

# Penjadwalan Probabilistik pada Proyek Jalur Lintas Selatan LOT. 6

Irfananda Setiadi Hutomo dan Mohammad Arif Rohman

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

*e-mail:* arif.its@gmail.com

**Abstrak**—Pada umumnya dalam proses perencanaan jadwal proyek dibuat secara manual sehingga hasil penjadwalan dapat terjadi perbedaan dengan desain awal. Hal ini dapat disebabkan oleh tidak dimasukkannya unsur ketidakpastian dalam perencanaan jadwal proyek. Metode yang umum digunakan merupakan Metode deterministik dimana hanya memuat 1 durasi proyek saja. Untuk itu diperlukan pendekatan penjadwalan probabilistik yang dapat mengakomodasi ketidakpastian tersebut. Namun hal ini tidak memperhitungkan adanya penambahan durasi akibat kegiatan yang berbentuk paralel. Tujuan utama dari Tugas Akhir ini adalah melakukan penjadwalan probabilistik sebagai alternatif penjadwalan existing yang bersifat deterministik untuk menampung uncertainty pada proyek. Obyek yang ditinjau pada Tugas Akhir ini adalah Proyek Jalur Lintas Selatan LOT. 6 yang terletak di Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan hasil analisis Metode PERT, kondisi ekisting proyek didapatkan probabilitas durasi penyelesaian sebesar 95%. Simulasi *Monte Carlo* dilakukan sebanyak 2000 kali iterasi. Durasi berdasarkan hasil simulasi *Monte Carlo* yang dijalankan pada penjadwalan proyek pembangunan Jalur Lintas Selatan LOT. 6 untuk Persentil 95, yaitu 1136 hari.

**Kata Kunci**—Durasi, Metode PERT, Penjadwalan Probabilistik, Penjadwalan Deterministik, Simulasi *Monte Carlo*.

## I. PENDAHULUAN

PERTUMBUHAN ekonomi di wilayah pesisir Selatan Jawa Timur tentu diikuti dengan peningkatan mobilitas dan aksesibilitas dalam penyaluran logistik serta menghubungkan antar tempat wisata di daerah tersebut. Oleh karena itu diperlukan akses jalan yang dapat meningkatkan konektivitas di wilayah Pesisir selatan Jawa Timur. Jalan Lintas Pantai Selatan merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional yang bertujuan untuk mengkoneksikan seluruh kabupaten yang berada di wilayah pantai selatan Pulau Jawa. Panjang Jalur Lintas Pantai Selatan pada Provinsi Jawa Timur yang direncanakan adalah 680,13 km. Berdasarkan uraian diatas hanya pada LOT 6 (Segmen Prigi – Kab. Trenggalek – Klatak – Brumbun) saja yang akan dianalisis sepanjang 17.78 km.

Dalam merencanakan jadwal proyek hanya berdasarkan pada penjadwalan deterministik sehingga kurang dalam memperhatikan faktor-faktor dilapangan yang bersifat *uncertainty* yang dapat dikategorikan sebagai risiko pelaksanaan, sebagai contoh antara lain cuaca, pembebasan lahan, faktor teknis lapangan dan lain sebagainya. Risiko ini nantinya menjadi hal yang sangat krusial karena menyangkut waktu dan biaya terhadap pelaksanaan proyek sehingga perlu dilakukan manajemen risiko[1]. Hal itu juga disebabkan karena perencana menerapkan kontinjensi yang sama pada semua jenis pekerjaan tanpa membedakan risiko tiap kegiatan. Salah satu alternatif solusi dalam menghadapi

risiko ketidakpastian ini adalah dengan menerapkan penjadwalan probabilistik. Cara yang dilakukan adalah *Program Evaluation Review Technique* (PERT) yang dikombinasikan dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo*.

Metode PERT mempunyai pendekatan kurun waktu aktivitas yang bergantung pada banyak aspek serta variasi, sehingga durasi diberi 3 angka taksiran dalam penentuan durasi proyek yaitu durasi optimistis, durasi *most likely* (realistis) serta durasi pesimistis [2]. Kemudian durasi yang digunakan diambil dari rerata antara pesimistis, *most likely* dan optimistis. PERT dapat dilihat sebagai langkah pertama untuk memperkenalkan ketidakpastian dalam perencanaan waktu dalam proyek. Metode PERT memberikan pendekatan probabilistik yang dapat mengatasi ketidakpastian tersebut namun juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satu kelemahan Metode PERT adalah terlalu fokus pada lintasan kritis. PERT menggunakan perkiraan distribusi beta untuk mewakili durasi aktivitas yang lebih condong ke arah kanan. Atas dasar ini perencana *weighted average activity time - expected duration of the task*. Oleh karena itu penjadwal hanya memilih satu skenario untuk setiap eksekusi tugas dan menggunakannya untuk menghitung dan memperkirakan durasi proyek[3].

Metode ini tidak memperhitungkan pertambahan durasi akibat adanya kegiatan yang berbentuk paralel, sehingga membutuhkan simulasi *Monte Carlo* untuk hasil yang lebih akurat. Dasar simulasi *Monte Carlo* merupakan percobaan pada faktor kesempatan / probabilistik dengan pengambilan bilangan random[4]. Simulasi *Monte Carlo* tidak hanya lebih intuitif dan lebih tepat, juga menawarkan fleksibilitas yang sangat luas untuk memperkenalkan distribusi lain, korelasi, dan tambahan kondisi. Ada juga kesalahan nyata dalam hasil metodologi PERT, yang dapat dilihat dengan membandingkan hasil PERT dengan hasil *Monte Carlo*[5].

### A. Tujuan

Tujuan dari pembahasan ini antara lain adalah:

1. Mengetahui probabilitas penyelesaian proyek menggunakan Metode PERT dan Simulasi *Monte Carlo*
2. Mengetahui durasi penyelesaian proyek menurut Metode PERT dan hasil simulasi *Monte Carlo*.

### B. Batasan Masalah

Pada pembahasan ini, masalah dibatasi antara lain:

1. Proyek yang dianalisa adalah proyek Pembangunan Jalur Lintas Selatan (JLS) LOT 6 : Segmen Prigi – Bts. Kab. Tulungagung – Klatak – Brumbun
2. Data yang digunakan adalah data yang diberikan oleh kontraktor.
3. Aktivitas yang ditinjau meliputi : *pavement, earthwork, structure* dan drainase

4. Tidak meninjau dari segi biaya proyek.
5. Tidak melakukan *resource levelling* dan *resource allocation*
6. Tidak melakukan Analisa Risiko Kualitatif dan mitigasi risiko

C. *Manfaat*

Manfaat dari Tugas Akhir ini antara lain:

1. Dapat dipergunakan sebagai pertimbangan dalam pelaksanaan proyek karena dalam merencanakan durasi dibutuhkan perhatian terhadap risiko ketidakpastian sehingga dapat diperoleh waktu yang diharapkan dalam penyelesaian proyek.
2. Memberikan informasi mengenai cara melakukan analisis PERT dan Simulasi *Monte Carlo*.
3. Sebagai gambaran umum dan masukan kepada pihak-pihak yang terlibat dalam perencanaan penjadwalan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Project Evaluation Review Technique (PERT)*

PERT menggunakan pendekatan probabilistik, yang membutuhkan distribusi frekuensi durasi setiap aktivitas. Dalam kebanyakan kasus, distribusi seperti itu tidak diketahui / tersedia. Karena itu, PERT mengharuskan pengguna untuk mengatur tiga durasi yang merupakan kisaran praktis dari durasi untuk setiap aktivitas.

- a. **Durasi Optimis (a)** yang merupakan durasi yang diperlukan dalam penyelesaian suatu aktivitas jika segala sesuatu berjalan sesuai dengan rencana.
- b. **Durasi Pesimistis (b)** yang merupakan durasi yang diperlukan dalam penyelesaian suatu aktivitas jika segala sesuatu berjalan tidak sesuai dengan rencana (kondisi buruk / tidak mendukung)
- c. **Durasi Most Likely (m)** yang merupakan durasi yang diperlukan dalam penyelesaian suatu aktivitas diantara durasi optimistis dan durasi pesimistis. Kurun waktu ini merupakan kurun waktu yang paling sering terjadi dibandingkan yang lain secara berulang dalam kondisi yang hampir sama.

Ada beberapa langkah dalam melakukan analisis PERT :

1) *Waktu yang diharapkan*

Setelah kita melakukan estimasi durasi pada ketiga nilai durasi yang telah dijelaskan diatas, kemudian mengubah ketiga estimasi durasi tersebut menjadi satu estimasi durasi yang disebut **kurun waktu yang diharapkan (Te)**.

$$Te = \frac{(a + 4m + b)}{6}$$

Keterangan :

- a = Durasi Optimistis (hari)
- b = Durasi pesimistis (hari)
- m = Durasi most – likely (hari)

2) *Standar Deviasi dan Varians*

Dalam proses estimasi kurun waktu kegiatan pada Metode PERT harus menggunakan rentang waktu durasi, bukan 1 durasi yang mudah dibayangkan yang berpengaruh pada derajat waktu ketidakpastian dijelaskan berikut ini[6] :

$$S = \frac{1}{6}(b - a)$$

$$V_{TE} = S^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$

Keterangan :

- S = Deviasi Standar suatu Kegiatan
- $V_{TE}$  = Varians suatu kegiatan
- b = Kurun waktu pesimistis
- a = Kurun waktu pesimistis

3) *Target Jadwal penyelesaian*

Pada penyelesaian proyek, sering dijumpai sebuah *milestone* dengan masing-masing target jadwal atau tanggal penyelesaian yang telah ditentukan. Untuk mengetahui kemungkinan atau kepastian mencapai target jadwal tersebut dipakai rumus[6] :

$$Z = \frac{T(d)-TE}{S} \text{ dimana : } V_{TE} = S^2$$

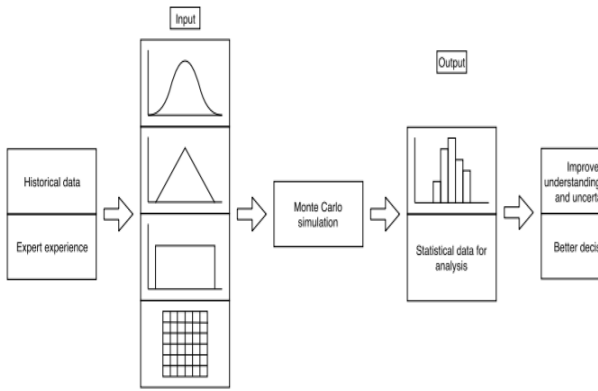
Keterangan :

- T(d) = Target waktu.penyeseiaan proyek
- TE = Jumlah (te) menurut Metode PERT.
- V(TE) = Total varians pada kegiatan kritis.
- Z = Relasi waktu yang diharapkan (TE) dengan target waktu penyelesaian proyek T(d).
- S = Standar deviasi kegiatan.

B. *Simulasi Monte Carlo*

*Monte Carlo* merupakan sebuah simulasi yang bersifat probabilistik dimana dilakukan pendekatan terhadap solusi sebuah masalah dengan melakukan sampling dari proses acak[5]. *Monte Carlo* merupakan sebuah teknik yang menghitung atau mengulang biaya atau jadwal proyek berkali-kali menggunakan nilai masukan yang dipilih secara acak dari distribusi probabilitas biaya atau durasi yang mungkin, untuk menghitung distribusi kemungkinan total biaya atau tanggal penyelesaian proyek[1]. Simulasi melibatkan penetapan distribusi probabilitas dari sebuah variabel yang dipelajari dan kemudian diambil sampel acak dari distribusi yang telah diambil untuk menghasilkan data. Simulasi *Monte Carlo* memiliki algoritma komputasi yang yang digunakan dalam simulasi perilaku sistem fisika serta matematika. *Monte Carlo* akan sangat cocok diterapkan untuk sebuah sistem yang memiliki perilaku tidak pasti / probabilistik.

Proses prediksi dilakukan berdasarkan data yang tersedia di masa lampau yang berupa data kuantitatif. Dikarenakan metode ini membutuhkan pengulangan (repetisi) serta penghitungan yang amat kompleks, tata cara *Monte Carlo* pada biasanya dicoba dengan berbagai teknik simulasi komputer. Algoritma *Monte Carlo* memiliki algoritma numerik yang digunakan dalam pemecahan matematis umumnya terdiri atas banyak variabel yang kompleks dan rumit untuk dipecahkan. Dalam kaitannya dengan manajemen proyek, simulasi *Monte Carlo* dapat digunakan dalam prediksi waktu penyelesaian dan biaya sebuah proyek sehingga sangat membantu dalam proses penjadwalan proyek yang bersifat probabilistik. Penerapan simulasi *Monte Carlo* membantu pimpinan proyek melakukan analisa risiko terhadap durasi proyek dan menentukan kegiatan kritisnya. Membangkitkan angka acak merupakan langkah penting menggunakan software[7]. Proses *Monte Carlo* yang mempertimbangkan cara mengumpulkan dan



Gambar 1. Proses simulasi Monte Carlo.

merumuskan input (variabel acak dirumuskan sebagai distribusi probabilitas dan matriks korelasi) dan apa yang diharapkan sebagai konsekuensi dari *output* yang dapat dilihat pada Gambar 1[8].

III. METODOLOGI

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

- Nama Proyek : Proyek Jalur Lintas Selatan LOT. 6
- Paket LOT. 6 : Prigi – Bts. Kab. Tulungagung – Klatak – Brumbun
- Lokasi : Lingkar Selatan Provinsi Jawa Timur
- Fungsi : Jalan Nasional
- Jenis Perkerasan : Flexible Pavement
- Durasi Proyek : 1078 hari (*existing*)
- Pemilik Proyek : Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VIII, Satker 2.5. Wilayah II – Provinsi Jawa Timur dan Bali.
- Penyedia Jasa : P.T. PP (Persero) – Divisi Infra 1
- Total panjang : 17,78 km

Urutan penyelesaian tugas akhir ini dijelaskan pada diagram alir (Gambar 2).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

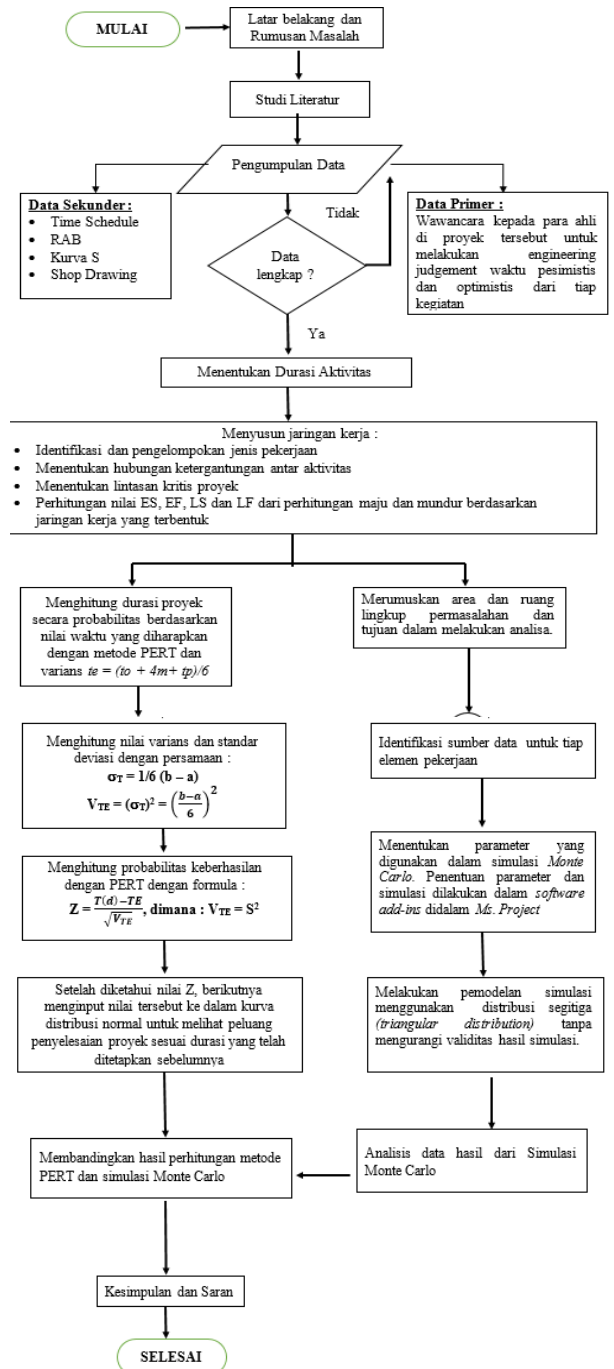
A. Perhitungan Metode Project Evaluation Review Technique (PERT)

Pada saat membuat penjadwalan probabilistik, setelah kita mengetahui estimasi durasi optimis (a), durasi pesimis (b), dan durasi yang paling mungkin (m), maka selanjutnya adalah merumuskan hubungan ketiga angka tersebut menjadi durasi yang diharapkan (*expected duration time, TE*). Kemudian, kita mencari nilai standar deviasi dan varians. Rekapitulasi perhitungan Waktu yang diharapkan, standar deviasi dan varians dapat dilihat di Tabel 1.

Setelah kita mengetahui nilai Waktu yang diharapkan, Standar deviasi dan varians pada tiap aktivitas langkah selanjutnya adalah kita mengidentifikasi lintasan kritis yang terdapat dalam penjadwalan proyek. Rekapitulasi nilai varians pada lintasan kritis dapat dilihat pada Tabel 2.

Setelah nilai varians pada lintasan kritis telah diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai target jadwal penyelesaian.

Td = 1078 hari



Gambar 2. Diagram Alir.

TE = 1036 hari

Total varians lintasan kritis = 611.68

Total  $\sigma = \sqrt{\text{Varians}} = \sqrt{611.68} = 24.7322$

Sehingga :

$$Z = \frac{T(d)-TE}{S}$$

$$Z = \frac{1078 - 1036}{24.73}$$

Z = 1.697

Dengan memasukkan nilai Z pada tabel distribusi normal didapatkan probabilitas penyelesaian proyek sebesar 95.45%. Pada Gambar 3. disajikan rekapitulasi probabilitas penyelesaian proyek dari beberapa target durasi penyelesaian dalam sebuah kurva.

Tabel 1.  
Rekapitulasi perhitungan TE, S dan V

Nama Kegiatan	TE (hari)	S	V = S2
Pembebasan lahan zona 5B	60.00	1	1.00
Stake Out Center Line 6B	80.00	116.667	1.36
<b>ZONA 1 STA. 0+000 - STA. 3+000 (PPPRE)</b>			
Mobilisasi Alat	21.00	0.33333	0.12
Clearing & persiapan jalan akses	15.00	0.83333	0.7
Common Excavation	184.00	5	25
Soft Rock Excavation	156.00	8	64
Rock Excavation	135.00	683.333	46.7
Common embankment from Excavation	71.00	183.333	3.37
Selected Embankment from excavation	72.00	216.667	4.7
Common embankment from Borrow Pit	41.00	0.33333	0.12
Clearing & Grubing in rubber and vegetation	30.00	1.5	2.25
Selected Tree Removal	18.00	116.667	1.37
<b>ZONA 2 STA. 3+000 - STA. 4+450 (PPPRE)</b>			
Mobilisasi Alat	13.00	0.33333	0.12
Mobilisasi Alat tambahan	13.00	0.33333	0.12
persiapan jalan akses	17.00	0.83333	0.7
<b>Pekerjaan Tanah</b>			
Clearing & Grubing in rubber and vegetation	30.00	1.5	2.25
Selected Tree Removal	18.00	116.667	1.37
Common Excavation	177.00	816.667	66.7
Soft Rock Excavation	142.00	716.667	51.37
Rock Excavation	121.00	566.667	32.12
Common embankment from Excavation	71.00	183.333	3.37
Selected Embankment from excavation	72.00	2	4
<b>ZONA 3A STA. 4+450 - STA. 6+000 (PPPRE)</b>			
Mobilisasi Alat	16.00	0.83333	0.7
Persiapan jalan akses	15.00	0.83333	0.7
Clearing & Grubing in rubber and vegetation	30.00	1.5	2.25
Selected Tree Removal	18.00	116.667	1.37
Common Excavation	168.00	8.5	72.25
Soft Rock Excavation	137.00	7	49
Rock Excavation	117.00	583.333	34.03
Common embankment from Excavation	71.00	183.333	3.37
Selected Embankment from excavation	72.00	2	4
<b>ZONA 3B STA. 6+000 - STA. 8+150 (MPK)</b>			
Mobilisasi Alat	8.00	0.5	0.25
Persiapan jalan akses (STA. 4+000 sd 8+000)	30.00	1.5	2.25
Clearing & Grubing in rubber and vegetation	30.00	1.5	2.25
Selected Tree Removal	18.00	116.667	1.37
Common Excavation	170.00	8.5	72.25
Soft Rock Excavation	140.00	716.667	51.37
Rock Excavation	119.00	6	36
Common embankment from Excavation	57.00	133.333	1.78
Selected Embankment from excavation	58.00	1.5	2.25
<b>ZONA 4 STA. 8+150 - STA. 12+000 (LMA)</b>			
Mobilisasi Alat	8.00	0.5	0.25
Persiapan jalan akses	15.00	0.83333	0.7
Clearing & Grubing in rubber and vegetation	30.00	1.5	2.25
Selected Tree Removal	18.00	116.667	1.37
Common Excavation	302.00	3	9
Soft Rock Excavation	308.00	108.333	117.37
Rock Excavation	115.00	533.333	28.45
Common embankment from Excavation	71.00	1	1
Selected Embankment from excavation	72.00	233.333	5.45
<b>ZONA 5 STA. 12+000 - STA. 14+850 (GMM)</b>			
Mobilisasi Alat	21.00	0.83333	0.7
Relokasi utilitas PLN	88.00	466.667	21.78
Persiapan jalan akses	30.00	1.5	2.25
Clearing & Grubing in rubber and vegetation	15.00	0.83333	0.7
Selected Tree Removal	14.00	0.83333	0.7
Common Excavation	72.00	233.333	5.45
Soft Rock Excavation	72.00	233.333	5.45
Rock Excavation	73.00	366.667	13.45
Common embankment from Excavation	37.00	0.83333	0.7
Selected Embankment from excavation	37.00	1	1
Mobilisasi Kekurangan alat	8.00	0.5	0.25
Persiapan Jalan Akses	15.00	0.83333	0.7
Clearing & Grubing in rubber and vegetation	15.00	0.83333	0.7
Selected Tree Removal	14.00	0.83333	0.7
Common Excavation	304.00	10	100
Soft Rock Excavation	305.00	916.667	84.03
Rock Excavation	140.00	716.667	51.37
Common embankment from Excavation	71.00	183.333	3.37
Selected Embankment from excavation	72.00	2	4

(lanjutan)

Nama Kegiatan	TE (hari)	S	V = S2
<b>ZONA 6 STA. 0+000 - STA. 2+875 (besole) (LMA)</b>			
Mobilisasi Alat	21.00	0.83	0.69
Persiapan jalan akses	30.00	1.50	2.25
Relokasi Utilitas PLN	21.00	1.00	1.00
Clearing & Grubing in rubber and vegetation	15.00	0.83	0.69
Selected Tree Removal	14.00	0.83	0.69
Common Excavation	135.00	6.83	46.69
Soft Rock Excavation	99.00	5.00	25.00
Rock Excavation	83.00	4.33	18.78
Common embankment from Excavation	37.00	0.83	0.69
Selected Embankment from excavation	37.00	1.00	1.00
Clearing & Grubing in rubber and vegetation	15.00	0.83	0.69
Selected Tree Removal	14.00	0.83	0.69
Common Excavation	155.00	7.83	61.36
Soft Rock Excavation	156.00	8.00	64.00
Rock Excavation	140.00	7.17	51.36
Common embankment from Excavation	71.00	1.83	3.36
Selected Embankment from excavation	72.00	2.00	4.00
<b>Drainage</b>			
Excavation for Drainage Ditches and Waterways	57.00	0.67	0.44
Mortared Stonework	98.00	3.17	10.03
Un-reinforced Concrete Half Pipe Culvert inside D 30 cm	95.00	4.17	17.36
U Ditch Type DS 1	94.00	2.33	5.44
U Ditch Type DS 2	65.00	1.67	2.78
Porous Drainage or Filter Material	29.00	0.67	0.44
<b>Pavement</b>			
Single Surface Dressing Aggregate	281.00	13	169
Bituminous Material for Surface Dressing	281.00	13	169
<b>Granular Pavement and Cement Concrete Pavement</b>			
Aggregate Base Class A	307.00	9.33	87.11
<b>Asphalt Pavement</b>			
Prime Coat - Cut Back	247.00	5.50	30.25
Tack Coat - Cut Back	212.00	3.50	12.25
Asphaltic Concrete - Wearing Course (AC-WC)	211.00	1.83	3.35
Asphaltic Concrete - Binder Course (AC-BC)	246.00	2.16	4.67
Anti Stripping Agents	92.00	1.67	2.78
<b>Structure</b>			
Structural Concrete Class fc' 35 Mpa	50.00	2.00	4.00
Structural Concrete fc' 30 Mpa for Bridge Deck	60.00	2.50	6.25
Structural Concrete fc' 30 Mpa for Culvert	72.00	3.00	9.00
Structural Concrete fc' 25 Mpa	72.00	2.83	8.03
Structural Concrete fc' 20 Mpa	82.00	3.50	12.25
Concrete fc' 15 Mpa	72.00	3.00	9.00
Cyclopean Concrete fc' 15 Mpa	13.00	0.50	0.25
Concrete Class fc' 10 Mpa	30.00	2.50	6.25
Precast Unit Type I Girder span 25 - 27 m, furnished	8.00	0.33	0.11
Precast Unit Type I Girder span 25 - 27 m, erection	8.00	0.33	0.11
Diaphragm Concrete Class fc' 30 Mpa including post tensioning work	29.00	0.66667	0.44444
Reinforcing Steel Plain Bars U-24	21.00	0.5	0.25
Reinforcing Steel Plain Bars U-32	15.00	133.333	177.778
Reinforcing Steel Deformed Bars U-32	36.00	1	1
Cast in Place Concrete Pile, 800 mm diameter	107.00	183.333	336.111
Stone Masonry	60.00	183.333	336.111
Expansion Joint Asphaltic Fixed Type	8.00	0.16667	0.02778

Penyelesaian Proyek (hubungan antara target durasi dan probabilitas penyelesaian proyek). Dalam kata lain kurva probabilitas dapat disebut dengan *Cumulative Density Function* (CDF). Pada persentil 50% ( $P_{50}$ ) merupakan target durasi penyelesaian menurut hasil Metode PERT. Adalah sebesar 1036 hari. Sedangkan durasi proyek existing sebesar 1078 hari memiliki probabilitas penyelesaian sebesar 95,45%. Selisih durasi antara probabilitas penyelesaian 50% dengan 95,45% disebut dengan **Kontinjensi waktu**. Kontinjensi waktu inilah yang digunakan untuk mengakomodasi ketidakpastian yang terdapat dalam pelaksanaan proyek. Selisih durasi inilah yang digunakan oleh pelaksana untuk mengajukan penawaran / tender dalam pelaksanaan proyek sebagai upaya dalam mitigasi risiko pelaksanaan waktu proyek.

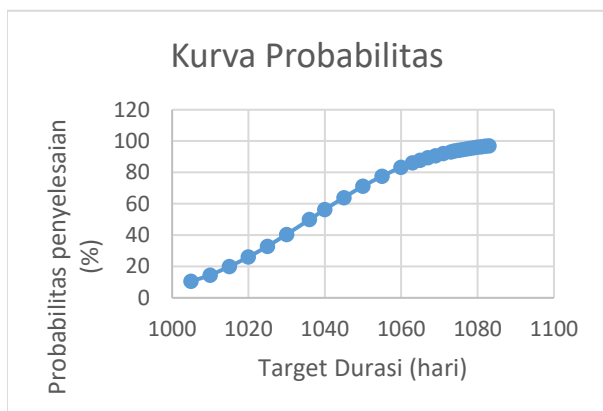
## B. Simulasi Monte Carlo

### 1) Membangun Distribusi Simulasi

Dalam simulasi *Monte Carlo*, setiap input divariasikan dalam rentang yang telah ditentukan ratusan kali untuk menghasilkan rentang *output* bersama dengan frekuensi kemunculannya. Frekuensi ini kemudian diterjemahkan ke dalam probabilitas terjadinya *output* masing-masing. Dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo*, kita dapat menghasilkan distribusi matematis (sering berupa distribusi normal / triangular) yang menunjukkan kisaran hasil yang mungkin. Dalam Tugas Akhir ini simulasi menggunakan *software RiskyProject 7 Pro* untuk menghitung total durasi jalur kritis proyek dan probabilitas penyelesaian proyek yang telah ditentukan. Mendefinisikan distribusi untuk waktu aktivitas: Durasi aktivitas dalam suatu proyek

Tabel 2.  
Rekapitulasi Nilai Varians pada Lintasan Kritis

Aktivitas	Varians
Start	1
Pembebasan lahan zona 5B	1
Stake out center zona 3B	136.111
<b>ZONA 3B STA. 6+000 - STA. 8+150 (MPK)</b>	
Mobilisasi Alat	0.25
Persiapan jalan akses (STA. 4+000 sd 8+000)	0.7
<b>ZONA 4 STA. 8+150 - STA. 12+000 (LMA)</b>	
Mobilisasi Alat	0.25
Persiapan jalan akses	0.7
Clearing& Grubing in rubber and vegetation	2.25
Selected Tree Removal	1.37
Common Excavation	9
Common embankment from Excavation	1
Selected Embankment from excavation	5.45
<b>ZONA 5 STA. 12+000 - STA. 14+850 (GMM)</b>	
Mobilisasi Alat	0.7
Persiapan jalan akses	2.25
<b>Pekerjaan Tanah 6B (0+800 sd 1+500)</b>	
Clearing& Grubing in rubber and vegetation	0.69444
Common Excavation	613.611
Common embankment from Excavation	336.111
Selected Embankment from excavation	4
<b>Drainage</b>	
Excavation for Drainage Ditches and Waterways	0.44444
Mortared Stonework	100.278
Un-reinforced Concrete Half Pipe Culvert inside Diameter 30 cm	173.611
U Ditch Type DS 1	544.444
U Ditch Type DS 2	277.778
Porous Drainage or Filter Material	0.44444
<b>Pavement Widening And Shoulder</b>	
Single Surface Dressing Aggregate	169
Bituminous Material for Surface Dressing	169
<b>Granular Pavement and Cement Concrete Pavement</b>	
Aggregate Base Class A	871.111
<b>Asphalt Pavement</b>	
Prime Coat – Cut Back	30.25
Tack Coat – Cut Back	12.25
Asphaltic Concrete – Wearing Course (AC-WC)	33.489
Asphaltic Concrete – Binder Course (AC-BC)	46.656
Anti Stripping Agent	277.778



Gambar 3. Kurva Probabilitas.

memiliki ketidakpastian yang perlu dipertimbangkan untuk mengevaluasi probabilitas penyelesaian proyek. Untuk mempertimbangkan ketidakpastian ini dalam durasi aktivitas, distribusi normal standar didefinisikan untuk setiap aktivitas. Yang akan disimulasikan adalah sebuah proyek yang terdiri dari 146 aktifitas. Setiap aktifitas memiliki waktu probabilistik (optimis, pesimis dan realistis) berdasarkan hasil wawancara.

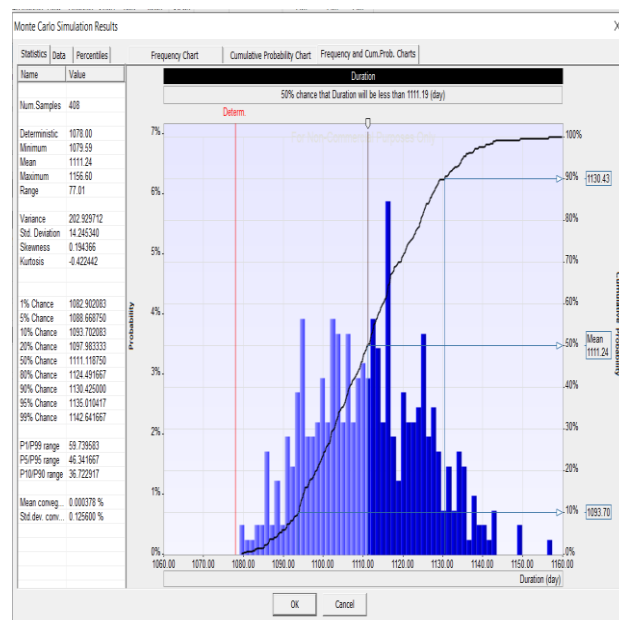
Semakin banyak data sampel yang bisa dimasukkan tentunya output yang akan diperoleh akan semakin baik.

Tabel 3.  
Hasil simulasi Monte Carlo untuk 2000 kali iterasi

Kind of Risk	Project Duration
No Risk	1078 days
With Risk	Minimum 1079.59 days
	Mean 1111.24 days
	Maksimum 1156.6 days
	P <sub>10</sub> 1093.7 days
	P <sub>95</sub> 1135.43 days

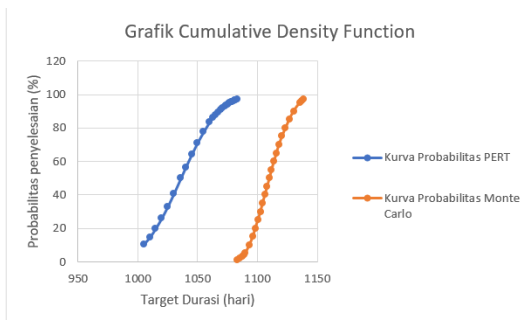
Tabel 4.  
Daftar nilai dalam kurva CDF untuk 2000 kali iterasi

Persentil (%)	Durasi
1	1083.33333
2	1085.6167
3	1087.3937
4	1088.747
5	1089.693
10	1093.30833
15	1096.195
20	1098.17
25	1100.5
30	1102.62
35	1104.333
40	1106.333
45	1108.2062
50	1110.145
55	1111.925
60	1113.9187
65	1116.0437
70	1118.0625
75	1120.6708
80	1123.5979
85	1126.7229
90	1130.31875
95	1135.441667
96	1137.10833
97	1138.875

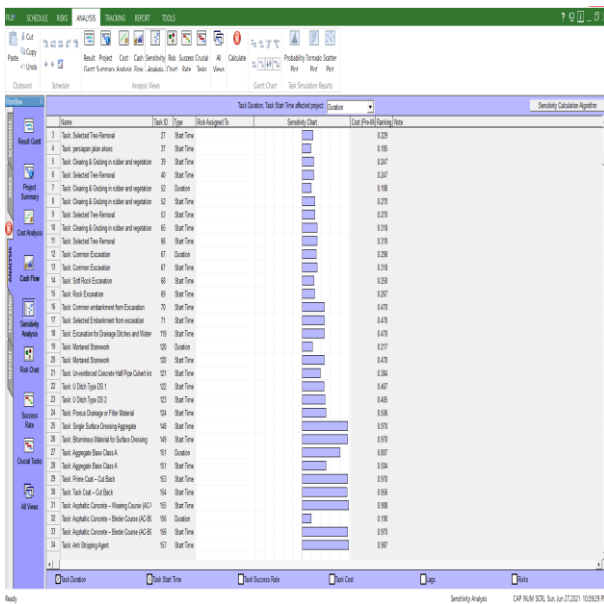


Gambar 4. Kurva PDF dan CDF hasil simulasi Monte Carlo untuk jumlah iterasi 2000 kali.

Setelah memasukkan data kemudian mengatur parameter data masukan & dijalankan. Ketika simulasi Monte Carlo telah selesai akan menghasilkan output berupa grafik distribusi probabilitas yang bisa mewakili data sampel & kumpulan parameter statistik yang dijadikan dasar sebagai penilaian output dan pilihan terbaik dalam pembuatan model. Software RiskyProject 7 Pro akan membantu dalam



Gambar 5. Perbandingan kurva CDF untuk Metode PERT dan simulasi Monte Carlo.



Gambar 6. Analisa Sensitivitas Simulasi Monte Carlo.

melihat distribusi probabilitas yg cocok dengan parameter-parameter statistik.

2) *Setting Simulasi*

Sebelum melakukan proses simulasi, maka perlu dilakukan pengaturan. Dapat dilakukan terhadap bentuk & jenis data yang telah dikumpulkan. Pengaturan dapat dilakukan dalam beberapa hal, seperti jumlah simulasi beserta iterasi yang akan dilakukan, teknik simulasi yang dipakai, tampilan muka aplikasi serta data hasil dari simulasi Monte Carlo. Simulasi yang dijalankan adalah simulasi Monte Carlo dimana proses simulasi yang dijalankan adalah 2000 kali iterasi dan dikumpulkan data input beserta kegiatan kritis yang diidentifikasi melalui software Microsoft Project.

3) *Hasil Simulasi*

Salah satu output simulasi yang diperoleh yaitu distribusi penyelesaian proyek. Distribusi penyelesaian proyek tadi dapat diilustrasikan dalam grafik distribusi probabilitas penyelesaian proyek.

Pada Gambar 4. merupakan perbandingan hasil durasi hasil simulasi Monte Carlo untuk iterasi 1000, 2000 dan 2500 kali. Hasil iterasi menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap durasi hasil iterasi (tidak melebihi 1 hari). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa penentuan

jumlah iterasi didasarkan pada asumsi perencanaan. Namun semakin besar jumlah iterasi, maka akan menghasilkan hasil yang semakin akurat dan mengurangi nilai error dikarenakan semakin banyak sistem melakukan iterasi dan pembangkitan angka random.

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa jadwal mean hasil simulasi berada diantara durasi rencana, tercepat dan durasi terlama, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai jadwal yang lebih ideal. Oleh karena itu jadwal tersebut lebih aman untuk digunakan dan probabilitasnya lebih besar. Selisih durasi P<sub>50</sub> dan durasi P<sub>90</sub> disebut dengan contingency time menurut simulasi Monte Carlo. Selisih durasi inilah yang digunakan untuk mengakomodasi ketidakpastian yang terjadi pada pelaksanaan proyek. Rekapitulasi durasi berdasarkan persentil proyek ditunjukkan dalam Tabel 4.

Gambar 5. menunjukkan perbandingan hasil kurva CDF antara Metode PERT dan Simulasi Monte Carlo. Hasil grafik menunjukkan bahwa hasil dari Metode PERT cenderung condong ke kiri yang berarti durasi penyelesaian menurut Metode PERT lebih cepat dibandingkan dengan simulasi Monte Carlo. Hal ini disebabkan oleh perbedaan pendekatan yang digunakan oleh kedua Metode tersebut. Metode PERT menggunakan analisis statistik deskriptif sedangkan simulasi Monte Carlo menggunakan pendekatan iterasi. Metode PERT harus menentukan lintasan kritis terlebih dahulu baru kemudian di analisis, sedangkan pada simulasi Monte Carlo lintasan kritis dapat berubah bergantung pada iterasi dan angka random yang muncul. Aktivitas kritis bersifat probabilistik (kemungkinan) yang nilainya ditentukan berdasarkan hasil dari Diagram Tornado pada analisa sensitivitas.

4) *Analisa Sensitivitas*

Berdasarkan pada hasil diagram tornado, variabel ketidakpastian yang mempunyai rentang batang terpanjang merupakan variabel ketidakpastian yang paling sensitif dan memberikan pengaruh yang paling besar terhadap perubahan kriteria yang ditetapkan atau dalam hal penjadwalan proyek merupakan aktivitas yang probabilitas untuk menjadi lintasan kritis cukup besar. Demikian pula sebaliknya, variabel ketidakpastian yang mempunyai rentang batang terpendek merupakan variabel ketidakpastian yang paling rendah terhadap perubahan kriteria yang ditetapkan atau dalam hal penjadwalan proyek merupakan aktivitas yang probabilitas untuk menjadi lintasan kritis cukup besar. Nilai probabilitas dinyatakan dalam koefisien yang terdapat dalam Gambar 6.

Pada Gambar 6. terdapat 34 aktivitas dalam simulasi Monte Carlo yang memiliki probabilitas untuk menjadi kritis dengan nilai yang cukup besar. Terdapat 4 aktivitas yang menjadi aktivitas kritis dengan probabilitas terbesar, yaitu : Asphaltic Concrete-Widening Course (AC-WC) dengan nilai 0.988; Anti Stripping Agent dengan nilai 0.987; Single Surface Dregging Agegate dengan nilai 0.97 dan Bitumeneous Material for Surface Dressing dengan nilai 0.97.

V. KESIMPULAN

A. *Kesimpulan*

Berdasarkan tinjauan aktivitas kritis yang diolah dengan

memasukkan ketidakpastian estimasi durasi penyelesaian proyek sebesar 1078 hari memiliki tingkat keyakinan 95%.

Durasi penyelesaian proyek yang paling mungkin berdasarkan Metode PERT sebesar 1036 hari. Sedangkan hasil simulasi *Monte Carlo* untuk durasi penyelesaian proyek sebesar 1135 hari dengan tingkat keyakinan 95%.

#### B. Saran

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang akan disampaikan, antara lain : (1) Diperlukan *expert* yang lebih berkompeten khususnya dalam bidang *time management* dengan meninjau *interview based research* agar mendapatkan hasil uji validitas; (2) Pada penelitian ini ditinjau pada aktivitas kritis (*sequence of work*) sehingga pemodelan Simulasi *Monte Carlo* yang dibuat dapat menunjukkan kejadian kondisi yang terjadi pada proses pekerjaan yang ditinjau; (3) Perlu ditambahkan analisa risiko kualitatif pada simulasi *Monte Carlo* untuk meningkatkan akurasi hasil dalam input aplikasi *RiskyProject 7 Professional*; (4) Dapat ditambahkan analisa biaya untuk mendapatkan analisa hubungan antara waktu dan biaya dalam penjadwalan probabilitas yang terdapat dalam analisis sensitivitas biaya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Project Management Institute, *A Guide to The Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, 2017 Edition. Newtown Square, Pennsylvania 19073-3299 USA: Project Management Institute, Inc, 2017.
- [2] I. Soeharto, *Manajemen Proyek: dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga, 2002.
- [3] W. Tysiak, "Risk Management in Projects: The Monte Carlo Approach Versus PERT," in *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Application*, vol.2, 2011.
- [4] Putra, J. G., & Sekarsari, J., "Analisis penjadwalan proyek gedung bertingkat dengan metode PERT dan M-PERT menggunakan simulasi Monte Carlo," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 3, no. 3, pp. 533–546, 2020.
- [5] J. Santony, "Simulasi penjadwalan proyek pembangunan jembatan gantung dengan metode Monte Carlo," *J. Inf. Teknol.*, vol. 2, pp. 30–35, 2020.
- [6] W. I . Ervianto, *Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Andi offset, 2004.
- [7] Wyrozębski, P., & Wyrozębska, A., "Benefits of Monte Carlo simulation as the extension to the Programme Evaluation and Review Technique," in *Electronic International Interdisciplinary Conference*, 2013.
- [8] M. Karabulut, "Application of Monte Carlo simulation and PERT/CPM techniques in planning of construction Projects: A Case Study," *Period. Eng. Nat. Sciences*, vol. 5, no. 3, p. 408–420, 2017.