

ANALISIS PREDIKSI DURASI PADA PEKERJAAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT MENGUNAKAN METODE MONTE CARLO

Cahyo Dita Saputro¹, Abdul Khanif²

^{1,2}Universitas Teknologi Yogyakarta

Email: cahyoditastmt@gmail.com

Abstrak

Keberhasilan sebuah proyek dapat dilihat dari ketepatan waktu dalam menyelesaikannya. Pada umumnya proyek memiliki keterbatasan waktu dan sumber daya, hampir semua proyek konstruksi dipengaruhi oleh risiko dan ketidakpastian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penerapan metode Monte Carlo untuk menentukan durasi pekerjaan struktur pada gedung bertingkat. Metode Monte Carlo adalah teknik komputasi yang digunakan untuk memodelkan ketidakpastian dalam sistem atau proses dengan melakukan simulasi sejumlah besar skenario atau percobaan acak. Berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo pada penelitian ini, diperoleh prediksi durasi pekerjaan struktur gedung bertingkat untuk proyek selanjutnya. Dengan mempertimbangkan metode dan peralatan-peralatan yang digunakan serta luasan bangunan yang hampir sama atau mendekati, maka hasil prediksi dapat dijadikan acuan dalam menentukan durasi pekerjaan struktur gedung bertingkat pada proyek selanjutnya. Total durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan struktur gedung bertingkat dengan luasan $\pm 5.000 \text{ m}^2$ yaitu 84,30 minggu. Kemudian hasil perbandingan antara durasi rencana, durasi aktual dan durasi hasil prediksi, diperoleh rerata selisih yang kecil dan mendekati 1%.

Kata kunci : Proyek Konstruksi, Manajemen Proyek, Metode Monte Carlo.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ekonomi di Indonesia sering kali dipengaruhi oleh sejumlah proyek konstruksi yang dilakukan oleh pemerintah maupun swasta. Proyek-proyek ini tidak hanya mencakup pembangunan infrastruktur, tetapi juga pembangunan properti, fasilitas komersial, dan proyek-proyek lain yang dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Keberhasilan dari sebuah proyek dilihat dari ketepatan waktu dalam menyelesaikannya. Proyek harus diselesaikan sebelum atau tepat pada waktu yang telah direncanakan. Pada umumnya proyek memiliki keterbatasan waktu dan sumber daya, hampir semua proyek konstruksi dipengaruhi oleh risiko dan ketidakpastian. Hal ini dapat menyebabkan proyek mengalami penundaan pengerjaan, pembengkakan biaya dan bahkan kegagalan proyek. Oleh karena itu, merencanakan penjadwalan proyek yang akurat yang mencerminkan potensi risiko dan ketidakpastian adalah salah satu tantangan utama dalam manajemen proyek. Cara yang umum dilakukan untuk memasukan indikator ketidakpastian pada penjadwalan proyek adalah dengan melakukan analisa penjadwalannya secara probabilistik.

Simulasi Monte Carlo menurut Jurnal yang ditulis oleh Fadjar (2008) adalah teknik

pengambilan sampel statistik yang digunakan untuk mengestimasi solusi dari suatu masalah kuantitatif. Pada jurnal yang sama, Project management Institute (2004) menyatakan bahwa dalam bidang manajemen proyek, simulasi Monte Carlo digunakan untuk tujuan menghitung distribusi probabilitas total biaya dan waktu suatu proyek dari distribusi probabilitas biaya dan waktu yang mungkin terjadi. Dijelaskan bahwa nilai-nilai yang dipilih secara acak digunakan untuk menghitung atau mengiterasi biaya dan waktu proyek.

Peran simulasi Monte Carlo pada sebuah proyek sangat penting karena simulasi ini dapat digunakan untuk memprediksi kapan sebuah proyek akan selesai dan juga menghitung biaya proyek yang nanti akan dikeluarkan. Memprediksi merupakan sebuah proses yang bertujuan untuk meramalkan suatu variabel tertentu di masa mendatang dengan berdasarkan pertimbangan data pada masa lampau. Data yang biasa digunakan pada proses ini berupa yaitu data kuantitatif. Hasil prediksi tidak harus bersifat pasti, tetapi setidaknya proses ini berusaha untuk memberikan hasil yang memiliki akurasi setinggi mungkin atau sangat dekat dengan realita di masa mendatang.

Penelitian ini dilakukan pada salah satu proyek gedung bertingkat yang berlokasi di

Yogyakarta. Secara garis besar, penelitian ini bertujuan untuk memprediksi durasi pelaksanaan pekerjaan struktur gedung bertingkat pada proyek berikutnya dan diharapkan dapat dijadikan acuan dalam proses perencanaan penjadwalan proyek pada sub pekerjaan struktur dengan mempertimbangkan karakteristik proyek yang serupa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Proyek

Pada jurnal yang ditulis oleh Panjaitan (2019), mendefinisikan bahwa manajemen proyek adalah suatu rangkaian kegiatan yang saling berkaitan untuk mencapai suatu tujuan tertentu dalam batasan waktu, biaya dan mutu. Ketiga batasan tersebut sering disebut dengan istilah *triple constraint* yang secara garis besar menjelaskan bahwa ketiganya memiliki hubungan yang sangat erat, apabila ada perubahan dalam salah satu elemen, maka akan mempengaruhi dua elemen lainnya.

2.2 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menetapkan jangka waktu dari sebuah proyek yang akan dilaksanakan, bahan baku, tenaga kerja serta waktu yang dibutuhkan untuk setiap aktivitas pekerjaannya. Pada penjadwalan proyek sering terjadi ketidakpastian dalam durasi suatu aktivitas pekerjaan tertentu, sehingga hal ini harus lebih diperhatikan agar tidak terjadi keterlambatan dalam pelaksanaan sebuah proyek. Penjadwalan proyek memiliki peran penting dalam memastikan keberhasilan proyek, oleh karena itu semua risiko dan juga ketidakpastian harus dipertimbangkan selama pengerjaan proyek, untuk mengatur dan menyelesaikan proyek secara cepat dan tepat waktu anda perlu menjadwalkan proyek dengan hati-hati (Santony, 2020). Tujuan penjadwalan proyek adalah sebagai alat kontrol dari segala sesuatu yang berkaitan dengan proses pelaksanaan sebuah proyek konstruksi. Dari penjadwalan kita dapat mengetahui efektivitas dan efisiensi sumber daya yang ada serta progres kemajuan proyek yang sedang berjalan.

2.3 Metode Monte Carlo

Metode Monte Carlo adalah teknik komputasi yang digunakan untuk memodelkan ketidakpastian dalam sistem atau proses dengan melakukan simulasi sejumlah besar skenario atau percobaan acak. Nama "Monte Carlo" berasal dari sebuah Kasino di Monaco yang terkenal dengan perjudian dan kebetulan, hal ini mencerminkan sifat acak dari metode ini.

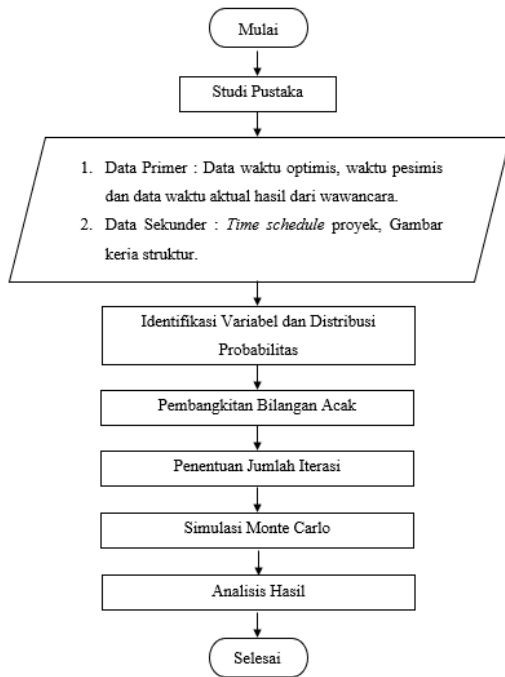
Simulasi Monte Carlo membuat model berdasarkan sistem yang sebenarnya. Setiap variabel dalam model ini mempunyai nilai probabilitas yang berbeda-beda, hal ini ditunjukkan dengan adanya distribusi probabilitas atau sering disebut dengan *probability distribution function* (pdf) dari setiap variabel (Rubinstein & Kroese, 2017).

Pada Metode Monte Carlo diperlukan alat bantu tertentu yang dapat memudahkan pengguna dalam membangun sebuah simulasi, misalnya dengan menggunakan Microsoft Excel. Alat bantu ini sangat memudahkan dalam penggunaan metode Monte Carlo dengan cara membangkitkan random variable atau nilai acak, serta dapat melakukan sejumlah pengulangan proses simulasi melalui serangkaian iterasi. Berikut ini adalah tahapan dalam melakukan simulasi Monte Carlo:

1. Identifikasi variabel dan distribusi probabilitas
2. Pembangkitan bilangan acak
3. Menentukan jumlah iterasi
4. Mengulangi perhitungan nilai acak sebanyak jumlah iterasi yang telah ditentukan
5. Analisis hasil

3. METODOLOGI

Pada proses penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk memastikan penelitiannya berjalan dengan baik dan sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Adapun bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini, penulis memanfaatkan beragam jenis data, termasuk data primer yang diperoleh melalui survei dan wawancara, serta data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber literatur.

Tabel 1. Rekapitulasi luasan bangunan dan durasi rencana proyek, (minggu)

Uraian Pekerjaan	Luasan (m ²)	Rencana (m)
PEKERJAAN STRUKTUR		
LANTAI BASEMENT		
- Pekerjaan Fondasi	771,43	5,00
- Pekerjaan Sloof		5,00
- Pekerjaan Plat -3.25		5,00
- Pekerjaan Kolom LTB s/d LT1		1,00
- Pekerjaan Balok -0.08		4,00
- Pekerjaan Plat -0.08		4,00
LANTAI 1		
- Pekerjaan Kolom LT1 s/d LT2	734,23	2,00
- Pekerjaan Balok +4.72		4,00
- Pekerjaan Plat +4.72		4,00
LANTAI 2		
- Pekerjaan Kolom LT2 s/d LT3	691,43	1,00
- Pekerjaan Balok +8.72		4,00
- Pekerjaan Plat +8.72		4,00
LANTAI 3		
- Pekerjaan Kolom LT3 s/d LT4	691,43	1,00
- Pekerjaan Balok +12.72		3,00
- Pekerjaan Plat +12.72		3,00
LANTAI 4		
- Pekerjaan Kolom LT4 s/d LT5	691,43	1,00
- Pekerjaan Balok +16.72		3,00
- Pekerjaan Plat +16.72		3,00
LANTAI 5		
- Pekerjaan Kolom LT4 s/d LT6	691,43	1,00
- Pekerjaan Balok +20.72		3,00

Lanjutan Tabel 1.

- Pekerjaan Plat +20.72	555,72	3,00
LANTAI 6		
- Pekerjaan Kolom LT6 s/d LT7		1,00
- Pekerjaan Balok +24.72		3,00
- Pekerjaan Plat +24.72		3,00
ATAP	437,70	
- Pekerjaan Kolom Atap s/d Roof Top		1,00
- Pekerjaan Plat +27.30		2,00
JUMLAH	5264,80	76,00

Tabel 2. Rekapitulasi durasi optimis, durasi pesimis dan durasi aktual hasil wawancara, (minggu)

Uraian Pekerjaan	Optimis (m)	Pesimis (m)	Aktual (m)
PEKERJAAN STRUKTUR			
LANTAI BASEMENT			
- Pekerjaan Fondasi	3,50	7,50	4,50
- Pekerjaan Sloof	4,00	6,00	4,50
- Pekerjaan Plat -3.25	4,00	6,00	4,00
- Pekerjaan Kolom LTB s/d LT1	1,00	2,00	1,50
- Pekerjaan Balok -0.08	3,00	5,50	3,00
- Pekerjaan Plat -0.08	3,00	5,50	3,00
LANTAI 1			
- Pekerjaan Kolom LT1 s/d LT2	1,50	3,00	1,50
- Pekerjaan Balok +4.72	3,50	5,00	3,00
- Pekerjaan Plat +4.72	3,00	5,00	3,00
LANTAI 2			
- Pekerjaan Kolom LT2 s/d LT3	1,00	2,50	1,00
- Pekerjaan Balok +8.72	3,00	5,50	3,50
- Pekerjaan Plat +8.72	3,00	5,50	3,50
LANTAI 3			
- Pekerjaan Kolom LT3 s/d LT4	1,00	2,00	1,00
- Pekerjaan Balok +12.72	2,00	4,50	3,00
- Pekerjaan Plat +12.72	2,00	4,50	3,00
LANTAI 4			
- Pekerjaan Kolom LT4 s/d LT5	1,00	2,00	1,00
- Pekerjaan Balok +16.72	2,00	4,50	3,00
- Pekerjaan Plat +16.72	2,00	4,50	3,00
LANTAI 5			
- Pekerjaan Kolom LT4 s/d LT6	1,00	2,00	1,00
- Pekerjaan Balok +20.72	2,00	4,50	3,00
- Pekerjaan Plat +20.72	2,00	4,50	3,00
LANTAI 6			
- Pekerjaan Kolom LT6 s/d LT7	1,00	2,00	1,00
- Pekerjaan Balok +24.72	2,00	4,50	3,00
- Pekerjaan Plat +24.72	2,00	4,50	3,00
ATAP			
- Pekerjaan Kolom Atap s/d Roof Top	1,00	2,00	1,50
- Pekerjaan Balok +27.30	1,00	3,50	2,00
- Pekerjaan Plat +27.30	1,00	3,50	2,00
JUMLAH	56,50	112,00	69,50

4.2 Analisis Data

Setelah semua data terkumpul selanjutnya akan dilakukan simulasi Monte Carlo sesuai dengan tahapan yang dijelaskan pada bagan alir penelitian.

4.2.1 Identifikasi Variabel dan Distribusi Probabilitas

Pada penelitian ini variabel didefinisikan sebagai rangkaian proses atau aktivitas yang akan ditinjau. Penelitian ini menggunakan

beberapa parameter sebagai tolak ukur atau data penunjang dalam menghasilkan analisis yang lebih akurat. Data parameter ini dihasilkan melalui wawancara langsung di lapangan dengan pihak terkait proyek pembangunan objek yang ditinjau. Pada metode Monte Carlo terdapat beberapa jenis distribusi yang sering digunakan, antara lain:

- Distribusi normal, jika probabilitas variabel terjadi berada diantara nol (0) dan satu (1).
- Distribusi seragam (*uniform*), jika probabilitas variabel terjadi memiliki kesempatan yang sama.
- Distribusi segitiga (*triangular*), jika probabilitas variabel terjadi berdasarkan pada kategori minimum / jarang terjadi, menengah / mungkin terjadi, dan maksimum / sering terjadi.

Berdasarkan uraian diatas maka pada penelitian ini data yang telah tersedia akan diolah menggunakan distribusi segitiga (*triangular*).

4.2.2 Pembangkitan Bilangan Acak

Bilangan acak diperoleh dengan memperhatikan jenis distribusi yang telah ditetapkan. Berdasarkan distribusi segitiga (*triangular*), variabel terdistribusi diantara durasi waktu minimum dan waktu maksimum. Pembangkitan bilangan acak dilakukan menggunakan program Microsoft Excel dengan formula: =RAND()*(waktu maksimum – waktu minimum) + waktu minimum. Jika pengulangan pembangkitan bilangan acak dilakukan dengan data yang sama, maka bilangan atau nilai acak yang dihasilkan akan berbeda. Selain itu, setiap operasi atau perhitungan apapun yang dilakukan pada lembar kerja program Microsoft Excel yang menghasilkan bilangan acak akan terus berubah secara otomatis. Untuk mengatasi perubahan-perubahan tersebut, setelah bilangan acak sudah dibangkitkan sesuai dengan kebutuhan maka perlu dilakukan *copy paste* pada nilainya saja.

4.2.3 Penentuan Jumlah Iterasi

Ada 2 (dua) tahapan yang harus dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan jumlah iterasi, antara lain: menghitung standar deviasi dan menghitung nilai error. Hal yang harus diperhatikan yaitu pada perhitungan nilai error. Penentuan nilai presentase kesalahan absolut harus berdasarkan *range* MAPE yang telah diuraikan pada bab landasan teori. Untuk memperoleh hasil peramalan yang sangat baik maka digunakan *range* MAPE kurang dari 10%.

Pada penelitian ini, digunakan nilai kesalahan absolut 1% karena merupakan presentasi yang paling kecil.

- Menghitung Nilai Standar Deviasi
Standar deviasi dihitung berdasarkan total durasi waktu optimis dan waktu pesimis dari data setiap objek penelitiannya. Untuk menghitung nilainya dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_{i,2} - \mu)^2}{N}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(56,50 - 84,25)^2 + (112,00 - 84,25)^2}{2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1,542,90}{2}} = 27,75 \text{ minggu}$$

- Menghitung Nilai Error
Nilai kesalahan atau error dapat dihitung menggunakan rumus = nilai rata-rata x nilai kesalahan absolut.
Nilai Error (1%) = 84,25 x 1%
= 0,843

- Menghitung Jumlah Iterasi
Setelah nilai standar deviasi dan nilai error diperoleh, maka digunakan rumus:

$$\epsilon = \frac{3\sigma}{\sqrt{N}}$$

$$N = \left(\frac{3 \times 27,75}{0,843} \right)^2$$

$$= 9.764$$

Hasil dari perhitungan matematis, diperlukan 9.764 kali iterasi dalam proses simulasi.

4.2.4 Simulasi Monte Carlo

Simulasi dilakukan dengan cara mengulangi seluruh perhitungan nilai acak sebanyak jumlah iterasi yang telah diperoleh setiap objek penelitian. Hasil simulasi Monte Carlo diperoleh berdasarkan nilai rata-rata seluruh bilangan acak yang sudah dibangkitkan sebanyak jumlah iterasi yang telah ditentukan.

4.2.5 Analisis Hasil

Hasil simulasi Monte Carlo merupakan prediksi durasi pekerjaan struktur gedung bertingkat untuk proyek berikutnya. Dengan mempertimbangkan metode dan peralatan-peralatan yang digunakan serta luasan bangunan yang hampir sama atau mendekati, maka hasil prediksi dapat dijadikan acuan dalam menentukan durasi pekerjaan struktur gedung bertingkat pada proyek berikutnya. Pada penelitian ini, akan dilakukan perbandingan pada

3 (tiga) variabel, antara lain durasi rencana, durasi aktual dan durasi hasil prediksi. Tujuan dari perbandingan tersebut adalah untuk mengetahui presentase rerata selisih dari ketiga variabel tersebut.

Tabel 3. Perbandingan durasi rencana dengan durasi aktual, (minggu)

Uraian Pekerjaan	Rencana (m)	Aktual (m)	Selisih (%)
PEKERJAAN STRUKTUR			
LANTAI BASEMENT			
- Pekerjaan Fondasi	5,00	4,50	0,10
- Pekerjaan Sloof	5,00	4,50	0,10
- Pekerjaan Plat -3.25	5,00	4,00	0,20
- Pekerjaan Kolom LTB s/d LT1	1,00	1,50	0,50
- Pekerjaan Balok -0.08	4,00	3,00	0,25
- Pekerjaan Plat -0.08	4,00	3,00	0,25
LANTAI 1			
- Pekerjaan Kolom LT1 s/d LT2	2,00	1,50	0,25
- Pekerjaan Balok +4.72	4,00	3,00	0,25
- Pekerjaan Plat +4.72	4,00	3,00	0,25
LANTAI 2			
- Pekerjaan Kolom LT2 s/d LT3	1,00	1,00	0,00
- Pekerjaan Balok +8.72	4,00	3,50	0,13
- Pekerjaan Plat +8.72	4,00	3,50	0,13
LANTAI 3			
- Pekerjaan Kolom LT3 s/d LT4	1,00	1,00	0,00
- Pekerjaan Balok +12.72	3,00	3,00	0,00
- Pekerjaan Plat +12.72	3,00	3,00	0,00
LANTAI 4			
- Pekerjaan Kolom LT4 s/d LT5	1,00	1,00	0,00
- Pekerjaan Balok +16.72	3,00	3,00	0,00
- Pekerjaan Plat +16.72	3,00	3,00	0,00
LANTAI 5			
- Pekerjaan Kolom LT4 s/d LT6	1,00	1,00	0,00
- Pekerjaan Balok +20.72	3,00	3,00	0,00
- Pekerjaan Plat +20.72	3,00	3,00	0,00
LANTAI 6			
- Pekerjaan Kolom LT6 s/d LT7	1,00	1,00	0,00
- Pekerjaan Balok +24.72	3,00	3,00	0,00
- Pekerjaan Plat +24.72	3,00	3,00	0,00
ATAP			
- Pekerjaan Kolom Atap s/d Roof Top	1,00	1,50	0,50
- Pekerjaan Balok +27.30	2,00	2,00	0,00
- Pekerjaan Plat +27.30	2,00	2,00	0,00
JUMLAH	76,00	69,50	
RERATA			0,11

Tabel 4. Perbandingan durasi rencana dengan durasi hasil prediksi, (minggu)

Uraian Pekerjaan	Rencana (m)	Prediksi (m)	Selisih (%)
PEKERJAAN STRUKTUR			
LANTAI BASEMENT			
- Pekerjaan Fondasi	5,00	5,50	0,10
- Pekerjaan Sloof	5,00	5,00	0,00
- Pekerjaan Plat -3.25	5,00	5,01	0,00

Lanjutan Tabel 4

- Pekerjaan Kolom LTB s/d LT1	1,00	1,50	0,50
- Pekerjaan Balok -0.08	4,00	4,25	0,06
- Pekerjaan Plat -0.08	4,00	4,26	0,07
LANTAI 1			
- Pekerjaan Kolom LT1 s/d LT2	2,00	2,25	0,13
- Pekerjaan Balok +4.72	4,00	4,25	0,06
- Pekerjaan Plat +4.72	4,00	4,01	0,00
LANTAI 2			
- Pekerjaan Kolom LT2 s/d LT3	1,00	1,75	0,75
- Pekerjaan Balok +8.72	4,00	4,25	0,06
- Pekerjaan Plat +8.72	4,00	4,25	0,06
LANTAI 3			
- Pekerjaan Kolom LT3 s/d LT4	1,00	1,50	0,50
- Pekerjaan Balok +12.72	3,00	3,25	0,08
- Pekerjaan Plat +12.72	3,00	3,25	0,08
LANTAI 4			
- Pekerjaan Kolom LT4 s/d LT5	1,00	1,50	0,50
- Pekerjaan Balok +16.72	3,00	3,24	0,08
- Pekerjaan Plat +16.72	3,00	3,26	0,09
LANTAI 5			
- Pekerjaan Kolom LT4 s/d LT6	1,00	1,50	0,50
- Pekerjaan Balok +20.72	3,00	3,25	0,08
- Pekerjaan Plat +20.72	3,00	3,26	0,09
LANTAI 6			
- Pekerjaan Kolom LT6 s/d LT7	1,00	1,50	0,50
- Pekerjaan Balok +24.72	3,00	3,25	0,08
- Pekerjaan Plat +24.72	3,00	3,25	0,08
ATAP			
- Pekerjaan Kolom Atap s/d Roof Top	1,00	1,50	0,50
- Pekerjaan Balok +27.30	2,00	2,25	0,12
- Pekerjaan Plat +27.30	2,00	2,25	0,13
JUMLAH	76,00	84,30	
RERATA			0,19

Berdasarkan hasil perbandingan yang dilakukan diperoleh rerata selisihnya. Pada perbandingan durasi rencana dengan durasi aktual diperoleh rerata selisih 0,11%. Sedangkan pada perbandingan durasi rencana dengan durasi hasil prediksi diperoleh rerata selisih 0,19%. Dari kedua hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi ini dapat dijadikan acuan untuk menentukan durasi pekerjaan struktur gedung bertingkat pada proyek berikutnya karena memiliki rerata selisih yang kecil dan mendekati 1%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis melalui penerapan metode Monte Carlo pada penjadwalan proyek pekerjaan struktur gedung bertingkat, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo pada penelitian ini, diperoleh prediksi

durasi pekerjaan struktur gedung bertingkat untuk proyek berikutnya. Dengan mempertimbangkan metode dan peralatan-peralatan yang digunakan serta luasan bangunan yang hampir sama atau mendekati, maka hasil prediksi dapat dijadikan acuan dalam menentukan durasi pekerjaan struktur gedung bertingkat pada proyek selanjutnya. Total durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan struktur gedung bertingkat dengan luasan $\pm 5.000 \text{ m}^2$ yaitu 84,30 minggu.

2. Rerata selisih hasil perbandingan durasi rencana dengan durasi aktual diperoleh sebesar 0,11% dan 0,19% untuk perbandingan durasi rencana dengan durasi prediksi hasil simulasi Monte Carlo. Pada perbandingan tersebut, diperoleh kesimpulan hasil prediksi dapat digunakan untuk proyek selanjutnya karena memiliki rerata selisih yang kecil atau mendekati 1%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alijoyo, A., Wijaya, B., & Jacob, I. (2019). *Monte Carlo Simulation. Center for Risk Management & Sustainability*.
- Dewi, R. (2020). Simulasi Monte Carlo dengan Crystal Ball Dalam Estimasi Proyek (Studi Kasus Proyek Konstruksi Bangunan di Tuban Bali). *Jurnal Teknik Sipil*.
- Fadjar, A. (2008). Aplikasi Simulasi Monte Carlo dalam Estimasi Biaya Proyek. *Jurnal SMARTek*.
- Lusiana, A., & Yuliarty, P. (2020). Penerapan Metode Peramalan (Forecasting) Pada Permintaan Atap di PT X. *Jurnal Teknik Industri ITN Malang*.
- Panjaitan, S. R. S. (2019). Optimasi Waktu Pengerjaan Proyek Menggunakan Simulasi Monte Carlo Pada Proyek Konstruksi Hotel Y Oleh PT X. *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*.
- Project manajement Institute. (2004). *A Guide to the Project Manajement Body of Knowledge: PMBOK Guide (3rd ed.)*. Newton Square, Pennsylvania: Project Manajement Institute.
- Putri, C. A. R., & Prabowo, A. W. (2023). Simulasi Monte Carlo dan *Real Option Valuation* Pada Perhitungan Kelayakan Finansial Dormitory Politeknik Astra.
- Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2017). *Simulation and the Monte Carlo Method: Third Edition. In Simulation and the Monte Carlo Method: Third Edition*.
- Santony, J. (2020). Simulasi Penjadwalan Proyek Pembangunan Jembatan Gantung dengan Metode Monte Carlo. *Jurnal Informasi & Teknologi*.
- Wahab, A., Syahid, A., & Junaedi. (2021). Penyajian Data Dalam Tabel Distribusi Frekuensi Dan Aplikasinya Pada Ilmu Pendidikan. *Education and Learning Journal*.
- Wijaya, F. S., & Sulistio, H. (2019). Penerapan Metode Monte Carlo Pada Penjadwalan Proyek Serpong Garden Apartment. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*.