

Analisis Penjadwalan Proyek Pembangunan Gudang Marunda Menggunakan Simulasi Monte Carlo

Raihana Nabilla Dhani Erviani dan Cahyono Bintang Nurcahyo
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS)
e-mail: bintang@ce.its.ac.id

Abstrak—Setiap proyek memiliki risiko dan ketidakpastian dalam pelaksanaannya, sehingga dapat menyebabkan adanya ketidaksesuaian dalam penyelesaian pekerjaan. Ketidaksesuaian tersebut dapat mengakibatkan keterlambatan waktu penyelesaian proyek. Agar hal ini tidak terjadi, dibutuhkan analisis penjadwalan yang ikut mempertimbangkan faktor ketidakpastian, yaitu menganalisis menggunakan metode penjadwalan probabilistik, contohnya dengan menggunakan Simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo adalah teknik yang menghitung dan mengiterasi, biaya atau jadwal proyek berkali-kali menggunakan nilai input yang dipilih secara acak dari distribusi probabilitas kemungkinan biaya atau waktu yang terjadi. Proyek konstruksi Gudang Marunda yang berlokasi di Kawasan Industri dan Pergudangan Marunda, Kabupaten Bekasi, memiliki risiko adanya keterlambatan dalam kegiatan pembangunannya yang akan mempengaruhi waktu penyelesaian proyek. Dengan menggunakan Simulasi Monte Carlo, diharapkan dapat mengetahui perbandingan antara penjadwalan deterministik dan probabilistik. Berdasarkan Simulasi Monte Carlo yang telah dilakukan, ditemukan tiga kemungkinan durasi dalam proyek pembangunan Gudang Marunda. Durasi pertama adalah durasi pesimis dengan lama 107 hari dimana kemungkinan terjadinya sebesar 94,87%. Selanjutnya adalah durasi optimis dimana akan memakan waktu selama 91 hari dengan persentase terjadinya sebesar 11,17%. Terakhir, durasi yang paling mungkin berdasarkan simulasi adalah selama 97 hari dengan persentase kemungkinan terjadi sebesar 51,9%. Sedangkan, Perencanaan durasi secara deterministik yang telah dilakukan berjumlah 98 hari dengan persentase kemungkinan terjadinya sejumlah 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.

Kata Kunci—Penjadwalan, Probabilitas, Simulasi Monte Carlo.

I. PENDAHULUAN

WALAU PUN perencanaan sebuah proyek konstruksi telah dilakukan sedemikian rupa, dalam pelaksanaannya belum tentu berjalan sempurna sesuai yang diharapkan. Setiap proyek memiliki risiko dan ketidakpastian dalam pelaksanaan di lapangan, sehingga dapat menyebabkan adanya ketidaksesuaian antara target yang diharapkan dan hasil nyata di lapangan. Salah satu ketidaksesuaian yang terjadi antara lain adanya keterlambatan dalam penyelesaian proyek. Dimana, dengan adanya keterlambatan waktu proyek juga dapat menyebabkan kerugian dalam biaya atau mutu dari pekerjaan proyek tersebut.

Seperti dalam proyek pembangunan Gudang Marunda ini, dimana Gudang Marunda ini akan berfungsi sebagai *warehouse* atau Gudang penyimpanan dari salah satu *e-commerce* ternama di Indonesia. Berdasarkan data pendataan *seller*/penjual yang terdaftar pada Bulan April 2022, terjadi

peningkatan hingga sepuluh kali lipat dari sebelumnya, yang menyebabkan kebutuhan area Gudang Penyimpanan yang cukup besar dan mendesak. Dengan adanya pembangunan Gudang ini akan menarik hampir 60%-80% *buyer*/pembeli yang tentunya akan menjadi profit bagi *e-commerce* tersebut. Apabila adanya keterlambatan dalam pembangunan Gudang penyimpanannya, maka proses jual-beli yang direncanakan akan terhambat. Hal ini menyebabkan adanya kerugian biaya bagi pihak *e-commerce* tersebut (sumber: *owner*). Maka dari itu, diperlukan adanya penjadwalan yang tepat dimana dapat mempertimbangkan adanya faktor ketidakpastian di lapangan dalam penjadwalannya.

Agar hal tersebut dapat diantisipasi, yang dapat dilakukan adalah dengan membuat penjadwalan secara probabilistik dimana ikut mempertimbangkan aspek ketidakpastian dalam proses perumusan durasi waktu proyek [1]. Penjadwalan probabilistik dapat menggunakan banyak metode yang ada atau kombinasi dari beberapa metode untuk mendapatkan kemungkinan terbesar dari penjadwalan dan mengurangi risiko adanya ketidaksesuaian jadwal dalam proyek konstruksi, contohnya dengan menggunakan Simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo adalah teknik yang menghitung dan mengiterasi, biaya atau jadwal proyek berkali-kali menggunakan nilai input yang dipilih secara acak dari distribusi probabilitas kemungkinan biaya atau waktu yang terjadi, untuk menghitung distribusi kemungkinan total biaya proyek atau tanggal penyelesaian proyek [3]. Penerapan simulasi ini diharapkan dapat menjadi alternatif dalam penjadwalan/alokasi durasi yang dapat membantu dalam perencanaan lebih lanjut mengenai durasi pelaksanaan proyek.

A. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut, yaitu:

1. Berapakah durasi pesimis, durasi optimis, dan durasi paling mungkin dari proyek pembangunan Gudang Marunda berdasarkan Simulasi Monte Carlo?
2. Bagaimana perbandingan antara durasi rencana proyek pembangunan Gudang Marunda menggunakan penjadwalan probabilistik dan deterministik?

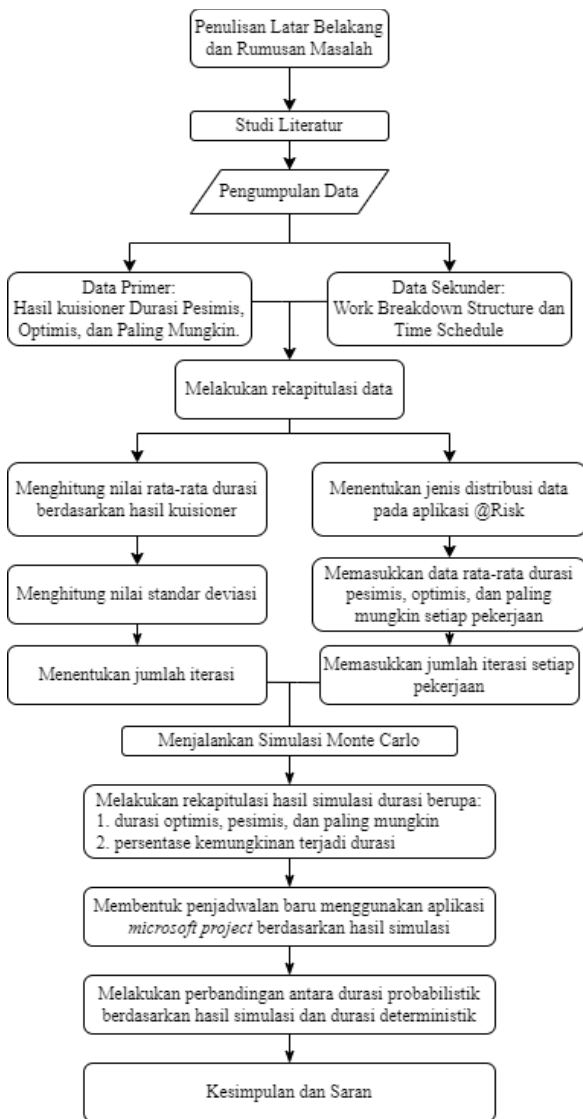
B. Batasan Masalah

Pada pembahasan ini, masalah dibatasi antara lain:

1. Penelitian dilakukan terhadap waktu pelaksanaan proyek.
2. Penelitian dilakukan menggunakan Simulasi Monte Carlo.
3. Penelitian dilakukan pada durasi pekerjaan struktur.

C. Manfaat

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:



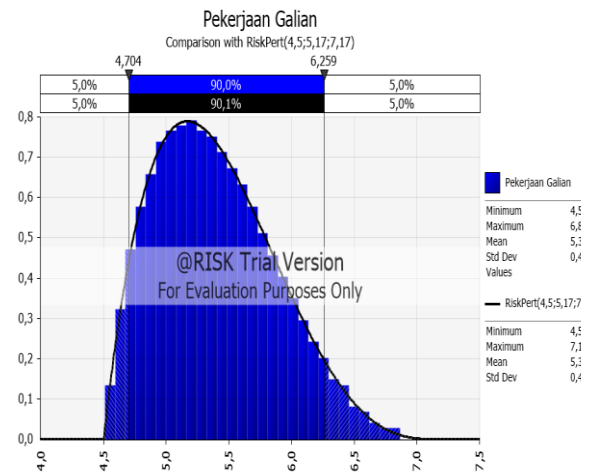
Gambar 1. Diagram Alir Penyelesaian Penelitian.

1. Menentu kan hasil analisis durasi proyek menggunakan Simulasi Monte Carlo.
2. Mengetahui perbandingan antara durasi penjadwalan probabilistic menggunakan Simulasi Monte Carlo dan deterministik pada proyek pembangunan Gudang Marunda.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Manajemen Proyek

Manajemen proyek dapat didefinisikan sebagai suatu rangkaian kegiatan untuk mencapai tujuan tertentu dengan batasan waktu, biaya, dan mutu. Dimana memanfaatkan sumber daya yang ada, seperti manusia, material, peralatan, metode, uang, dan informasi [3]. Sedangkan dalam PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), dijelaskan bahwa manajemen proyek adalah pengaplikasian pengetahuan, kemampuan, alat, dan teknik dalam menjalankan aktivitas proyek untuk memenuhi persyaratan yang ditentukan. Manajemen proyek sendiri dapat dicapai melalui integrasi dari berbagai proses inisiasi, perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, pengontrolan, dan penutupan. Manajemen proyek ini sendiri meliputi banyak area manajemen, antara lain:



Gambar 2. Grafik Hasil Simulasi.

1. Manajemen Integrasi (*project integration management*), menjelaskan proses dan aktivitas yang mengintegrasikan beberapa elemen dari manajemen proyek.
2. Manajemen Lingkup (*project scope management*), dimana merupakan proses yang terlibat dalam memastikan bahwa proyek sudah memenuhi semua pekerjaan yang ditentukan dan hanya pekerjaan tersebut yang dilakukan.
3. Manajemen Waktu (*project time management*), menjelaskan proses yang berkenaan dengan waktu penyelesaian dari proyek.
4. Manajemen Biaya (*project cost management*), yaitu proses yang berhubungan dengan perencanaan, perkiraan, penganggaran, dan pemeriksaan biaya sehingga proyek dapat diselesaikan dengan budget yang ditentukan.
5. Manajemen Kualitas (*project quality management*), atau proses yang terlibat dalam memastikan bahwa hasil akhir proyek akan memenuhi target yang diberikan.
6. Manajemen SDM (*project human resource management*), menjelaskan proses pengaturan dan pengelolaan tim yang terlibat dalam proyek.
7. Manajemen Komunikasi (*project communication management*), adalah proses yang bertujuan untuk memastikan informasi yang tersampaikan, diterima, dan dimengerti oleh orang-orang yang tepat.
8. Manajemen Risiko (*project risk management*), yaitu proses yang berhubungan dengan menentukan resiko dan cara mengontrolnya dalam sebuah proyek.
9. Manajemen Pengadaan (*project procurement management*), menjelaskan proses menjual atau memperoleh servis atau hasil, termasuk proses manajemen kontrak.

Sebuah proses manajemen akan dijadikan sebagai acuan dalam melaksanakan kegiatan untuk mencapai tujuan. Dalam pelaksanaannya, manajemen memiliki lima fungsi, yaitu:

1. Perencanaan (*planning*), hasilnya berupa konsep sederhana berisi prosedur dan proses dalam menyelesaikan proyek
2. Pengaturan (*organizing*), kegiatan mengorganisir sumber daya yang ada sesuai dengan rencana proyek.
3. Pelaksanaan (*Actuating*), implementasi perencanaan yang telah dibuat agar tujuan dapat tercapai, dimana sering ditemukannya perubahan pada perencanaan.
4. Pengendalian (*Controlling*), kegiatan yang dilakukan untuk memastikan bahwa kerja yang dilakukan

Tabel 1.
Rekapitulasi Durasi Rencana dan Hasil Kuisioner

No	Jenis Pekerjaan	Hasil Kuisioner			Durasi Rencana
		O	PM	P	
1	Pekerjaan Pondasi Tapak				
2	Pekerjaan Galian	4,50	5,17	7,17	5
3	Pekerjaan Pembesian	4,67	5,50	6,83	5
4	Pekerjaan Bekisting Menggunakan Multiplek	3,00	3,50	5,50	3
5	Pekerjaan Cor Beton $f_c'=25$ Mpa	1,83	2,33	4,67	2
6	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	1,17	2,00	3,17	2
7	Pekerjaan Urug Kembali Bekas Galian	2,17	2,67	3,83	3
8	Pekerjaan Kolom Pedestal				
9	Pekerjaan Pembesian	3,67	5,33	6,50	3
10	Pekerjaan Bekisting Menggunakan Multiplek	2,50	4,00	5,67	2
11	Pekerjaan Cor Beton $f_c'=25$ Mpa	1,83	2,33	3,33	2
12	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	1,00	1,50	3,00	2
13	Pekerjaan Sloof				
14	Area Gudang				
15	Pekerjaan Pembesian Sloof	6,50	8,17	10,00	5
16	Pekerjaan Bekisting Sloof	4,33	5,83	8,00	4
17	Pekerjaan Pengecoran Sloof	2,17	3,67	5,17	4
18	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	1,50	2,00	3,17	2
19	Area Pos Security				
20	Pekerjaan Pembesian Sloof	1,67	2,50	4,00	3
21	Pekerjaan Bekisting Sloof	1,50	2,67	3,50	3
22	Pekerjaan Pengecoran Sloof	1,00	1,00	1,83	1
23	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	1,00	1,00	2,00	1
24	Pekerjaan Kolom Lantai 1				
25	Area Gudang				
26	Baja Profil H 250x250x9x14	18,00	20,00	22,67	14
27	Baja Profil WF 250x125x6x9	18,00	20,00	22,67	14
28	Baja Profil H 350x350x13x19	18,00	20,00	22,67	14
29	Area Pos Security				
30	Pekerjaan Pembesian	1,67	2,67	4,67	3
31	Pekerjaan Bekisting	1,33	2,00	3,33	2
32	Pekerjaan Pengecoran	1,00	1,33	3,00	1
33	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	1,00	1,00	2,00	1
34	Pekerjaan Kolom Lantai 2				
35	Baja Profil H 250x250x9x14	11,50	13,83	15,83	14
36	Baja Profil WF 250x125x6x9	11,50	13,83	15,83	14
37	Baja Profil H 350x350x13x19	11,50	13,83	15,83	14
38	Pekerjaan Balok Lantai 2				
39	Baja Profil WF 450x200x9x14	12,67	14,33	16,17	14
40	Baja Profil WF 250x125x6x9	12,67	14,33	16,17	14
41	Baja Profil WF 200x100x5x5	12,67	14,33	16,17	14
42	Pekerjaan Pelat Lantai 2				
43	Bekisting Bondek $T=0,75$ mm	8,33	9,00	11,33	9
44	Pasang Wiremesh M8-150 (Ulir)	4,50	5,17	7,83	6
45	Pasang Perancah Bambu	1,00	2,00	3,50	2
46	Cor Beton Ready Mix $f_c'=25$ Mpa	2,17	3,17	4,50	3
47	Pekerjaan Tangga				
48	Pekerjaan Tangga Besi 1	11,00	13,33	15,50	14
49	Pekerjaan Tangga Besi 2	11,00	13,33	15,50	14
50	Pekerjaan Tangga Besi 3	11,00	13,33	15,50	14
51	Pekerjaan Rangka Atap				
52	Struktur Rangka Atap Baja Berat	17,33	19,67	23,50	21
53	Struktur Rangka Atap Baja Ringan Pos Security	17,33	19,67	23,50	21
54	Pasang Atap Polycarbonat	17,33	19,67	23,50	21
55	Pasang Atap Genteng Metal	17,33	19,67	23,50	21
56	Pasang Nok Genteng Metal	17,33	19,67	23,50	21
57	Pasang List Pang Baja Ringan	17,33	19,67	23,50	21

mengalami penyimpangan paling minimal dan hasil paling maksimal.

B. Penjadwalan Probabilistik

Penjadwalan proyek adalah salah satu proses perencanaan dimana mengalokasikan waktu untuk masing-masing kegiatan pekerjaan dalam proyek dengan mempertimbangkan keterbatasan yang ada guna mencapai hasil yang optimal [4]. Penjadwalan probabilistik adalah jaringan dengan semua elemen dari rencana deterministik, tetapi jangka waktu adalah variabel-variabel acak atau dengan mempertimbangkan ketidakpastian (kemungkinan). Penjadwalan probabilistik dapat melihat variasi jadwal dan memberikan kesempatan

bagi manajemen untuk mempersiapkan ketidakpastian sebelum proyek dimulai. Hal ini sesuai dengan karakteristik proyek konstruksi, yaitu tingkat risiko yang tinggi terhadap setiap perubahan yang terjadi, baik perubahan sistem politik, cuaca, ketergantungan buruh, kegagalan konstruksi, ketergantungan pihak lain, dan lain sebagainya [5]. Contoh metode yang digunakan adalah dengan metode PERT (Program Evaluation and Review Technique) dan Simulasi Monte Carlo. Secara garis besar, penjadwalan probabilistik memiliki komponen pekerjaan yang pasti namun dengan durasi yang berupa variabel random. Dengan ciri-ciri yang ada sebagai berikut:

Tabel 2.
Hasil Simulasi Monte Carlo

No	Jenis Pekerjaan	Durasi Rencana	Hasil Simulasi					
			Optimis	%	Paling Mungkin	%	Pesimis	%
1	Pekerjaan Pondasi Tapak							
2	Pekerjaan Galian	5	5	19,00%	6	57,2%	7	94,00%
3	Pekerjaan Pembesian	5	5	10,00%	6	59,1%	7	92,00%
4	Pekerjaan Bekisting Menggunakan Multiplek	3	4	24,00%	4	58,0%	6	100,00%
5	Pekerjaan Cor Beton $f_c'=25$ Mpa	2	2	24,40%	3	68,7%	5	98,00%
6	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	2	2	3,60%	3	77,0%	4	100,00%
7	Pekerjaan Urug Kembali Bekas Galian	3	3	15,00%	3	45,0%	4	100,00%
8	Pekerjaan Kolom Pedestal							
9	Pekerjaan Pembesian	3	4	4,00%	6	67,0%	7	94,00%
10	Pekerjaan Bekisting Menggunakan Multiplek	2	3	2,00%	5	59,5%	6	91,50%
11	Pekerjaan Cor Beton $f_c'=25$ Mpa	2	2	13,00%	3	34,0%	4	100,00%
12	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	2	2	16,00%	2	66,0%	3	100,00%
13	Pekerjaan Sloof							
14	Area Gudang							
15	Pekerjaan Pembesian Sloof	5	7	5,50%	9	54,5%	10	84,00%
16	Pekerjaan Bekisting Sloof	4	5	4,50%	6	52,0%	8	96,00%
17	Pekerjaan Pengecoran Sloof	4	3	1,50%	4	63,0%	6	92,50%
18	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	2	2	14,00%	3	55,0%	4	92,00%
19	Area Pos Security							
20	Pekerjaan Pembesian Sloof	3	2	6,50%	3	63,5%	4	95,00%
21	Pekerjaan Bekisting Sloof	3	2	2,50%	3	45,0%	4	100,00%
22	Pekerjaan Pengecoran Sloof	1	1	6,50%	2	57,5%	2	99,50%
23	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	1	1	40,00%	2	70,0%	2	100,00%
24	Pekerjaan Kolom Lantai 1							
25	Area Gudang							
26	Baja Profil H 250x250x9x14	14	19	3,00%	21	42,0%	23	95,50%
27	Baja Profil WF 250x125x6x9	14	19	8,46%	21	41,5%	23	97,50%
28	Baja Profil H 350x350x13x19	14	19	5,50%	21	42,0%	23	98,50%
29	Area Pos Security							
30	Pekerjaan Pembesian	3	2	4,50%	3	66,0%	5	95,00%
31	Pekerjaan Bekisting	2	2	6,00%	3	68,5%	4	92,00%
32	Pekerjaan Pengecoran	1	1	37,00%	2	70,0%	3	100,00%
33	Pekerjaan Bongkaran Bekisting	1	1	100,00%	2	44,0%	2	95,00%
34	Pekerjaan Kolom Lantai 2							
35	Baja Profil H 250x250x9x14	14	12	3,50%	14	44,5%	16	93,50%
36	Baja Profil WF 250x125x6x9	14	12	1,80%	14	42,8%	16	93,20%
37	Baja Profil H 350x350x13x19	14	12	3,50%	14	44,3%	16	93,50%
38	Pekerjaan Balok Lantai 2							
39	Baja Profil WF 450x200x9x14	14	13	7,00%	15	54,5%	16	100,00%
40	Baja Profil WF 250x125x6x9	14	13	6,50%	15	57,5%	17	93,00%
41	Baja Profil WF 200x100x5x5	14	13	13,50%	15	54,5%	16	97,00%
42	Pekerjaan Pelat Lantai 2							
43	Bekisting Bondek T=0,75 mm	9	9	15,00%	10	55,5%	11	95,00%
44	Pasang Wiremesh M8-150 (Ulir)	6	5	18,00%	6	67,5%	8	91,00%
45	Pasang Perancah Bambu	2	2	3,00%	3	76,5%	4	91,00%
46	Cor Beton Ready Mix $f_c'=25$ Mpa	3	3	4,50%	4	44,0%	5	92,00%
47	Pekerjaan Tangga							
48	Pekerjaan Tangga Besi 1	14	12	3,00%	14	42,0%	16	94,50%
49	Pekerjaan Tangga Besi 2	14	12	3,00%	14	41,8%	16	91,50%
50	Pekerjaan Tangga Besi 3	14	12	4,50%	14	42,0%	16	93,00%
51	Pekerjaan Rangka Atap							
52	Struktur Rangka Atap Baja Berat	21	18	6,25%	20	31,8%	24	91,25%
53	Struktur Rangka Atap Baja Ringan Pos Security	21	18	2,50%	20	32,0%	24	91,25%
54	Pasang Atap Polycarbonat	21	18	5,00%	20	31,0%	24	91,25%
55	Pasang Atap Genteng Metal	21	18	5,25%	20	31,7%	23	92,50%
56	Pasang Nok Genteng Metal	21	18	6,50%	20	31,8%	23	94,00%
57	Pasang List Pang Baja Ringan	21	18	2,50%	20	32,3%	23	93,70%

1. Durasi yang digunakan bukan sekedar acak, tapi merupakan variabel acak yang ditentukan melalui distribusi probabilitas.
2. Teknik *three point estimates* dapat dilakukan untuk menentukan variabel acak ini.
3. Total durasi semua pekerjaan merupakan angka acak berdasarkan hasil distribusi probabilitas.

Dalam menentukan variabel acak dalam penjadwalan probabilistik dapat menggunakan teknik *three point estimates* yang menunjukkan titik 0% dan 100% dari distribusi

probabilistik. Pendekatan yang dilakukan berdasarkan tiga durasi sebagai berikut:

1. Kemungkinan paling cepat/*optimistic estimates* (O) terjadi ketika pekerjaan dianggap berjalan tidak sesuai rencana dan persentase terjadinya ketidaksesuaian rendah.
2. Kemungkinan paling lama/*pessimistic estimates* (P) Kemungkinan ini terjadi ketika pekerjaan dianggap berjalan lancar dan persentase hasil yang didapat lebih buruk dari yang direncanakan.

Tabel 3.
Perbandingan Perencanaan Durasi Deterministik dan Probabilistik

Jenis Durasi	Jumlah Hari	Persentase
Deterministik	98	60,03%
Optimis	91	11,17%
Probabilistik Mean	97	51,90%
Pesimis	107	94,87%

3. Kemungkinan paling mungkin/*most likely estimates* (M)

Nilai yang didapatkan merupakan nilai antara dua kemungkinan tersebut, dengan pertimbangan nilai ini yang memiliki kemungkinan terjadi paling tinggi.

C. Simulasi Monte Carlo

Simulasi *Monte Carlo* adalah kombinasi teknik *sampling* statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi permasalahan kuantitatif dengan melakukan *sampling* dari proses acak. Simulasi ini menetapkan distribusi probabilitas dari variabel yang diteliti kemudian dilakukan pengambilan sampel acak untuk menghasilkan data. Dalam bidang manajemen proyek, simulasi *Monte Carlo* digunakan untuk menghitung atau mengiterasi biaya dan waktu sebuah proyek dengan menggunakan nilai-nilai yang dipilih secara random dari distribusi probabilitas biaya dan waktu yang mungkin terjadi dengan tujuan untuk menghitung distribusi kemungkinan biaya dan waktu total dari sebuah proyek. Walaupun dengan adanya ketidakpastian waktu atau durasi, penjadwalan dengan menggunakan metode *Monte Carlo* akan memiliki indikator lebih dalam keuntungan dan kerugian proyek [2].

Perangkat lunak @RISK adalah sebuah perangkat lunak yang berbasis lembar kerja dikembangkan oleh Paliside Corporation. Perangkat ini merupakan *add-in tool* pada *Microsoft Excel* yang dapat membantu pengguna melalui proses analisis dan model risiko menggunakan Simulasi Monte carlo. Menggunakan perangkat ini, Simulasi Monte Carlo dapat menganalisis berbagai kemungkinan yang dapat terjadi dalam model risiko dan menunjukkan probabilitas terjadinya setiap kemungkinan. Simulasi dapat diterapkan dalam jadwal, biaya dan indeks proyek lainnya. Secara matematis hasil simulasi menjadi perkiraan yang masuk akal dari data asli. Jumlah pengulangan tidak terbatas ini dapat didefinisikan secara matematis menjadi :

$$\text{Result} = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot F(x) dx$$

x = variabel yang dianalisis

F = fungsi probabilitas

Dimana dalam menentukan data simulasi dibutuhkan beberapa perhitungan seperti nilai rata-rata, standar deviasi, dan jumlah iterasi yang dapat dirumuskan menjadi

$$\bar{x} = \frac{\sum x_1}{n}$$

\bar{x} = Rata-rata nilai yang diberikan

x_1 = Jumlah nilai yang diberikan responden

n = Jumlah responden yang diamati

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

SD = Standar Deviasi

x_i = Jumlah nilai yang diberikan responden

\bar{x} = Rata-rata nilai yang diberikan

n = Jumlah responden yang diamati

$$I = \left(\frac{3SD}{\text{absolutederror}} \right)^2$$

III. METODOLOGI

Pada perencanaan ini, proyek yang akan dianalisis adalah sebagai berikut:

1. Nama Proyek : Pembangunan Gudang Marunda
2. Lokasi : Kawasan Industri dan Pergudangan Marunda Center Blok V/1, Desa Pantai Makmur, Kecamatan Tarumajaya, Kabupaten Bekasi
3. Fungsi Bangunan : Gudang Penyimpanan
4. Luas Area : 10 Ha
5. Waktu Pelaksanaan : November 2022 – Maret 2022

Urutan penyelesaian penelitian ini dijelaskan pada diagram alir (Gambar 1).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rekapitulasi Hasil Kuisisioner

Dalam penelitian ini, akan digunakan dua jenis data; data primer berupa kuisisioner kepada pihak-pihak berpengalaman dan data sekunder berupa *time schedule* proyek. Berdasarkan hasil kuisisioner yang telah diberikan, dapat ditarik sebuah rekapitulasi perkiraan durasi optimis (O), durasi paling mungkin (PM), dan durasi pesimis (P) yang merupakan rata-rata dari keenam responden. Durasi berdasarkan hasil kuisisioner dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Analisis Probabilitas Durasi Menggunakan Simulasi Monte Carlo

Setelah didapatkan jadwal durasi yang direncanakan dan durasi yang diperkirakan, kemudian akan dilakukan simulasi untuk mendapatkan probabilitas durasi optimis, paling mungkin, dan pesimis berdasarkan hasil kuisisioner yang dilakukan. Simulasi akan dilakukan pada setiap item pekerjaan, dimulai dari pekerjaan galian hingga pekerjaan rangka atap. Langkah yang dilakukan antara lain:

1) Menghitung Rata-rata Durasi

Setelah mendapatkan hasil kuisisioner, langkah awal yang dilakukan adalah menghitung rata-rata durasi dari setiap pekerjaan. Dimulai dari rata-rata durasi optimis, pesimis, dan paling mungkin. Lalu, menghitung durasi total dari setiap pekerjaan.

2) Menentukan Nilai Standar Deviasi

Nilai standar deviasi menunjukkan standar penyimpangan data untuk melihat seberapa jauh atau dekat nilai suatu data dengan nilai rata-ratanya. Dalam menghitung nilai standar deviasi dapat menggunakan rumus yang tertera pada bagian Tinjauan Pustaka. Perhitungan standar deviasi dilakukan pada setiap pekerjaan.

3) Menentukan Nilai Absolute Error

Dalam perhitungan probabilitas, ada kemungkinan kesalahan hasil nilai yang dihasilkan dari simulasi dan di lapangan. Untuk mengukur ketepatan perkiraan, dilakukan dengan nilai *absolute error*. Dalam penelitian ini, digunakan nilai *absolute error* sebesar 2% atau 0,02.

4) Menentukan Jumlah Iterasi

Dalam ilmu matematika dan komputasi, iterasi diartikan sebagai proses pengulangan perintah atau percobaan. Sebagai contoh, apabila suatu percobaan akan dilakukan iterasi sebanyak 10 kali, maka diartikan percobaan tersebut akan dilakukan sebanyak 10 kali dengan tujuan menghasilkan hasil yang berbeda-beda, yang kemudian dapat diambil hasil paling banyak muncul atau modus.

5) Menentukan Jenis Distribusi

Distribusi yang digunakan adalah distribusi PERT (disebut juga teknik estimasi beta-PERT atau three points estimates) adalah versi sederhana dari distribusi uniform atau distribusi triangular. Pertimbangan dalam penggunaan distribusi PERT adalah akan menghasilkan kurva yang mirip dengan bentuk kurva normal tanpa mengetahui parameter yang dibutuhkan dari kurva normal pada umumnya. Dimana, distribusi PERT hanya memasukkan parameter minimum, paling sering terjadi, dan maksimum.

6) Memasukkan Data Dibutuhkan

Data yang dibutuhkan antara lain durasi minimum, durasi paling mungkin, dan durasi maksimum, serta jumlah iterasi. Kemudian menjalankan simulasi dan mencatat jumlah durasi yang didapat.

7) Hasil Simulasi

Setelah melakukan langkah-langkah sebelumnya, akan didapat hasil seperti Gambar 2. Kemudian, hasil setiap pekerjaan akan direkapitulasi seperti pada Tabel 2.

C. Penjadwalan Berdasarkan Hasil Simulasi Monte Carlo

Setelah melaksanakan Simulasi Monte Carlo dan mendapatkan durasi pelaksanaan pekerjaan, kemudian durasi tersebut akan disusun menjadi *time schedule* baru. Pembuatan *time schedule* ini dilakukan untuk mendapatkan total durasi proyek pembangunan Gudang Marunda. Sehingga, berdasarkan Simulasi Monte Carlo dan penyusunan *time schedule* baru, didapatkan tiga kemungkinan durasi penyelesaian proyek pembangunan Gudang Marunda. Durasi tercepat atau durasi optimis akan berlangsung selama 91 hari dan Durasi terlama atau pesimis selama 107 hari. Durasi yang paling mungkin berada diantara kisaran durasi tersebut, yaitu selama 97 hari.

D. Perbandingan Penjadwalan Probabilistik Hasil Simulasi dan Deterministik

Dalam menentukan persentase kemungkinan terjadinya durasi berdasarkan hasil simulasi, dapat dihitung dari rata-rata persentase tiap pekerjaan. Sebagai contoh, pada durasi optimis dengan perhitungan sebagai berikut, dimana n merupakan jumlah pekerjaan.

$$\% \text{Durasi Optimis} = \frac{\sum_{i=0}^n \% \text{durasi optimis tiap pekerjaan}}{n}$$

$$\% \text{ Durasi Optimis} = \frac{491,26\%}{44 \text{ pekerjaan}} = 11,17\%$$

Dengan cara yang sama, dilakukan perhitungan untuk durasi paling mungkin dan durasi pesimis, sehingga didapatkan persentase durasi hasil simulasi sebagai berikut:

- Durasi optimis selama 91 hari dengan persentase kemungkinan terjadinya sebesar 11,17%.

- Durasi paling mungkin selama 97 hari dengan persentase kemungkinan terjadinya sebesar 51,9%.
- Durasi pesimis selama 107 hari dengan persentase kemungkinan terjadinya sebesar 94,87%.

Pada saat membuat penjadwalan probabilistik, setelah mengetahui estimasi durasi optimis (a), durasi pesimis (b), dan durasi yang paling mungkin (m), maka selanjutnya merumuskan hubungan ketiga angka tersebut menjadi durasi yang diharapkan (T_e) untuk mendapatkan probabilitas penyelesaian proyek.

$$T_d = 98 \text{ hari}$$

$$T_e = 95 \text{ hari}$$

$$\text{Standar deviasi} = 2,334$$

Sehingga,

$$Z = \frac{T_d - T_e}{\sigma}$$

$$Z = \frac{98 - 95}{2,334} = 1,285$$

Dalam daftar distribusi normal Z, jika Z memiliki nilai 0,3997 diperoleh hasil 0,6003. Sehingga didapatkan probabilitas proyek dapat selesai dalam waktu 98 hari adalah 60,03%. Berdasarkan nilai tersebut, dapat diartikan bahwa pada kisaran waktu kurang dari 91 hari, persentase terjadinya sangat kecil, yaitu dibawah 11,17%. Sedangkan pada kisaran waktu 91-97 hari persentasenya antara 11,17% - 51,9%. Untuk durasi waktu antara 97 hari - 107 hari, memiliki persentase antara 51,9% hingga 94,87%. Terakhir, untuk durasi penyelesaian diatas 107 hari akan memiliki persentase terjadi yang sangat besar, yaitu diatas 94,87%. Sedangkan, untuk durasi deterministik memiliki persentase sebesar 60,03%. Hasil simulasi durasi probabilistik ini memiliki jumlah hari dan persentase yang serupa dengan perencanaan durasi secara deterministik yang telah dilakukan pada proyek pembangunan Gudang Marunda. Seperti dapat dilihat pada Tabel 3.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan Simulasi Monte Carlo yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa ditemukan tiga kemungkinan durasi dalam proyek pembangunan Gudang Marunda.

- Durasi pesimis atau durasi paling lama proyek dapat diselesaikan berdasarkan hasil simulasi sejumlah 107 hari dimana kemungkinan terjadinya sebesar 94,87%.
- Durasi optimis atau durasi tercepat proyek dapat diselesaikan akan memakan waktu selama 91 hari dengan persentase terjadinya sebesar 11,17%.
- 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.

B. Saran

Untuk mencapai hasil yang maksimal, disarankan dalam perencanaan jadwal proyek pembangunan Gudang Marunda

juga turut mempertimbangkan faktor ketidakpastian pelaksanaan untuk menghindari adanya ketidaksesuaian dengan lapangan. Dalam penelitian ini, juga diperlukan experts judgement yang lebih akurat agar mendapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Aulabih, "Penerapan Metode Monte Carlo pada Penjadwalan Proyek Gedung Dinas Sosial Kota Blitar," Universitas Brawijaya, Malang, 2016.
- [2] PMI (Project Management Institute), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, 5th ed., . 5th ed., Project Management Institute, Inc, 2013.
- [3] F. Septian Wijaya and D. H. Sulistio, "Penerapan metode monte carlo pada penjadwalan proyek serpong garden apartment," *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 2, no. 3, pp. 189–198, 2019.
- [4] Arco Dwi Erlangga and Maspul Aini Kambry, "Analisis penjadwalan probabilistik menggunakan simulasi monte carlo," *Jurnal Sain dan Teknologi Teknik Utama*, no. 3, pp. 91–104, 2020.
- [5] M. Taqwa Sitompul, "Penerapan metode monte carlo pada penjadwalan proyek konstruksi (studi kasus: proyek pembangunan apartemen the reiz condo Medan)," *Jurnal Teknik Sipil USU* , vol. 8, no. 1, 2018.