

Analisis Penjadwalan Probabilistik Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA Seksi 1 Menggunakan Simulasi Monte Carlo

Muhamad Iqbal dan I Putu Artama Wiguna

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS)

e-mail: artama@ce.its.ac.id

Abstrak—Proyek Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA dibangun sebagai salah satu sistem jaringan Trans Jawa. Pembangunan ini bertujuan untuk mendukung peningkatan konektivitas, aksesibilitas, dan kapasitas jalan antar wilayah, untuk mengurangi kemacetan, serta untuk mendorong pengembangan wilayah dengan mendorong minat swasta dan masyarakat di Provinsi Jawa Tengah dan DIY. Pada proyek ini mengalami kendala cuaca dan alat berat. Hal ini menyebabkan adanya ketidaksesuaian dalam penyelesaian pekerjaan. Dibutuhkan metode penjadwalan yang mempertimbangkan potensi risiko dan ketidakpastian dalam pelaksanaannya, yaitu menganalisis menggunakan metode penjadwalan probabilistik, contohnya dengan menggunakan Simulasi Monte Carlo. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa total durasi probabilistik dan persentase probabilitas durasi rencana menggunakan penjadwalan probabilistik berdasarkan Simulasi Monte Carlo. Dalam pembuatan penjadwalan probabilistik menggunakan metode Simulasi Monte Carlo pada penelitian ini memerlukan beberapa tahapan pembuatan. Beberapa tahapan itu adalah pembuatan penentuan aktivitas, hubungan antara aktivitas, estimasi sumber daya aktivitas, estimasi durasi aktivitas, menjalankan Simulasi Monte Carlo, dan analisis hasil Simulasi Monte Carlo. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan didapatkan bahwa total durasi optimis adalah 236 hari dengan probabilitas < 1%. Total durasi pesemis adalah 268 hari dengan probabilitas 100%. Total durasi paling mungkin adalah 252 hari probabilitas 50%. Untuk durasi rencana dengan total 253 hari memiliki probabilitas penyelesaian sebesar 54%. Dan untuk kontingensi waktu yang diambil dengan probabilitas penyelesaian 98% (P98) memiliki selesih sebesar 11 hari sehingga dibutuhkan monitoring pada aktivitas pekerjaan dan pada aktivitas kritis dapat dipertimbangkan untuk dilakukan percepatan penyelesaian.

Kata Kunci—Penjadwalan, Probabilitas, Simulasi Monte Carlo

I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN proyek jalan tol di Indonesia sangat diperlukan untuk menunjang Pengembangan Ekonomi Nasional (PEN) dan khususnya pengembangan dan peningkatan kegiatan ekonomi di Pulau Jawa, pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA sebagai salah satu sistem jaringan Trans Jawa. Dalam proyek pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA terdapat proses penjadwalan. Dalam perencanaan durasi pekerjaan dalam penjadwalan proyek, umumnya hanya berdasarkan penjadwalan deterministik, yang mengasumsikan bahwa durasi pekerjaan diketahui dengan pasti. Dalam penjadwalan tersebut akan menghasilkan berbagai durasi dari setiap bagian pekerjaan yang sesuai dengan perencanaan pekerjaan yang direncanakan. Adanya berbagai durasi tersebut akan menyebabkan ketidakpastian dalam proyek tersebut. 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 [1].

Begitu pun dalam proyek pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA memiliki ketidakpastian dalam durasi pengerjaan proyek tersebut. Ketidakpastian yang dialami dalam proyek pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA relatif beragam. Mulai dari permasalahan kendala pengerjaan karena cuaca, dan alat berat yang rusak. Hal tersebut dapat menyebabkan keterlambatan pada proyek tersebut. Dengan mempertimbangkan ketidakpastian tersebut diperlukan penjadwalan yang mempertimbangkan ketidakpastian atau yang sering disebut dengan penjadwalan probabilistik.

Penjadwalan probabilistik dapat dilakukan dengan menggunakan salah satu dari berbagai metode yang ada atau dengan mengkombinasikan dari berbagai metode yang ada untuk mendapatkan kemungkinan terbesar dari penjadwalan dan mengurangi risiko adanya ketidaksesuaian seminimal mungkin. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam penjadwalan probabilistik adalah Simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo adalah teknik simulasi kuantitatif yang digunakan untuk menilai durasi dengan cara menghitung probabilitas hasil akhir akibat ketidakpastian dengan melibatkan variabel acak berdasarkan karakteristik distribusi input/data yang dianalisis [2].

Dengan melakukan Simulasi Monte Carlo, didapatkan perkiraan durasi pekerjaan yang optimal. Dengan mengetahui hasil perkiraan durasi pekerjaan yang optimal dari Simulasi Monte Carlo bisa menjadi saran bagi pelaksana dalam proses pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA, terutama dalam menganalisis ketidakpastian untuk perencanaan dan pengendalian dari jadwal.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan studi literatur penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang relevan dengan *Topik* penelitian [3-5]. Kajian ini dapat diambil dari berbagai sumber ilmiah seperti skripsi, tesis, disertasi, dan jurnal penelitian. Beberapa penelitian terdahulu yang menjadi acuan peneliti, diberikan pada Tabel 1.

Dari ketiga penelitian tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa penelitian yang dilakukan menggunakan metode yang sama dimana penjadwalan probabilistik Metode Simulasi Monte Carlo dengan data sekunder yang digunakan berupa *time schedule*. Namun dapat dilihat perbedaan penelitian ini

Tabel 1.
Penelitian terdahulu

PENELITI	JUDUL	PERSAMAAN	PERBEDAAN
Felix Septian Wijaya, Hendrik Sulistio	Penerapan Metode Monte Carlo Pada Penjadwalan Proyek Serpong Garden Apartemen	- Menggunakan Metode Monte Carlo - Data primer berupa kuisioner berisikan durasi probabilitas	- Objek penelitian - Responden kuisioner - Perangkat lunak yang digunakan - Melakukan perhitungan durasi dengan produktivitas alat berat
Windiarso Abisetyo	Penerapan Penjadwalan Probabilistik Pada Proyek Pengembangan Gedung Fsaintek UNAIR	- Menggunakan metode Monte Carlo - Perangkat lunak yang digunakan @RISK - Data primer berupa kuisioner - Data sekunder berupa <i>time schedule</i> proyek	- Menggunakan metode PERT - Menentukan <i>critical index</i> - Melakukan perhitungan durasi dengan produktivitas alat berat
Lasti Atmi Mahayu	Penjadwalan Probabilistik Dengan Simulasi Monte Carlo pada Proyek Pembangunan Gedung Parkir Kendaraan Roda Dua Universitas Muhammadiyah Surakarta	- Menggunakan Metode Monte Carlo - Data sekunder berupa <i>time schedule</i> proyek	- Melakukan perhitungan durasi dengan produktivitas alat berat - Hasil akhir berupa distribusi penyelesaian - Dilakukan analisis sensitivitas - Aplikasi yang digunakan

dengan penelitian terdahulu pada objek penelitian, aplikasi yang digunakan, dan bentuk hasil penelitian.

B. Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek merupakan salah satu elemen hasil perencanaan, yang dapat memberikan informasi tentang jadwal rencana dan kemajuan proyek dalam hal kinerja sumber daya berupa biaya, tenaga kerja, peralatan dan material serta rencana durasi proyek dan progress waktu untuk penyelesaian proyek [1]. Pada proses penjadwlaan memiliki 2 metode yaitu: (1) Penjadwalan deterministik, yaitu suatu sistem penjadwalan yang durasi pengerjaan dari suatu pekerjaan dapat diprediksi dengan pasti. (2) Penjadwalan probabilistik, yaitu jaringan dengan semua elemen dari rencana deterministik, tetapi jangka waktu adalah variabel-variabel acak atau dengan mempertimbangkan ketidakpastian (kemungkinan).

Penjadwalan proyek memiliki beberapa tahapan atau proses untuk mengelola penyelesaian suatu proyek dengan tepat waktu. Berikut adalah tahapan atau proses penjadwalan proyek [6]: (1) *Plan Schedule Management* (Perencanaan Manajemen Waktu), (2) *Define Activities* (Pendefinisian Aktivitas), (3) *Sequence Activities* (Pengurutan Aktivitas), (4) *Estimate Activity Resources* (Estimasi Kebutuhan Sumber Daya Aktivitas), (5) *Estimate Activity Durations* (Estimasi Durasi Aktivitas), (6) *Develop Schedule* (Pembuatan Jadwal), (7) *Control Schedule* (Kontrol Jadwal).

C. Produktivitas Alat Berat

Produktivitas didefinisikan sebagai rasio antara *output* dengan *input*, atau rasio antara hasil produksi dengan total sumber daya yang digunakan [6]. Untuk pengerjaan utama memliki beberapa alat berat dan produktivitas yang berbeda. Dalam perhitungan produktivitas alat berat telah diatur pada [7]. Berikut adalah alat berat dan perhitungan produktivitas dari masing-masing alat berat:

1) Bulldozer

Kapasitas produksi/jam, untuk pengupasan:

$$Q = \frac{q \times Fb \times Fm \times Fa \times 60}{Ts}$$

2) Excavator

Kapasitas produksi/jam:

$$Q = \frac{V \times Fb \times Fa \times 60}{Ts \times Fv}$$

3) Dump Truck

Kapasitas produksi/jam:

$$Q = \frac{V \times Fa \times 60}{D \times Ts}$$

4) Vibratory Roller

Kapasitas produksi/jam:

$$Q = \frac{(be \times v \times 1000) \times t \times Fa}{n}$$

5) Sheep Foot Roller

Kapasitas produksi/jam

$$Q = \frac{(be \times v \times 1000) \times t \times Fa}{n}$$

6) Water Tank Truck

Kapasitas produksi/jam

$$Q = \frac{pa \times Fa \times 60}{Wc \times 1000}$$

7) Paver Wirtgen

Kapasitas produksi/jam:

$$Q = b \times t \times Fa \times v \times 60$$

D. Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo 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 [2]. Perangkat lunak @RISK adalah sebuah perangkat lunak yang berbasis lembar kerja dikembangkan oleh *Paliside Corporation*. Untuk dapat menggunakan Simulasi Monte Carlo diperlukan alat bantu, alat bantu ini sangat diperlukan karena simulasi ini dilakukan dengan membangkitkan variabel acak, serta melakukan sejumlah pengulangan proses simulasi melalui serangkaian iterasi. Berikut ini adalah tahap yang dapat dilakukan dalam menerapkan Simulasi Monte Carlo: (1) Tentukan variabel yang akan disimulasikan, (2) Tentukan jenis distribusi probabilitas setiap variabel, (3) Tentukan jumlah iterasi dalam simulasi, (4) Buatlah analisis hasil simulasi.

III. METODELOGI

A. Objek Penelitian

Objek penelitian yang dipilih merupakan proyek pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA. Proyek Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA direncanakan dibangun sepanjang 96,57 km dengan menggunakan biaya sebesar RP 26,6 triliun, pembangunan ini dibagi menjadi tiga seksi. Yaitu, Seksi 1 Kartasura-Purwomartani sepanjang 42,37 km, Seksi 2 Purwomartani-Gamping sepanjang 23,42 km, dan Seksi 3 Gamping-Purworejo sepanjang 30,77 km.

B. Sumber Data Penelitian

Terdapat dua jenis yang akan dianalisis dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data-data *factual* (asli) yang diperoleh atau dikumpulkan langsung di lapangan secara langsung. Data primer yang diambil pada penelitian ini adalah hasil wawancara kepada beberapa *site engineer* yang memiliki pengalaman dalam aktivitas proyek yang diteliti. Data sekunder merupakan sumber data tambahan pada penelitian ini. Data sekunder yang akan diambil berupa data pada proyek tersebut.

C. Tahapan Penelitian

Dalam penyusunan penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini. Berikut tahapan-tahapan pada penelitian ini:

1) Penyusunan Latar Belakang

Penyusunan latar belakang berisi masalah (aktual) yang terjadi sehingga melatar belakangi penelitian ini dan membutuhkan pemecahan masalah.

2) Penyusunan Kajian Pustaka

Tujuan dari kajian pustaka adalah untuk mendapatkan teori dan konsep dasar yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian.

3) Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder diambil dari data proyek. Data ini dibutuhkan untuk pembuatan penjadwalan probabilistik.

4) Pembuatan Gambar Umum Proyek

Dalam pembuatan gambar umum proyek berisikan deskripsi umum tentang proyek dan data proyek.

5) Pendefinisian Aktivitas

Pada tahap pendefinisian aktivitas (*define activities*) hal yang dilakukan adalah mengidentifikasi *work breakdown structure* (WBS) yang didapatkan dari pihak proyek.

6) Pengurutan Aktivitas

Pada tahap pengurutan aktivitas (*sequence activities*) hal yang dilakukan adalah mengidentifikasi hubungan antar kegiatan. Setelah mengetahui daftar item pekerjaan yang ditinjau, hal yang dilakukan adalah melakukan pengurutan yang logis dari daftar item pekerjaan tersebut.

7) Estimasi Kebutuhan Sumber Daya Aktivitas

Pada tahap estimasi kebutuhan sumber data aktivitas (*estimate activity resources*) hal yang dilakukan adalah memperkirakan jenis dan jumlah alat berat yang dipakai pada proyek ini. Untuk mengetahui sumber daya yang dibutuhkan perlu dilakukan perhitungan produktivitas alat berat dan perhitungan jumlah alat berat.

8) Estimasi Durasi Aktivitas

Pada tahap estimasi durasi aktivitas (*estimate activity durations*) hal yang dilakukan adalah menghitung total durasi probabilitas. Untuk menghitung total durasi probabilitas memiliki beberapa tahap. Berikut adalah tahapan yang dilakukan untuk menghitung durasi probabilitas: (1) Pengolahan data probabilitas durasi produktivitas alat berat. (2) Pengolahan data probabilitas durasi yang tidak menggunakan alat berat.

9) Simulasi Monte Carlo

Setelah mengetahui durasi probabilitas dari setiap item pekerjaan, kemudian dapat melakukan pengolahan data menggunakan Simulasi Monte Carlo: (1) Menentukan distribusi yang akan digunakan dalam Simulasi Monte Carlo. (2) Menghitung jumlah iterasi, dengan langkah – langkah menghitung standar deviasi, rata – rata dari waktu minimum dan maksimum, *absolute error*, dan didapatkan jumlah iterasi. Untuk perhitungan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

Rumus rata-rata

$$\bar{x} = \frac{a+m+b}{n}$$

Rumus standar deviasi

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

Rumus *absolute error*

$$\varepsilon = 2\% \bar{x}$$

Rumus jumlah iterasi

$$\text{Jumlah iterasi (N)} = \left(\frac{3 \times SD}{\varepsilon} \right)^2$$

Dengan cara: (1) Memodelkan distribusi probabilitas berdasarkan data yang sudah direkapitulasi. (2) Menjalankan simulasi dengan jumlah iterasi berdasarkan nilai iterasi paling maksimum dari masing – masing pekerjaan. (3) Setelah menjalankan simulasi, tahap terakhir adalah hasil simulasi.

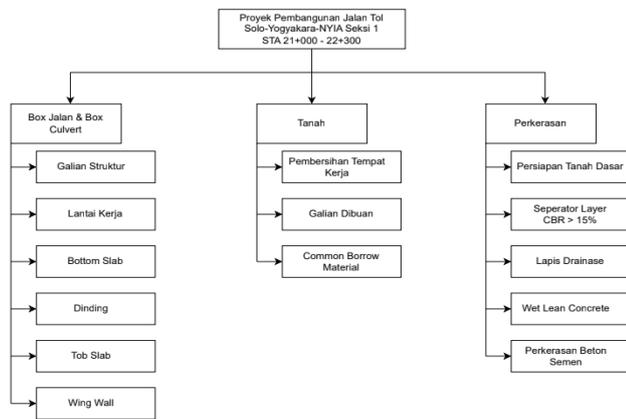
10) Analisis Hasil Simulasi

Setelah mendapatkan hasil dari Simulasi Monte Carlo, tahap selanjutnya adalah menganalisa dan mengolah data-data setelah simulasi dijalankan. (1) Analisis Total Durasi Optimis, Durasi Paling Mungkin, dan Durasi Pesimis. Setelah mendapatkan hasil dari Simulasi Monte Carlo dicari total dari durasi probabilistik. Analisis Persentase Probabilitas Dari Durasi Rencana. (2) Analisis Persentase Probabilitas Dari Durasi Rencana. Setelah mendapatkan total durasi probabilitas, dicari persentase probabilitas dari durasi rencana proyek tersebut. Hal ini dapat dicari dengan memasukkan total durasi rencana ke dalam grafik CDF dan PDF sehingga dapat terlihat probabilitas penyelesaiannya.

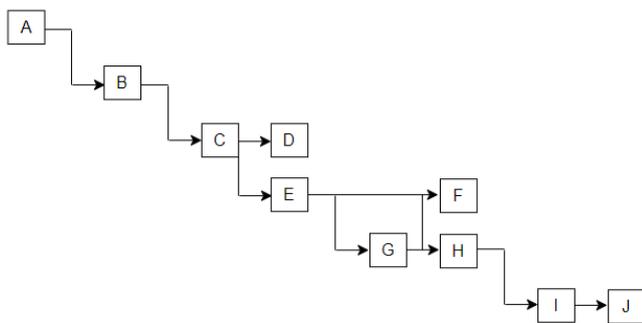
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Proyek

Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo merupakan jalan tol yang terbagi ke dalam dua provinsi, yaitu Provinsi Jawa Tengah dengan ruas sepanjang 35,64 km dan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan ruas panjang 60,93 km.



Gambar 1. Work breakdown structure.



Gambar 2. Pembuatan precedence diagram method.

Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Solo-Yogyakarta-NYIA Seksi 1 Paket 1.1 dilakukan oleh kontraktor pelaksana yaitu PT. Adhi Karya (Persero) Tbk. Dalam pelaksanaan pembangunannya direncanakan dibagi menjadi 2 zona, yaitu Zona A, sepanjang 13 km dimulai 6 dari interchange kartosuro hingga interchange karanganom dan Zona B sepanjang 9,3 km yang dimulai dari interchange karanganom hingga interchange klaten.

B. Pendefinisian Aktivitas

Penelitian ini dimulai dengan melakukan pendefinisian aktivitas (*define activities*) yang bertujuan menjabarkan suatu aktivitas menjadi lebih spesifik agar dapat memperkirakan, menjadwalkan, melaksanakan, memantau dan mengendalikan pekerjaan proyek. *Work breakdown structure* (WBS) merupakan salah satu cara melakukan pendefinisian aktivitas. Sebelum pembuatan *work breakdown structure* diperlukan pembuatan metode konstruksi sesuai dengan aktivitas pekerjaan yang ditinjau pada penelitian ini.

1) Pembuatan Metode Konstruksi

Aktivitas pekerjaan yang ditinjau yaitu pekerjaan struktur berupa pekerjaan *box culvert* dan *box* jalan, pekerjaan tanah, dan pekerjaan perkerasan. Pembuatan metode konstruksi bertujuan untuk mengetahui aktivitas pekerjaan apa saja yang akan dilakukan pada pekerjaan *box culvert* dan *box* jalan, pekerjaan tanah, dan pekerjaan perkerasan.

2) Pembuatan Work Breakdown Structure

Dalam penyusunan *work breakdown structure* pada penelitian ini, lingkup pekerjaan yang ditinjau adalah pekerjaan *box culvert*, pekerjaan *box* jalan, pekerjaan tanah, dan pekerjaan perkerasan diberikan pada Gambar 1. Setelah membuat *work breakdown structure*, dapat dilakukan daftar aktivitas pekerjaan apa saja yang dilakukan pada proyek tersebut dan dapat dilakukan pengurutan aktivitas.

Tabel 2. Pengurutan aktivitas

PENGURUTAN AKTIVITAS			
NO	ITEM PEKERJAAN	DURATION	PREDECESSOR
1	PEKERJAAN STRUKTUR	253 days	
2	BOX CULVERT (1,5 X 2,0)	19 days	
3	PEKERJAAN TANAH	1 day	
4	Galian Struktur (A)	1 day	
5	PEKERJAAN LANTAI KERJA	1 day	
6	Lantai Kerja (B)	1 day	4
7	BOTTOM SLAB	4 days	
8	Pembesian & Bekisting (C)	3 days	6
9	Pengecoran (D)	1 day	7
10	DINDING	8 days	
11	Pembesian & Bekisting (E)	5 days	9SS+2 days
12	Pengecoran (F)	1 day	11;14
13	TOP SLAB	5 days	
14	Pembesian & Bekisting (G)	4 days	11FS-2 days
15	Pengecoran (H)	1 day	14
16	WINGWALL	7 days	
17	Pembesian & Bekisting (I)	5 days	15
18	Pengecoran (J)	2 days	17

C. Pengurutan Aktivitas

Pengurutan aktivitas bertujuan membuat urutan logis dari pekerjaan untuk mendapatkan efisiensi yang didapatkan dari semua kendala proyek. Dalam pengurutan aktivitas dapat menggunakan *precedence diagram method* (PDM) diberikan pada Gambar 2. Pembuatan pengurutan aktivitas menggunakan predecessor diberikan pada Tabel 2.

D. Estimasi Sumber Daya Aktivitas

Estimasi Sumber Daya Aktivitas bertujuan mengetahui jenis dan jumlah alat berat yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dan memperkirakan durasi dari pekerjaan tersebut. Pada penelitian ini alat berat yang ditinjau berdasar dari pekerjaan tanah dan pekerjaan perkerasan Untuk mengetahui jenis dan jumlah alat berat yang dibutuhkan dapat melalui perhitungan antara produktivitas alat berat dan volume pekerjaan.

1) Perhitungan Produktivitas Alat Berat

Pada perhitungan produktivitas alat berat pada pekerjaan tanah dan pekerjaan perkerasan pada proyek tersebut berdasarkan Permen PUPR No 28 Tahun 2016. Rekapitulasi perhitungan produktivitas alat berat diberikan pada Tabel 3.

2) Perhitungan Jumlah Alat Berat

Setelah melakukan perhitungan produktivitas alat berat, setelah itu menentukan jumlah alat berat yang digunakan dengan mengetahui volume pekerjaan, produktivitas alat berat, dan durasi rencana pekerjaan pada pekerjaan tanah dan pekerjaan perkerasan pada proyek tersebut. Rekapitulasi perhitungan jumlah alat berat diberikan pada Tabel 4.

E. Estimasi Durasi Aktivitas

Estimasi durasi rencana aktivitas (*estimate activity durations*) bertujuan untuk mengetahui jumlah durasi dari setiap aktivitas dan mengetahui total durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek. Pada penelitian ini penentuan durasi aktivitas yang ditinjau adalah durasi penyelesaian proyek.

1) Hasil Rekapitulasi Kuesioner Probabilitas Produktivitas Alat Berat

Dilakukan kuesioner ini untuk mengetahui probabilitas produktivitas alat berat. Hasil rekapitulasi kuesioner probabilitas produktivitas alat berat pada pekerjaan tanah dan

Tabel 5.
Rekapitulasi perhitungan produktivitas alat berat

AKTIVITAS PEKERJAAN	ALAT BERAT		PRODUKTIVITAS (m ³ /jam)
	JENIS	TENAGA	
Pembersihan Tempat Kerja	<i>Bulldozer</i>	354 HP	76,22
	<i>Excavator</i>	250 HP	235,61
	<i>Dump Truck</i>	130 HP	12,78
Galian dan Timbunan	<i>Dump Truck</i>	130 HP	12,78
	<i>Excavator</i>	250 HP	235,61
	<i>Common Borrow Material</i>	250 HP	235,61
Common Borrow Material	<i>Bulldozer</i>	354 HP	76,22
	<i>Shepfoot</i>	74 HP	215,80
	<i>Roller</i>		
	<i>Vibroroller</i>	152 HP	345,28
	<i>Water tank truck</i>	380 HP	142,29
	<i>Dump Truck</i>	130 HP	12,78
	<i>Motor</i>	110 HP	488,04
Persiapan Tanah Dasar	<i>Greder</i>		
	<i>Capping/Separator</i>	110 HP	488,04
Lapis drainase	<i>Vibro Roller</i>	152 HP	345,28
	<i>Water Tank</i>	380 HP	142,29
	<i>Truck</i>		
	<i>Paver</i>	180 HP	53,78
Perkerasan Beton Semen (Dowel 38 mm)	<i>Wirtgen</i>		
	<i>Truck</i>	260 HP	17
Wet Lean Concrete (t=10cm)	<i>Mixer</i>		

Tabel 6.
Rekapitulasi perhitungan jumlah alat berat

AKTIVITAS PEKERJAAN	ALAT BERAT		JUMLAH (UNIT)
	JENIS	TENAGA	
Pembersihan Tempat Kerja	<i>Bulldozer</i>	354 HP	5
	<i>Excavator</i>	250 HP	2
	<i>Dump Truck</i>	130 HP	32
Galian dan Timbunan	<i>Dump Truck</i>	130 HP	19
	<i>Excavator</i>	250 HP	1
Common Borrow Material	<i>Excavator</i>	250 HP	5
	<i>Bulldozer</i>	354 HP	18
Common Borrow Material	<i>Shepfoot</i>	74 HP	6
	<i>Vibroroller</i>	152 HP	4
	<i>Water tank truck</i>	380 HP	8
	<i>Dump Truck</i>	130 HP	87
Persiapan Tanah Dasar	<i>Motor Greder</i>	110 HP	1
	<i>Motor Greder</i>	110 HP	1
Lapis drainase	<i>Vibro Roller</i>	152 HP	1
	<i>Water Tank</i>	380 HP	1
	<i>Truck</i>		
Perkerasan Beton Semen (Dowel 38 mm)	<i>Paver Wirtgen</i>	180 HP	1
	<i>Truck</i>		
Wet Lean Concrete (t=10cm)	<i>Mixer</i>	260 HP	15

pekerjaan perkerasan yang telah dilakukan perhitungan rata-rata dari responden diberikan pada Tabel 5.

2) Perhitungan Probabilitas Durasi Berdasarkan Produktivitas Alat Berat.

Setelah mengetahui hasil kuesioner dari probabilitas produktivitas alat berat, kemudian dilakukan perhitungan durasi dari aktivitas pekerjaan tanah dan pekerjaan perkerasan berdasarkan dari kuesioner produktivitas alat berat agar mengetahui durasi probabilitasnya diberikan pada Tabel 6.

Tabel 3.
Hasil rekapitulasi kuesioner probabilitas produktivitas alat berat

AKTIVITAS PEKERJAAN	ALAT BERAT	ESTIMASI PRODUKTIVITAS(m ³ /jam)		
		M	PM	M
Pembersihan Tempat Kerja	<i>Bulldozer</i>	79	70	58
	<i>Excavator</i>	227	220	209
	<i>Dump Truck</i>	17,4	14,2	11
Galian Dibuang	<i>Dump Truck</i>	17,4	14,2	11
	<i>Excavator</i>	227	220	209
Common Borrow Material	<i>Excavator</i>	227	220	209
	<i>Bulldozer</i>	79	70	58
	<i>Shepfoot</i>	238	217	197
Persiapan Tanah Dasar	<i>Roller</i>			
	<i>Vibroroller</i>	367	340	316
	<i>Water Tank</i>	175	147	119
	<i>Dump Truck</i>	17,4	14,2	11
	<i>Motor</i>	489	451	409
	<i>Grader</i>			
Capping/Separator Layer CBR > 15%	<i>Motor</i>	489	451	409
	<i>Grader</i>			
Lapis Drainase	<i>Vibroroller</i>	367	340	316
	<i>Water Tank</i>	175	147	119
Perkerasan Beton Semen (Dowel 38 mm)	<i>Paver</i>	51	43	33
	<i>Wirtgen</i>			
Wet Lean Concrete (t=10cm)	<i>Truck Mixer</i>	12,4	9,9	7,4

Tabel 4.
Perhitungan probabilitas durasi berdasarkan produktivitas alat berat

AKTIVITAS PEKERJAAN	ALAT BERAT	ESTIMASI DURASI PROBABILITAS (hari)		
		O	PM	P
Pembersihan Tempat Kerja	<i>Bulldozer</i>	51	57	69
	<i>Excavator</i>	53	55	57
	<i>Dump Truck</i>	43	53	68
Galian Dibuang	<i>Dump Truck</i>	45	55	71
	<i>Excavator</i>	62	64	67
Common Borrow Material	<i>Excavator</i>	74	76	80
	<i>Bulldozer</i>	71	79	96
	<i>Shepfoot</i>	59	64	70
Persiapan Tanah Dasar	<i>Roller</i>			
	<i>Vibroroller</i>	57	62	66
	<i>Water Tank</i>	60	114	140
	<i>Dump Truck</i>	55	68	87
	<i>Motor Grader</i>	20	21	23
	<i>Motor Grader</i>	8	9	10
Lapis Drainase	<i>Vibroroller</i>	11	12	13
	<i>Water Tank</i>	22	26	32
Perkerasan Beton Semen (Dowel 38 mm)	<i>Paver</i>	25	30	39
	<i>Wirtgen</i>			
Wet Lean Concrete (t=10cm)	<i>Truck Mixer</i>	21	27	36

3) Hasil Rekapitulasi Kuesioner Probabilitas Durasi

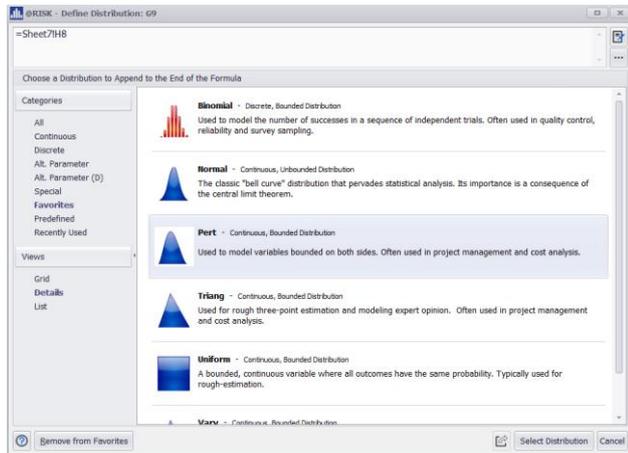
Untuk mengetahui probabilitas durasi pada pekerjaan struktur pada proyek dilakukan penyebaran kuesioner kepada pihak proyek. Responden yang dipilih telah dipertimbangkan posisi serta pengalaman yang dimilikinya. Hasil rekapitulasi kuesioner probabilitas durasi yang telah dilukan perhitungan rata-rata dari responden diberikan pada Tabel 7.

F. Simulasi Monte Carlo

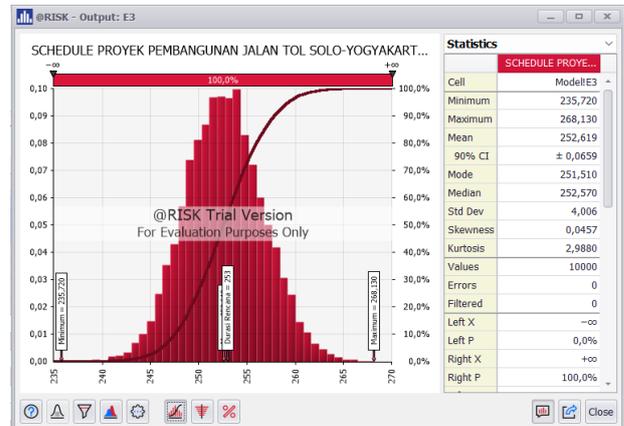
Dalam menjalankan Simulasi Monte Carlo, terdapat tahapan-tahapan dalam menjalankan simulasinya sehingga mendapatkan hasilnya. Barikut tahapan-tahapannya:

1) Penentuan Distribusi

Dalam penelitian ini jenis distribusi yang digunakan adalah distribusi Beta PERT, diberikan pada Gambar 3.



Gambar 4. Penentuan distribusi beta PERT.



Gambar 3. Tampilan overlay PDF dan CDF.

Tabel 7,
Rekapitulasi kuesioner durasi probabilitas

AKTIVITAS PEKERJAAN	VOLUME	ESTIMASI		
		O	PM	P
BOX CULVERT (1,5 X 2,0)	-	14	26	34
PEKERJAAN TANAH	-	1	2	3
Galian Struktur	72,4437	1	1	2
PEKERJAAN LANTAI KERJA	-	1	2	2
Lantai Kerja	20,42385	1	2	2
BOTTOM SLAB	-	3	6	8
Pembesian & Bekisting	4407,102	2	3	5
Pengecoran	36,72585	1	2	2
DINDING	-	6	11	15
Pembesian & Bekisting	8559,873	2	4	5
Pengecoran	71,332275	1	2	2
TOP SLAB	-	4	7	9
Pembesian & Bekisting	4432,05	2	4	5
Pengecoran	36,93375	1	2	2
WINGWALL	-	4	9	12
Pembesian & Bekisting	4991,4576	3	4	6
Pengecoran	41,59548	1	2	3

2) Menghitung Rata-Rata Estimasi Durasi Probabilistik

Setelah didapatkan hasil kuesioner berupa durasi optimis, paling mungkin, dan pesimis, dapat dilakukan perhitungan rata-rata durasi. Perhitungan rata-rata durasi dilakukan pada setiap aktivitas pekerjaan.

3) Menghitung Standar Deviasi

Nilai standar deviasi menunjukkan standar penyimpangan data untuk melihat seberapa jauh atau dekat nilai suatu data dengan nilai rata-ratanya.

4) Menghitung Absolute Error

Dalam perhitungan probabilitas, ada kemungkinan terjadinya kesalahan hasil nilai yang dihasilkan dan di lapangan. Untuk mengukur ketetapan perkiraan, dilakukan dengan nilai absolute error. Dalam penelitian ini, digunakan nilai absolute error sebesar 2%.

5) Menghitung Jumlah Iterasi

Iterasi merupakan proses pengulangan atau percobaan dalam suatu perhitungan. Tujuan dari ini adalah menghasilkan hasil yang berbeda-beda, yang nantinya dapat diambil hasil paling banyak (modus). Hasil perhitungan jumlah iterasi diberikan pada Tabel 8.

6) Menjalankan Simulasi

Setelah menentukan distribusi dan meadapatkan hasil dari perhitungan dari jumlah iterasi dapat menjalankan Simulasi Monte Carlo dengan melakukan langkah-langkah berikut: (1)

Tabel 8.
Hasil perhitungan jumlah iterasi

NO	ITEM PEKERJAAN	JUMLAH ITERASI
1	PEKERJAAN STRUKTUR	3361,24
2	BOX CULVERT (1,5 X 2,0)	3747,26
3	PEKERJAAN TANAH	5625,00
4	Galian Struktur	4218,75
5	PEKERJAAN LANTAI KERJA	2700,00
6	Lantai Kerja	3611,11
7	BOTTOM SLAB	4437,72
8	Pembesian & Bekisting	4426,23
9	Pengecoran	3095,41
10	DINDING	4021,00
11	Pembesian & Bekisting	2675,39
12	Pengecoran	3095,41
13	TOP SLAB	3206,25
14	Pembesian & Bekisting	4080,08
15	Pengecoran	3095,41
16	WINGWALL	5292,00
17	Pembesian & Bekisting	3623,24
18	Pengecoran	6718,75

Memasukkan File Microsoft Project, (2) Menentukan Explicit Time Estimastion, (3) Menentukan Input, (3) Menentukan Output, (4) Menentukan Jumlah Iterasi, (6) Simulasi.

7) Hasil Simulasi

Setelah simulasi selesai dijalankan, secara otomatis akan dikeluarkan sebuah tampilan Probability Distribution Function (PDF). Pada tab di samping PDF terdapat informasi tambahan mengenai hasil dari kurva PDF. Informasi itu berupa nilai maksimum, minimum, mean, skewness, dan kurtosis.

G. Analisis Hasil Simulasi Monte Carlo

Setelah melakukan simulasi sesuai dengan jumlah iterasi yang dilakukan, tampilan pertama diperlihatkan adalah tampilan PDF pada simulasi. Tampilan CDF dapat di overlay bersama dengan tampilan PDF diberikan pada Gambar 4.

Setelah dapat melihat tampilan CDF dan PDF, selanjutnya menganalisis hasil simulasi untuk mengetahui total durasi probabilistik yang terdiri dari durasi pesimis, durasi paling mungkin, dan durasi optimis. Selain itu, dapat menganalisis probabilitas dari durasi rencana penyelesaian proyek.

1) Analisis Total Durasi Optimis, Durasi Paling Mungkin, dan Durasi Pesimis

Pada saat ditampilkan PDF dan CDF pada Gambar 4, terdapat beberapa informasi statistik yang ditampilkan pada panel di sebelah kanan grafik. Berikut informasi yang ditampilkan pada panel informasi statistik tersebut.

Tabel 8.
Hasil simulasi durasi probabilitas setiap pekerjaan

AKTIVITAS PEKERJAAN	DURASI PROBABILITAS HASIL SIMULASI (hari)		
	O	PM	P
Galian Struktur	1,008	1,467	2,156
Lantai Kerja	1,0197	1,633	2,376
Pembesian & Bekisting	2,429	3,433	4,539
Pengecoran	1,223	1,8	2,377
Pembesian & Bekisting	2,425	3,833	5,324
Pengecoran	1,208	1,8	2,382
Pembesian & Bekisting	2,458	3,8	5,177
Pengecoran	1,222	1,8	2,388
Pembesian & Bekisting	3,061	4,4	5,751
Pengecoran	1,025	1,967	2,777

1. *Minimum value* : 236 hari
2. *Maximum value* : 268 hari
3. *Mean* : 252 hari
4. *Kurtosis* : 2,988
5. *Skewness* : 0,0457
6. *Standar Deviasi* : 4,006

Dari hasil simulasi dapat dilihat durasi probabilitas dari setiap pekerjaan dan dicari total durasi optimis, durasi paling mungkin, dan durasi pesimis di proyek tersebut. Tabel durasi probabilitas setiap pekerjaan dan durasi probabilitas diberikan pada Tabel 9.

Total durasi optimis untuk proyek adalah selama 236 hari dengan tingkat probabilitas penyelesaian kurang dari 1%. Total durasi pesemis untuk proyek adalah selama 268 hari dengan tingkat probabilitas penyelesaian sebesar 100%. Lalu total durasi paling mungkin untuk proyek adalah selama 252 hari dengan tingkat probabilitas penyelesaian sebesar 50%.

2) Analisis Persentase Probabilitas Dari Durasi Rencana

Setelah mengetahui total durasi probabilitas dari hasil simulasi, perlu dicari probabilitas penyelesaian dari durasi rencana berdasarkan penjadwalan deterministik. Durasi tersebut dapat diinput ke dalam grafik CDF untuk dilihat probabilitas penyelesaiannya. Setelah mengetahui total durasi dari masing-masing pendekatan kemudian dapat dirangkum hingga didapatkan tabel rekapitulasi diberikan pada Tabel 10.

Berdasarkan analisis Simulasi Monte Carlo, durasi rencana yang berdasarkan penjadwalan deterministik dengan total durasi sebesar 253 hari memiliki probabilitas penyelesaian sebesar 54%. Meski sudah melebihi durasi *most likely*, probabilitas penyelesaian durasi rencana masih di angka 54% sehingga perlu dicari kontingensi waktunya.

Pada beberapa penelitian terdahulu biasa diambil persentase keberhasilan 80% untuk penentuan interval kontingensi. Dengan demikian didapatkan kontingensi waktu dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Kontingensi Waktu (P80)} = 256 \text{ hari} - 253 \text{ hari} = 3 \text{ hari}$$

Dalam perhitungan kontingensi waktu didapatkan selisih waktu sebesar 3 hari. Selisih waktu ini tidak terlalu besar dikarenakan pada interval antara durasi rencana sebesar 54% dan P80 sebesar 80% masih berada di jalur curam pada hasil kurva PDF dan CDF. Sehingga diperlukan perhitungan kontingensi waktu ulang dengan probabilitas persentase yang mulai berada pada jalur yang mulai landai. Untuk probabilitas yang sudah mulai berada di jalur landai dimulai dari persentase sebesar 98%.

$$\text{Kontingensi Waktu (P98)} = 264 \text{ hari} - 253 \text{ hari} = 11 \text{ hari}$$

Dalam perhitungan kontingensi waktu menggunakan P98 didapatkan selisih waktu sebesar 11 hari. Hasil dari

Tabel 9.
Total durasi probabilitas penyelesaian proyek

PENDEKATAN	DURASI (hari)	PROBABILITAS (%)
Durasi Pesimis	268	100
Durasi Paling Mungkin	252	50
Durasi Optimis	236	<1

Tabel 10.
Rekapitulasi penyelesaian jadwal dengan masing-masing pendekatan

PENDEKATAN	DURASI (hari)	PROBABILITAS (%)
Durasi Rencana	253	54
Pesimis	268	100
<i>Most Likely</i>	252	50
Optimis	236	<1

kontingensi waktu ini dapat diartikan sebagai potensi keterlambatan yang dapat terjadi pada pelaksanaan proyek. Sehingga perlu dilakukan monitoring dari hasil simulasi berdasarkan durasi setiap aktivitas pekerjaan dan pada aktivitas kritis dapat dipertimbangkan untuk dilakukan percepatan penyelesaian agar tidak terjadi keterlambatan durasi yang menyebabkan kemunduran total durasi penyelesaian proyek.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil yang menjawab tujuan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut: (1) Total durasi optimis untuk proyek adalah selama 236 hari dengan tingkat probabilitas penyelesaian kurang dari 1%. Total durasi pesemis untuk proyek adalah selama 268 hari dengan tingkat probabilitas penyelesaian sebesar 100%. Lalu total durasi most likely (paling mungkin) untuk proyek adalah selama 252 hari dengan tingkat probabilitas penyelesaian sebesar 50%. (2) Untuk durasi rencana dengan total 253 hari memiliki probabilitas penyelesaian sebesar 54%. Dan untuk kontingensi waktu yang diambil dengan probabilitas penyelesaian 98% (P98) memiliki selisih sebesar 11 hari sehingga dibutuhkan monitoring pada aktivitas pekerjaan dan pada aktivitas kritis dapat dipertimbangkan untuk dilakukan percepatan penyelesaian.

B. Saran

Berdasarkan proses penelitian yang dilakukan, berikut beberapa saran yang diberikan oleh penulis, sebagai berikut: (1) Perlu dilakukan peninjauan terhadap setiap aktivitas pekerjaan yang memiliki potensi keterlambatan pada durasi rencana proyek. (2) Mempertimbangkan sumber input estimasi dengan responden-responden yang lebih berpengalaman dan bervariasi karena hal ini berpengaruh pada penetapan durasi yang menjadi dasar dalam perhitungan penjadwalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Husen and D. Prabantini, *Manajemen Proyek*. Yogyakarta: Andi, 2009. ISBN: 978-979-29-0567-0.
- [2] A. Alijoyo, B. Wijaya, I. Jacob, and A. F. M. S. Fisabilillah, "Teknik Penilaian Risiko Berbasis ISO 31010:2019 Nominal Group Technique," Center for Risk Management & Sustainability (CRMS), Jakarta, 2019.
- [3] W. Abisetyo, "Penerapan Penjadwalan Probabilistik pada Proyek Pengembangan Gedung FSAINTEK UNAIR," Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2010.
- [4] F. S. Wijaya and H. Sulistio, "Penerapan metode Monte Carlo pada

- penjadwalan proyek Serpong Garden Apartment,” *J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 3, pp. 189–198, 2019, doi: 10.24912/jmts.v2i3.5828.
- [5] L. A. Mahayu, “Penjadwalan Probabilistik Dengan Simulasi Monte Carlo,” Departemen Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2011.
- [6] W. I. Ervianto, *Manajemen Proyek Kontruksi (Edisi Revisi)*. Yogyakarta: Andi, 2012. ISBN: 979-763-113-3.
- [7] Kementerian PUPR, “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 Tahun 2016 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum,” Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, 2016.