigation is required to improve project timelines. This study provides insights for multi-complex project management in optimizing schedules and risk management.*

Keywords: *construction project risk; project scheduling; project schedule probability*

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi multikompleks memiliki tingkat kompleksitas/risiko tinggi dengan banyaknya aktivitas yang saling bergantung serta ketidakpastian dalam pelaksanaannya. Pelaksanaan proyek-proyek secara simultan dan pada waktu bersamaan ini menjadi tantangan tersendiri bagi pelaku konstruksi (Siahaan and Simanjuntak, 2022). Salah satu tantangan yang dimaksud adalah risiko proyek. Secara natural, risiko muncul ketika hendak melakukan suatu aktivitas atau menjalankan suatu sistem untuk mencapai tujuan tertentu. Semakin besar cakupan wilayah dan lingkup pekerjaan suatu proyek, semakin besar pula risiko yang harus dihadapi (Fu et al., 2025). Risiko dianalisis dan dievaluasi berdasarkan data masa lalu dan masa kini, pengalaman, serta pengetahuan yang dimiliki (Alijoyo et al., 2019). Dalam proyek konstruksi, risiko sangat erat kaitannya dengan keberhasilan penyelesaian proyek. Risiko yang tidak diperkirakan dan dikelola dengan baik dapat menyebabkan keterlambatan (Wally et al., 2022). Di sisi lain, pelaku konstruksi berlomba untuk menyelesaikan proyek tepat waktu, tetapi sering kali gagal merencanakan dan memitigasi risiko secara efektif, sehingga mengakibatkan keterlambatan.

Pada penelitian ini, risiko diteliti pada proyek *eastgate* di Surabaya. Proyek ini merupakan proyek multikompleks yang berlokasi di Jl. Gunung Anyar Sawah, Surabaya. Saat ini, proyek *eastgate* berada dalam tahap pengembangan awal, dengan beberapa aktivitas yang sedang berjalan. Aktivitas-aktivitas ini meliputi pekerjaan *grand entrance*, *signage*, *billboard*, saluran kota, median dan berem jalan, pengaspalan, pagar panel, Penerangan Jalan Umum (PJU), kelistrikan kawasan, serta *landscape*. Aktivitas-aktivitas tersebut berjalan secara simultan dan ditangani oleh kontraktor yang berbeda. Proyek ini dijadwalkan untuk dibuka bagi umum dalam waktu 100 hari mendatang, sehingga seluruh aktivitas harus selesai dalam periode tersebut.

Metode *Critical Path Method* (CPM) banyak digunakan dalam penjadwalan proyek untuk mengidentifikasi jalur kritis, yaitu serangkaian aktivitas yang menentukan durasi keseluruhan proyek. CPM efektif dalam menganalisis keterlambatan tetapi bersifat deterministik, sehingga tidak mempertimbangkan variasi durasi akibat ketidakpastian di lapangan. Untuk mengatasi keterbatasan ini, *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) diterapkan dengan mempertimbangkan tiga kemungkinan estimasi waktu (optimis, realistis, dan pesimis) (Ramdani., 2022). PERT lebih fleksibel dibanding CPM, namun tetap memiliki keterbatasan dalam menangani variasi kompleks dalam proyek berskala besar. Untuk meningkatkan akurasi estimasi jadwal dan risiko, penelitian ini menggunakan simulasi *Monte Carlo*, sebuah metode probabilistik yang dapat memodelkan ketidakpastian proyek secara lebih realistis (Djohim et al., 2024). Dengan melakukan ribuan iterasi, *monte carlo* dapat menghitung probabilitas keterlambatan setiap aktivitas, memberikan wawasan lebih akurat dibandingkan CPM dan PERT yang hanya mengandalkan pendekatan deterministik.

Peneliti melihat integrasi metode CPM, PERT, dan *Monte Carlo* dalam analisis penjadwalan proyek multikompleks masih sangat jarang dilakukan. Kombinasi dari ketiga metode ini memungkinkan evaluasi risiko dan estimasi jadwal yang lebih adaptif dan terperinci dibandingkan metode konvensional. Dengan pendekatan ini, manajer proyek dapat mengoptimalkan strategi perencanaan, mengurangi risiko keterlambatan, serta meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan proyek konstruksi yang kompleks. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi industri konstruksi dalam mengembangkan metode

penjadwalan yang lebih akurat serta membantu pengambilan keputusan berbasis data dalam proyek multikompleks.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah proses sistematis yang dimulai dari identifikasi, analisis dan pengendalian risiko. Tujuan manajemen risiko dalam sebuah proyek untuk melakukan pendekatan terhadap risiko, yaitu dengan memahami, mengidentifikasi, dan mengevaluasi risiko suatu proyek. Kemudian mempertimbangkan apa yang akan dilakukan terhadap dampak yang ditimbulkan dan kemungkinan pengalihan risiko kepada pihak lain atau mengurangi risiko yang terjadi. Risiko pada proyek konstruksi tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat dikurangi, sehingga penting untuk menerapkan manajemen risiko dalam proyek konstruksi untuk memaksimalkan dan meminimalkan peluang risiko yang akan terjadi (Wally et al., 2022).

2.2 Monte Carlo Simulation (MCS)

Teknik *Monte Carlo Simulation* (MCS) adalah teknik simulasi kuantitatif yang digunakan untuk menilai risiko dengan cara menghitung probabilitas hasil akhir akibat ketidakpastian dengan melibatkan variabel acak (*random variable*) berdasarkan karakteristik distribusi input/data yang dianalisis. Teknik MCS sangat tepat untuk diterapkan (*strong applicable*) dalam proses evaluasi risiko dan diterapkan dalam proses analisis risiko (Alijoyo et al., 2019).

2.2.1 Distribusi Probabilitas

Distribusi digunakan untuk menganalisis probabilitas atau kemungkinan dalam simulai *Monte Carlo*. Distribusi ini mengikat setiap variabelnya. Distribusi setiap variabel mungkin saja berbeda tergantung dari karakteristik data yang diperoleh dari masa lalu. Dalam teknik MCS, penggabungan dua atau tiga jenis distribusi yang berbeda sangat mungkin untuk dijumpai (Alijoyo et al., 2019). Terdapat beberapa jenis distribusi yang digunakan dalam teknik MCS, antara lain:

1. Distribusi Normal. Jika probabilitas variabel terjadi di antara nol (0) dan satu (1) (Alijoyo et al., 2019).
2. Distribusi Seragam (*Uniform*). Jika probabilitas variabel terjadi memiliki kesempatan yang sama (Alijoyo et al., 2019).
3. Distribusi Triangular. Jika probabilitas variabel terjadi berdasarkan pada kategori minimum/jarang/optimis, menengah/mungkin/realistis, dan maksimum/sering/pesimis (Alijoyo et al., 2019).

2.2.2 Perhitungan Nilai Acak

Perhitungan nilai acak dikalkulasikan melalui rumus sebagai berikut (Alijoyo et al., 2019) :

$$\text{Nilai Acak} = \begin{cases} 0 + \sqrt{U x (R - 0) x (P - 0)}, & U < \frac{R-0}{P-0} \\ P - \sqrt{(1 - U) x (P - R) x (P - 0)}, & U \geq \frac{R-0}{P-0} \end{cases} \quad (1)$$

Yang dimana R adalah waktu realistis, P adalah waktu pesimis, O adalah waktu Optimis dan U adalah angka acak antara 0 sampai 1. Nilai acak ini akan berbeda jika mengulangi perhitungan yang sama (Alijoyo et al., 2019). Dalam simulasi MCS dapat digunakan rumus lain menggunakan *BetaPert* dan *Uniform*. *BetaPert* digunakan untuk menentukan random angka jika pada data memiliki tiga nilai terendah, realistis dan maksimum. Untuk menghitung nilai *BetaPert* digunakan rumus berikut (Vose, 2008) :

$$\text{BetaPert} = \frac{O+4R+P}{6} \quad (2)$$

Untuk tipe *Uniform* digunakan untuk aktivitas yang hanya memiliki dua nilai minimum dan maksimum. *Uniform* menggunakan rumus (Vose, 2008) :

$$\text{Uniform} = O + (P - O)x U \quad (3)$$

2.2.3 Jumlah Iterasi Simulasi

Dalam MCS dilakukan simulasi variabel secara berulang. Pengulangan variabel ini ditentukan dengan cara :

1. Menggunakan asumsi logis dari pakar terkait atau bahasa pemrograman, semisal dikehendaki memperoleh validitas sampai dengan 99%, maka dilakukan iterasi sebanyak 1000 kali untuk masing-masing pengujian (Alijoyo et al., 2019).
2. Cara kedua dapat menggunakan formulai nilai kesalahan (ϵ) (Alijoyo et al., 2019). Rumus pendekatan jumlah iterasi minimum sebagai berikut.

$$N = \left(\frac{3\sigma}{\epsilon}\right)^2 \quad (4)$$

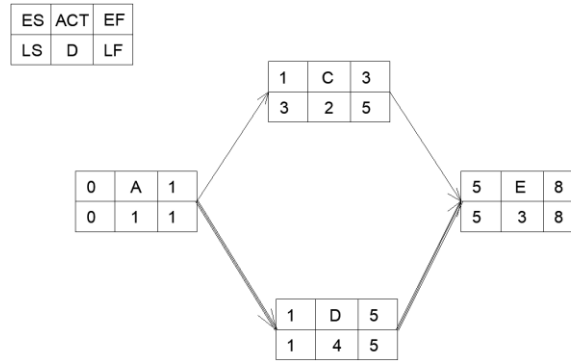
Yang dimana, N adalah Jumlah Iterasi, σ adalah Standar Deviasi dan ϵ adalah Nilai Kesalahan Absolut. Nilai Kesalahan Absolut didapat dari rumus:

$$\epsilon = \frac{\mu}{\left(\frac{1}{1\%}\right)} \quad (5)$$

Yang dimana, μ adalah rata-rata total durasi (total durasi optimis, pesimis dan realistis), 1% adalah nilai kesalahan yang dikehendaki pada penelitian ini yaitu $\leq 1\%$, artinya dikehendaki hanya memberikan toleransi kesalahan yang sangat kecil dari setiap nilai acak. Dengan melakukan metode kedua, maka hasil simulasi menjadi lebih akurat.

2.3 Critical Path Method (CPM)

CPM/*Critical Path Method* adalah metode penjadwalan dengan melihat jalur terpanjang dari proyek tersebut atau biasa disebut jalur kritis. Jika aktivitas-aktivitas tersebut tertunda, maka durasi total proyek akan tertunda. Setiap jaringan memiliki jalur kritis dan dimungkinkan memiliki lebih dari satu jalur kritis. Nama lain dari metode ini adalah *Network Analysis/Analisis Jaringan* (Nugraha., 2021). CPM terdapat 2 jenis, yaitu *Activity On Node (AON)* dan *Activity On Arrow (AOA)*. Dikatakan AON jika aktivitas dilambangkan dengan *Node*, dan dikatakan dengan AOA jika aktivitas dilambangkan dengan *Arrow/Panah*.



Gambar 1. Diagram AON

ES	ACT	EF
LS	D	LF

Gambar 2. Node AON

Diagram AON ditunjukkan seperti pada Gambar 1, dan keterangan untuk satu *node* seperti pada Gambar 2. Dalam satu *node* terdapat antara lain :

- ES* : *Early Start*. Waktu optimis suatu aktivitas dimulai.
- EF* : *Early Finish*. Waktu optimis suatu aktivitas selesai.
- LS* : *Late Start*. Waktu pesimis suatu aktivitas dimulai.
- LF* : *Late Finish*. Waktu pesimis suatu aktivitas selesai.
- D* : *Duration*. Durasi aktivitas.
- ACT* : *Activity*. Nama Aktivitas.

Cara untuk menghitung/mengidentifikasi jalur kritis pada CPM AON yaitu menggunakan dua perhitungan, antara lain :

a. Forward Pass/Perhitungan Maju.

Dalam perhitungan maju, fokus utama adalah untuk mengisi bagian dari *ES* dan *EF*. *ES* adalah durasi optimis awal, $EF = ES + D$. *ES* Sesudah = Nilai *EF* maksimum dari aktivitas sebelum, sehingga jika suatu aktivitas memiliki lebih dari satu aktivitas sebelum, maka dipilih nilai *EF* maksimum dari aktivitas sebelum. Proses ini dilakukan sampai seluruh perhitungan selesai (Soeparyanto et al., 2024).

b. Backward Pass/Perhitungan Mundur.

Dalam perhitungan mundur, fokus utamanya adalah untuk mengisi bagian *LS* dan *LF*. Perhitungan mundur mirip seperti perhitungan maju, tetapi dimulai aktivitas terakhir sampai aktivitas pertama. Prinsip *LS* dan *LF* sama dengan *ES* dan *EF*, tetapi *LF* diisi dengan melihat *LS* minimum dari aktivitas sebelum. Setelah *ES*, *EF*, *LS*, *LF* dihitung, maka selanjutnya menghitung *slack*/kelonggaran waktu (Soeparyanto et al., 2024).

$$Slack = LS - ES \text{ atau } LF - EF \tag{6}$$

2.4 Program Evaluation And Review Technique (PERT)

PERT atau *Program Evaluation and Review Technique* adalah sebuah model *Management Science* untuk perencanaan dan pengendalian sebuah proyek. Teknik PERT adalah suatu metode yang bertujuan untuk mengurangi adanya penundaan, maupun gangguan produksi, serta mengkoordinasi berbagai bagian suatu pekerjaan secara menyeluruh dan mempercepat selesainya proyek. Perhitungan dengan metode PERT sama seperti CPM yaitu dengan cara perhitungan maju (*forward computation*) dan perhitungan mundur (*backward computation*) (Sugiarta., 2021). Dengan PERT, maka keluaran yang didapatkan adalah prosentase keberhasilan akhir seluruh pelaksanaan pekerjaan. Sugiarta (2021) menunjukkan rumus perhitungan metode PERT adalah sebagai berikut :

- a. Waktu Efektif/ Jalur Kritis/ Durasi Optimal (T_e).

T_e memiliki rumus sebagai berikut:

$$T_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (7)$$

Dimana, a = waktu optimis
 m = waktu realistis
 b = waktu pesimis

- b. Standar Deviasi (S) dan Varian (V)

Standar Deviasi (S) digunakan untuk melihat deviasi dari jadwal aktivitas. Standar Deviasi dan Varian memiliki rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{b - a}{6} \quad (8)$$

$$V = S^2 \quad (9)$$

- c. Nilai Distribusi Normal (Z).

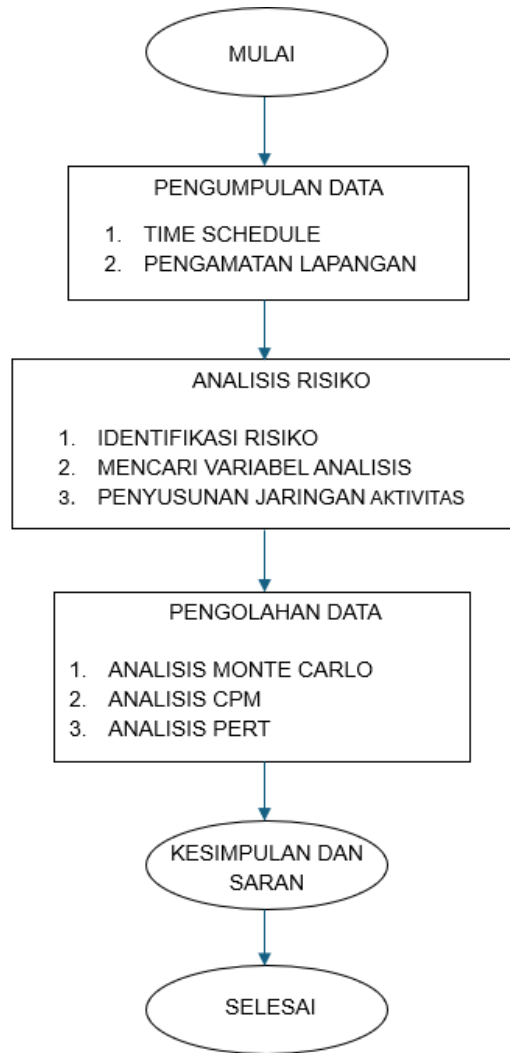
Probabilitas durasi keseluruhan kegiatan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$z = \frac{T - TE}{\sqrt{S}} \quad (10)$$

Yang dimana, Z = Nilai pada tabel distribusi normal
 T = Durasi yang dikehendaki yaitu 90 hari
 TE = Ekspektasi jadwal selesai/ Total nilai T_e
 S = Standar Deviasi

3. METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah studi kasus pada proyek. Dalam penelitian ini, peneliti berfokus pada proyek *Eastgate*, Surabaya, untuk diteliti lebih lanjut terkait risiko yang ada. Data dan informasi didapatkan dari pengamatan langsung lapangan dan *time schedule*. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 3. Terdapat 4 tahapan yaitu pengumpulan data, analisis risiko, pengolahan data dan kesimpulan.



Gambar 3. Diagram air penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Umum Proyek

Pada penelitian ini, proyek yang diteliti memiliki data-data umum sebagai berikut:

- a. Nama Proyek/Lokasi : *Eastgate Technopolis/* Jalan Gunung Anyar Sawah, Surabaya
- b. Pemilik Proyek : Mayapada *Group* (Bp. Dato Sri Tahir)
- c. Developer/Pengembang : PT. Intiland Development Tbk (Bp. Hendro Gondokusumo)
- d. Kontraktor Utama : PT. Aktif Mitra Persada, CV. Pison Indograha, CV. Citra Mandiri Sukses, CV Prima Agung, PT. Tripalindo Trans Mix, PT. Bangun Sarana Baja (BSB).
- e. Konsultan Perencana : WDS Design (Konsultan Arsitek) dan EYCE (Konsultan Struktur)
- f. Jenis Proyek : Kawasan Komersial, Residensial dan Kota Mandiri
- g. Luas Area : 23 ha
- h. Waktu Selesai Rencana : 100 hari (Daftar aktivitas pada Tabel 2)

4.2 Hasil Risiko yang Diidentifikasi

Berdasarkan hasil dari pengamatan lapangan dan diskusi mendalam dengan pihak kontraktor, risiko diidentifikasi dan disajikan pada Tabel 1. Pada proyek *eastgate*, terdapat lima kategori risiko, meliputi risiko akibat material, tenaga kerja, faktor manajerial, *site characteristic* (karakteristik lapangan) dan faktor lingkungan. Kelima risiko ini merupakan risiko yang terjadi selama proyek ini berlangsung. Berdasarkan analisa risiko, risiko karakteristik lapangan dan faktor lingkungan memiliki dampak sangat besar terhadap keberhasilan waktu proyek. Risiko ini menghambat aktivitas, sehingga membuat aktivitas yang terdampak sangat rentan untuk terlambat dari durasi rencananya.

Tabel 1. Risiko yang diidentifikasi

Kode Risiko	Kategori Risiko	Risiko yang Diidentifikasi
1	Material	Keterlambatan Kedatangan Material
2	Tenaga Kerja	Tenaga Kerja yg Kurang Ahli/Cekatan Produktivitas Tenaga Kerja Kurang Kurangunya Ketersediaan Tenaga Kerja Kurangunya Komunikasi antar Tenaga Kerja
3	Faktor Manajerial	Kesalahan pengambilan Keputusan di Lapangan
4	<i>Site Characteristic</i>	Kondisi Lapangan Belum Siap Akibat Pekerjaan Lainnya Belum Selesai
5	Faktor Lingkungan	Pengaruh Cuaca Premanisme dan luran Warga

4.3 Daftar Aktivitas pada Proyek *Eastgate* beserta Durasi Pelaksanaan Setelah Risiko Diidentifikasi

Pada proyek *Eastgate*, terdapat 9 aktivitas yang sedang berjalan. Setiap aktivitas memiliki durasi rencana yang sudah disepakati sesuai kontrak. Durasi yang direncanakan disebut durasi Realistis (R). Dalam menghitung probabilitas keberhasilan suatu aktivitas dapat selesai sesuai durasi yang direncanakan, maka diperlukan variabel tambahan. Variabel ini adalah durasi Optimis (O) dan Pesimis (P). Variabel durasi Optimis dan Pesimis didapat dari hasil olah *time schedule*, diskusi mendalam dengan kontraktor, pengalaman *expert* di proyek lain yang serupa, serta seberapa banyak risiko yang berdampak pada aktivitas tersebut. Semakin banyak suatu aktivitas terdampak risiko, semakin besar peluang terlambatnya, dan semakin pesimis. Pada Tabel 2, disajikan daftar aktivitas, aktivitas yang menjadi *predecessor*, variabel durasi dan risiko yang berdampak pada setiap aktivitas. Kode setiap risiko disajikan pada Tabel 1.

Tabel 2. Bagian pertama - daftar aktivitas beserta durasinya

No.	Kode	Aktivitas	Predecessor	Durasi (Hari)			Risiko
				O	R	P	
1	A	Pekerjaan Grand Entrance					
	A1	Pondasi + Pedestal	G2	8	10	14	
	A2	Fabrikasi + Ereksi Baja	A1	5	7	10	
	A3	<i>Façade</i> + Elektrikal	A2, A4	7	10	10	1, 3, 4, 5
	A4	Kolom Panel	A1	10	12	14	
	A5	<i>Finishing</i>	A3	1	3	5	
		Durasi yang Direncanakan		42			
2	B	Pekerjaan Signage					
	B1	Fabrikasi <i>Signage</i>	-	5	7	8	
	B2	Instalasi <i>Signage</i>	B1, A4	1	3	2	
	B3	<i>Finishing</i>	B2	1	2	2	4, 5
		Durasi yang Direncanakan		12			
3	C	Pekerjaan Billboard					
	C1	Pondasi	G2	10	15	16	
	C2	Ereksi Baja + Kolom <i>Billboard</i>	C1	3	7	7	
	C3	Pemasangan Materi <i>Billboard</i> + <i>Finishing</i>	C2	1	2	2	3, 4, 5
		Durasi yang Direncanakan		24			
4	D	Saluran Kota/Drainase					
	D1	Galian Saluran	-	14	18	21	
	D2	<i>Leveling Box Culvert</i> dan RCP	D1	3	6	7	
	D3	Pemasangan <i>Box Culvert</i> dan RCP	D2	18	22	24	1, 2, 3, 4, 5
	D4	Pemasangan <i>Sleeve Bico</i> dan <i>Man Hole</i>	D3	5	7	14	
	D5	Urugan Kembali + Pemasangan <i>Bico</i>	D4	5	7	14	
		Durasi yang Direncanakan		60			
5	E	Pekerjaan Median dan Berem Jalan					
	E1	Pemasangan Kanstin <i>Entrance</i>	D5	12	14	18	
	E2	Pemasangan Kanstin <i>Cluster</i>	E1	10	14	18	
	E3	<i>Finishing</i>	E2	2	3	5	1, 2, 3, 4, 5
		Durasi yang Direncanakan		31			
6	F	Pekerjaan Aspal					
	F1	Perataan Lahan	D4	21	24	27	
	F2	<i>Base Course</i> + Tes CBR	E2, F1	17	21	27	1, 2, 3, 4, 5
	F3	<i>Leveling</i> + Pengaspalan	F2	3	5	7	
		Durasi yang Direncanakan		50			
7	G	Pekerjaan Pagar Panel					
	G1	Pondasi Pagar Panel	-	14	18	21	
	G2	Pemasangan Pagar Panel + <i>Finishing</i>	G1	7	14	16	1, 2, 3, 4, 5
		Durasi yang Direncanakan		32			

Tabel 2. Bagian kedua - daftar aktivitas beserta durasinya

No.	Kode	Aktivitas	Predecessor	Durasi			Risiko
				O	R	P	
8	H	Pekerjaan PJU dan Kelistrikan Area					
	H1	Pondasi PJU	-	10	14	16	
	H2	Instalasi PJU dan Lampu	H1	10	14	18	1, 2, 3, 4, 5
	H3	Tes Fungsi + <i>Finishing</i>	E3, H2	1	2	3	
		Durasi yang Direncanakan		30			
9	I	Landscape (Taman)					
	I1	Drop Tanah Media Tanam	E2, H2, A1, C2	10	15	16	3, 4, 5
	I2	Penanaman Tanaman	I1	7	8	10	
	I3	Perawatan Kawasan	I2	5	8	10	
	I4	Pembersihan Akhir	A5, B3, C3, I2, I3, F3	1	2	3	
		Durasi yang Direncanakan		33			

4.4 Probabilitas Keberhasilan Durasi Setiap Aktivitas

Setelah seluruh variabel pada aktivitas dibuat, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung berapa besar probabilitas setiap aktivitas dapat selesai sesuai dengan durasi rencananya. Pada perhitungan probabilitas, digunakan simulasi *Monte Carlo*. Simulasi *Monte Carlo* menggunakan program *Microsoft Excel*. Diambil contoh perhitungan pada pekerjaan *Grand Entrance*, yang dilakukan iterasi sebanyak 6173 kali, diapat dari perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata} &= \frac{31+42+53}{3} = 42 \text{ Hari} \\ \text{Stdev} &= 11 \\ \varepsilon &= \frac{42}{1} = 0.42 \\ N &= \left(3 * \frac{\text{Stdev}}{\varepsilon}\right)^2 = \left(3 * \frac{11}{0.42}\right)^2 = 6173 \text{ Iterasi} \end{aligned}$$

Pada Tabel 3, disajikan variabel-variabel yang digunakan dalam simulai *Monte Carlo*. Nilai dari *Risk Value* didapat dari rumus (2) dan (3). *Risk Variable Type* menunjukkan random angka tersebar pada ketiga variabel durasi. Tipe risiko variabel *BetaPert* menunjukkan ketiga variabel durasi memiliki nilai terendah, menengah dan maksimum, sedangkan *Uniform* hanya memiliki nilai minimum dan maksimum saja. Nilai dari *risk value* akan berubah-ubah sesuai dengan random variabelnya.

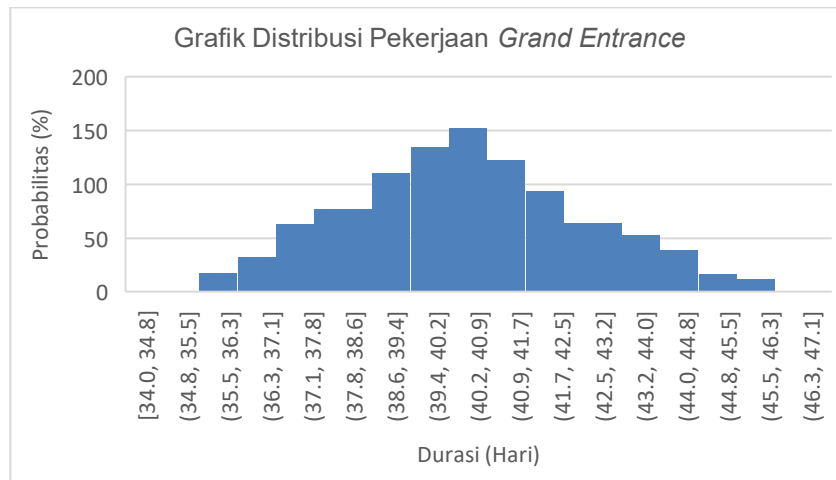
Tabel 3. Tabel variabel-variabel simulasi *monte carlo* aktivitas *grand entrance*

Aktivitas	Durasi (Hari)			Risked Value	Risk Variable Type
	Optimis	Realistis	Pesimis		
A1	8	10	14	10.3	BetaPert
A2	5	7	10	7.2	BetaPert
A3	7	10	10	8.5	Uniform
A4	10	12	14	12.0	BetaPert
A5	1	3	5	3.0	BetaPert
Total	31	42	53	41.0	

Tabel 4. Hasil simulasi *monte carlo* pekerjaan *grand entrance*

Percentiles			
Probabilitas	Durasi (Hari)	Probabilitas	Durasi (Hari)
0.00%	34.8	52.50%	41.1
2.50%	37.2	55.00%	41.2
5.00%	37.8	57.50%	41.3
7.50%	38.1	60.00%	41.5
10.00%	38.4	62.50%	41.6
12.50%	38.6	65.00%	41.8
15.00%	38.9	67.50%	41.9
17.50%	39.1	70.00%	42.1
20.00%	39.3	72.50%	42.2
22.50%	39.4	75.00%	42.4
25.00%	39.6	77.50%	42.6
27.50%	39.8	80.00%	42.7
30.00%	39.9	82.50%	42.9
32.50%	40.1	85.00%	43.1
35.00%	40.2	87.50%	43.4
37.50%	40.3	90.00%	43.6
40.00%	40.5	92.50%	43.9
42.50%	40.6	95.00%	44.3
45.00%	40.7	97.50%	44.9
47.50%	40.9	100.00%	48.1
50.00%	41.0		

Dari hasil simulasi *Monte Carlo*, pekerjaan *Grand Entrance* yang memiliki durasi rencana selama 42 hari, memiliki probabilitas sebesar 70%, dengan risiko keterlambatan sebesar 30%. Jika proyek harus selesai di waktu 42 hari, maka diperlukan perencanaan dan mitigasi risiko dengan baik, agar mengurangi kemungkinan keterlambatannya.



Gambar 4. Grafik distribusi pekerjaan *grand entrance*

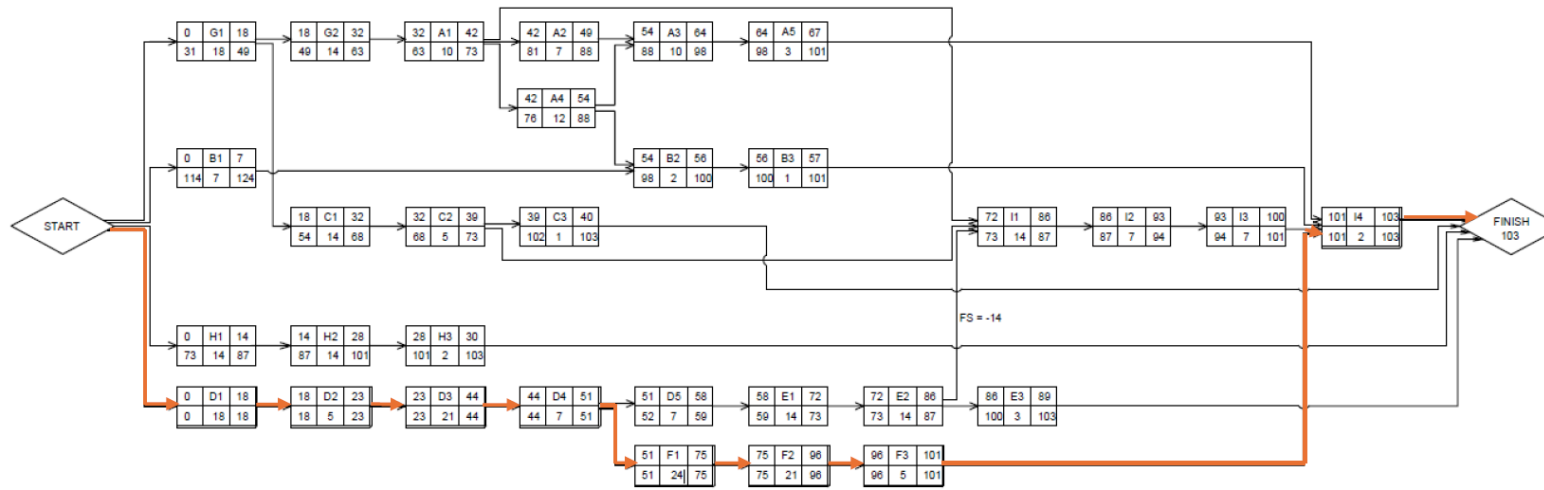
Pada Gambar 4 menunjukkan jenis distribusi dari simulai *Monte Carlo*. Jenis distribusi ini tergolong distribusi triangular, karena memiliki 3 nilai variabel. Setelah seluruh aktivitas disimulasikan, maka hasilnya dirangkum pada Tabel 5. Pada Tabel 5 menunjukkan probabilitas keberhasilan seluruh aktivitas dalam mencapai durasi rencananya.

Tabel 5. Rekapitulasi probabilitas keberhasilan proyek

Kode Aktivitas	Nama Aktivitas/Pekerjaan	Durasi Rencana (Hari)	Probabilitas Keberhasilan Durasi Rencana
A	<i>Grand Entrance</i>	42	70 %
B	<i>Signage</i>	12	100 %
C	<i>Billboard</i>	24	100 %
D	Saluran Kota/Drainase	60	43.83 %
E	Median dan Berem Jalan	31	31.98 %
F	Aspal	50	41.6 %
G	Pagar Panel	32	90.1 %
H	PJU dan Kelistrikan	30	70.16 %
I	<i>Landscape</i>	33	90.8 %

4.5 Analisis CPM

Dalam analisis CPM, rangkaian aktivitas digambarkan sesuai aturan penggambaran CPM. Waktu/durasi yang mendasari perhitungan CPM menggunakan waktu realistis aktivitas. Diagram CPM disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram CPM aktivitas

Berdasarkan penjadwalan dengan CPM, jalur kritis proyek *Eastgate* adalah D1 – D2 – D3 – D4 – F1 – F2 – F3 – I4 dengan total durasi proyek adalah 103 hari (Kode aktivitas mengacu pada Tabel 2).

4.6 Analisis PERT

Setelah analisis CPM, maka didapat bahwa total durasi proyek menurut CPM adalah 103 hari. Angka ini dilihat dari jalur kritisnya. Seperti pada bahasan sebelumnya, durasi total proyek direncanakan selesai dalam waktu 100 hari. Untuk menghitung berapa probabilitas proyek ini dapat selesai dalam waktu 100 hari, maka digunakan analisis PERT. Perhitungan metode PERT dan metode CPM memiliki kesamaan, yaitu perhitungan jalur kritisnya (Sugiarta, T. 2021). PERT terdapat tiga variabel waktu yang menjadi unsurnya yaitu waktu pesimis, waktu realistis dan waktu optimis yang didapatkan dari analisa risiko dan *time schedule* setiap aktivitas. Dalam PERT juga ditentukan dengan menghitung Standar Deviasi (S) dan Varians ($V(te)$). Hasil perhitungan nilai S dan $V(te)$ disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Tabel perhitungan S dan $V(TE)$ metode PERT untuk jalur kritis

Aktivitas Kritis	TE	ES	EF	LS	LF	Slack	S	V(te)	Kritis
D1	17.8	0	17.8	0	17.8	0	1.17	1.36	Yes
D2	5.0	17.8	22.8	17.8	22.8	0	0.67	0.44	Yes
D3	21.0	22.8	43.8	22.8	43.8	0	1.00	1.00	Yes
D4	7.8	43.8	51.7	43.8	51.7	0	1.50	2.25	Yes
F1	24.0	51.7	75.7	51.7	75.7	0	1.50	2.25	Yes
F2	21.3	75.7	97.0	75.7	97.0	0	1.00	1.00	Yes
F3	5.0	97.0	101	97.0	101	0	1.33	1.78	Yes
I4	2.0	102	103.0	102.0	103.0	0	1.00	1.00	Yes
Total			103.0					11.08	

Pada Tabel 6, untuk menentukan nilai-nilai dalam tabel, maka dicontohkan perhitungan untuk aktivitas D1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 O &= 14 \text{ Hari} \\
 R &= 18 \text{ Hari} \\
 P &= 21 \text{ Hari} \\
 TE &= \frac{O + 4R + P}{6} = \frac{14 + 4 \cdot 18 + 21}{6} = 17.8 \text{ hari} \\
 S &= \frac{P - O}{6} = \frac{21 - 14}{6} = 1.17 \\
 V(te) &= S^2 = 1.17^2 = 1.36
 \end{aligned}$$

$$\text{Total } V(te) = 1.36 + 0.44 + 1 + 2.25 + 2.25 + 1 + 1.78 + 1 = 11.08$$

$$S \text{ (aktivitas kritis)} = \sqrt{V(te)} = \sqrt{11.08} = 3.3$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung probabilitas. Durasi proyek direncanakan selesai dalam waktu 100 hari. Selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan probabilitas durasinya apabila diukur menggunakan waktu perencanaan sebesar 100 hari. Probabilitas durasi dapat diukur dengan rumus sebagai berikut.

$$Z = \frac{T - TE}{\sqrt{S}} = \frac{100 - 103}{\sqrt{11.08}} = -0.90126$$

$T = \text{Waktu Rencana } 100 \text{ Hari}$

$TE = \text{Durasi PERT } 103 \text{ Hari}$

Dengan nilai Z (-0.90126), maka didapat probabilitas (P) sebesar 18.41%, yang didapat dari tabel Z . Artinya, untuk menyelesaikan keseluruhan proyek dalam waktu 100 hari, memiliki probabilitas keberhasilan sebesar 18.41%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat disimpulkan menjadi beberapa poin sebagai berikut:

1. Identifikasi Risiko

- a. Penelitian ini mengidentifikasi lima kategori risiko utama dalam proyek *Eastgate*, antara lain risiko material, tenaga kerja, faktor manajerial, karakteristik lapangan dan faktor lingkungan.
- b. Risiko yang tergolong *high risk*, dengan *impact* cukup besar terhadap keberhasilan waktu proyek adalah risiko akibat Karakteristik Lapangan (kondisi lapangan yang belum siap) dan Faktor Lingkungan (hambatan warga dan premanisme).

2. Evaluasi Probabilitas Proyek

- a. Dari hasil perhitungan probabilitas proyek, pekerjaan saluran kota/drainase, median dan berem jalan, serta pekerjaan aspal memiliki probabilitas yang rendah untuk mencapai durasi rencananya.
- b. Probabilitas keseluruhan proyek selesai dalam waktu 100 hari cukup rendah. Hal ini menunjukkan tingginya risiko keterlambatan, sehingga diperlukan mitigasi dan perencanaan risiko.

3. Perbandingan Metode CPM, PERT dan Monte Carlo

- a. Metode Simulasi *Monte Carlo* digunakan digunakan untuk menghitung probabilitas setiap aktivitas.
- b. Metode CPM digunakan untuk menghitung durasi total proyek, mencari jalur kritisnya, dan penjadwalan proyek.
- c. Metode PERT menghasilkan probabilitas, mirip dengan simulasi *Monte Carlo*. PERT dalam penelitian ini digunakan untuk menghitung probabilitas jalur kritis.

4. Rekomendasi

- a. Diperlukan perencanaan dan strategi mitigasi risiko yang baik seperti peningkatan koordinasi antara kontraktor dengan Manajemen Konstruksi, perencanaan sumber daya, dan pendekatan proaktif pada lingkungan sekitar.
- b. Aktivitas dengan probabilitas rendah perlu perhatian lebih dan pengawasan ketat dalam hal perencanaan dan pelaksanaan.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini mencakup beberapa hal antara lain:

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan skala proyek yang lebih luas dan lebih kompleks dengan melibatkan risiko yang lebih banyak dan dinamis.
2. Dapat dilakukan penelitian lanjutan terkait mitigasi risiko yang ada dengan beberapa metode.
3. Penelitian selanjutnya juga dapat membahas ke arah *controlling, planning, and monitoring* jadwal proyek, sehingga jadwal dapat selalu *up to date*.

6. DAFTAR REFERENSI

- Siahaan, S. B., & Simanjuntak, M. R. A. (2022). Kajian identifikasi risiko pada tahap pelaksanaan proyek konstruksi. Studi kasus : *Multiple project management*. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 22(1), 578-585.
doi.org/10.33087/jiubj.v22i1.1996
- Fu, L., Li, X., Wang, X., & Li, M. (2025). Safety risk propagation in complex construction projects: Insights from metro deep foundations pit projects. *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, 257(A). <https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.110858>
- Alijoyo, A., Wijaya, B., Fisabilillah, A. F. M. S., & Jacob, I. (2019). *Monte carlo simulation: Risk evaluation*. CRMS.
- Ramdani, E. W., Tutuko, P., Budiyanto, H & Susanto. (2022). The role of time and cost control in CPM, PERT and EVA methods in construction projects: A meta-analysis study on evaluation project performance. *Journal of Applied Engineering and Technology*, 1(1), 33-43. <https://doi.org/10.31763/aet.v1i1.668>
- Djohim, M. F. N., Nugroho, A. S. B., & Handayani, T. N. (2024). Risk analysis of modest housing project scheduling using monte carlo simulation. *Journal of Civil Engineering Science and Application*, 26(2), 160-172. <https://doi.org/10.9744/ced.26.2.160-172>
- Nugraha, P. (2021). *Penjadwalan proyek konstruksi*. PT. Kanisius.
- Vose, D. (2008). *Risk analysis: A quantitative guide, 3rd edition*. Wiley
- Soeparyanto, T. S., Nuhun, R., Annisa., Yusran., Ariatno, & Muh. Zulfitriah, L. O. (2024). Analisis penjadwalan proyek dengan metode CPM (Studi kasus pembangunan mushola di mkompleks emplacement PT. X. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 5(1), 17-23. <https://doi.org/10.37253/jcep.v5i1.9206>
- Sugiarta, T. (2021). Analisis penjadwalan proyek remote terminal unit dengan penerapan metode CPM dan PERT di PT. XYZ. *Journal of Industrial Engineering and Management System*, 14(2), 115-139. <https://doi.org/10.30813/jiems.v14i2.2601>
- Wally, S. N., Jamlaay, O., & Marantika, M. (2022). Analisis manajemen resiko pada proyek pembangunan gedung laboratorium terpadu dan perpustakaan MAN 1 Maluku Tengah. *Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Ambong*, 17(2), 61-69.
<https://doi.org/10.21009/jmenara.v17i2.27124>