

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Penjadwalan Proyek**

Penjadwalan merujuk pada waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan serangkaian aktivitas kerja dalam proyek konstruksi (Muharni et al., 2019). Durasi yang disusun dalam penjadwalan akan direncanakan sebelum proyek dimulai. Pada saat proses penyusunan tersebut, manajemen proyek perlu diperhatikan untuk menentukan durasi maupun urutan aktivitas sehingga terbentuk jadwal yang logis dan realistis. Hal tersebut dilakukan karena penjadwalan proyek akan menjadi tolak ukur keberhasilan suatu proyek konstruksi, disamping anggaran dan mutu. Suharto (1997) memaparkan bahwa salah satu indikator keberhasilan sebuah proyek adalah tepat waktu, yaitu kesesuaian antara waktu penyelesaian pekerjaan dengan jadwal yang telah ditetapkan. Dalam kata lain, proyek yang dikerjakan tidak mengalami keterlambatan atau proyek tidak selesai pada waktu yang sudah ditentukan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penjadwalan proyek memiliki manfaat sebagai pedoman untuk membatasi waktu mulai dan selesainya sebuah aktivitas, untuk mengkoordinasikan aktivitas secara sistematis dan realistis, serta dapat menjadi pedoman dalam pengendalian dan menilai kemajuan proyek (Kriswindita, 2018).

#### **2.1.1 Definisi Penjadwalan Proyek**

Dikutip dari buku "*A Guide to the Project Management Body of Knowledge*" (Project Management Institute, 2017), penjadwalan proyek adalah proses di mana kebijakan, prosedur, dan dokumen yang diperlukan untuk merencanakan, mengembangkan, mengelola, melaksanakan, dan mengendalikan jadwal proyek akan ditetapkan. Maksudnya yaitu proses tersebut menjadi tujuan utama dalam memberikan panduan dan arahan mengenai jadwal proyek yang akan dibuat. Selain itu, 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 progres waktu untuk penyelesaian proyek (Mewengkang et al., 2023). Dalam proses penjadwalan, penyusunan kegiatan dan hubungan antar kegiatan dibuat lebih terperinci dan sangat detail. Hal ini dimaksudkan untuk membantu pelaksanaan evaluasi proyek.

#### **2.1.2 Pentingnya Penjadwalan Proyek**

Pada saat pelaksanaan proyek konstruksi, setiap aktivitas yang dijalankan harus dijalankan sesuai dengan jadwal yang sudah dirancang. Hal ini bertujuan agar proyek dapat

berjalan dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan. Pada proses penjadwalan, penyusunan kegiatan dan hubungan antar kegiatan dibuat terperinci dan detail. Penjadwalan proyek yang disusun akan berhubungan dengan pengestimasian durasi. Estimasi durasi yang digunakan untuk merancang penjadwalan proyek umumnya menggunakan durasi yang pasti meskipun pada kenyataan di lapangan, banyak sekali ketidakpastian yang terjadi (Yuwono et al., 2021). Ketidakpastian tersebut menjadi salah satu faktor terjadinya keterlambatan proyek padahal ketepatan waktu menjadi salah satu indikator keberhasilan sebuah proyek. Ahuja, et al. (1994) mengategorikan keterlambatan dalam tiga kelompok besar yaitu sebagai berikut:

- *Excusable delay* (keterlambatan yang dapat dimaafkan), yakni keterlambatan yang disebabkan oleh kejadian-kejadian diluar kendali baik pemilik proyek maupun kontraktor, seperti keadaan cuaca dan force majeure lainnya serta permasalahan perencanaan.
- *Inexcusable delay* (keterlambatan yang tidak dapat dimaafkan), yakni keterlambatan yang disebabkan oleh tindakan, kelalaian atau kesalahan kontraktor.
- *Compensable delay* (keterlambatan yang layak mendapatkan kompensasi penambahan waktu), yakni keterlambatan yang disebabkan oleh tindakan, kelalaian atau kesalahan pemilik proyek.

Keterlambatan yang terjadi tentunya merugikan banyak pihak, baik kontraktor maupun pemilik proyek. Keputusan Presiden No. 61 Tahun 2004 (Indonesia) menyebutkan bahwa, denda (sanksi finansial) dapat dikenakan kepada penyedia jasa bila tidak dapat melaksanakan proyek sesuai waktu yang tersedia dalam kontrak. Oleh karena itu, penjadwalan proyek harus disusun secara terperinci agar keterlambatan tidak terjadi yang akan mengakibatkan kerugian.

## **2.2 Faktor Ketidakpastian pada Proyek Konstruksi**

keterlambatan adalah apabila suatu aktivitas atau kegiatan proyek konstruksi mengalami penambahan waktu atau tidak diselenggarakan sesuai dengan rencana yang diharapkan (Callahan et al., 1992). Keterlambatan yang terjadi pada proyek konstruksi merupakan dampak dari ketidakpastian. Ketidakpastian dibedakan menjadi dua yaitu ketidakpastian yang terkait dengan keadaan adanya ketidakpastian atau tidak ada informasi dan tingkat ketidakpastian yang terukur secara kuantitatif dimana informasi dapat diperoleh (Ismael, 2013). Diperlukan manajemen resiko untuk mengidentifikasi, menganalisis, menanggapi risiko yang ada dan memaksimalkan dampak positif dan meminimalkan dampak negatif yang akan terjadi pada proyek konstruksi yang akan dikerjakan (El-Karim et al., 2017). Risiko yang terjadi pada proyek konstruksi merupakan ketidakpastian suatu peristiwa yang

bisa berdampak negatif maupun positif pada tujuan proyek. Beberapa sumber ketidakpastian pada proyek konstruksi yang berdampak negatif yaitu, faktor lingkungan, tenaga kerjanya, keterlibatan pihak lain, dan masih banyak lagi (Prasetyono & Dani, 2022). Contoh konkrit dari ketidakpastian dalam konstruksi adalah pemogokan kerja, pengerjaan ulang, kekurangan material, *change order* dari *owner*, peralatan yang rusak, kehendak Tuhan, dan sebagainya (Alkass et al., 1996).

### **2.3 Estimasi Durasi**

Setiap penjadwalan proyek akan selalu terhubung dengan pengestimasian durasi. Estimasi durasi adalah perkiraan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas individu dengan mempertimbangkan sumber daya yang tersedia (Nugraha, 2020). Periode waktu yang dimaksud mengacu pada jam, hari, minggu, bulan atau tahun. Estimasi durasi ini cukup penting untuk mengetahui berapa lama durasi waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan suatu pekerjaan atau suatu aktivitas. Dalam menentukan perkiraan durasi aktivitas ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

- a. Ruang lingkup proyek
- b. Karakteristik aktivitas individual nya
- c. Sumber daya yang dapat diakses
- d. Data historis dari proyek sebelumnya

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan estimasi durasi aktivitas sampai pada perkiraan yang cukup akurat. Namun, ada beberapa aturan yang dapat membantu untuk mencapai waktu yang realistis dan menghindari kesalahan (Nugraha, 2020), sebagai berikut:

1. Asumsi setiap aktivitas dilakukan secara normal

Estimasi durasi aktivitas dilakukan secara normal atau dalam kondisi ideal. Sebagian besar aktivitas, ada yang memiliki tingkat produksi yang efisien sehingga menghasilkan biaya satuan yang rendah. Sebaliknya, dikarenakan pekerjaan yang bervariasi, maka tingkat produksi ini bukanlah angka yang tepat, tetapi mewakili kisaran tingkat produksi yang menurut pengalaman menghasilkan biaya satuan terendah.

2. Evaluasi setiap aktivitas secara independen

Seorang yang melakukan estimasi durasi aktivitas harus menghitung waktu aktivitas individu, seolah-olah tidak ada aktivitas yang lain. Apabila, seseorang menyusun jadwal pada awalnya dengan mencoba mempertimbangkan setiap kendala yang mempengaruhi setiap aktivitas, maka jumlah variabel akan menjadi sangat

banyak. Banyak faktor yang akan mempengaruhi aktivitas tertentu tidak dapat diketahui sampai keseluruhan waktu proyek telah ditentukan. Jadi, lebih baik merencanakan setiap kegiatan secara mandiri dan kemudian mempertimbangkan kendala seperlunya.

### 3. Gunakan satuan waktu yang konsisten

“Hari” merupakan satuan waktu umum yang paling banyak digunakan dalam industri konstruksi. Akan tetapi, terdapat satuan waktu “jam” dan “minggu” yang juga dapat digunakan dengan tepat sesuai situasi. Dalam industri konstruksi juga mengenal istilah “hari kerja” yang nantinya dirubah menjadi “hari kalender”. Terlepas dari satuan waktu yang digunakan, penting untuk konsisten dalam penggunaan satuan waktu agar tidak terjadi kebingungan dan kesalahpahaman atas waktu yang dijadwalkan pada berbagai bagian pekerjaan. Contohnya: waktu yang dihitung untuk kegiatan kerja biasanya dalam hari kerja, waktu yang dihitung untuk pengiriman bahan seringkali dalam hari kalender.

### 4. Simpan catatan saat ada perkembangan jadwal

Menyimpan catatan yang merujuk pada asumsi/perhitungan sebelumnya sehingga pada saat terjadi perkembangan jadwal. Contohnya, dalam upaya untuk memutuskan mempercepat beberapa aktivitas, maka akan sangat membantu jika seseorang mengetahui tingkat normal yang diasumsikan sebelumnya. Dengan informasi ini, maka dapat diukur efek dari percepatan suatu kegiatan pada berbagai kegiatan lainnya

## **2.4 Tenaga Kerja**

Salah satu fungsi manajemen konstruksi adalah untuk mengendalikan proyek dari berbagai aspek. Salah satu faktor yang dapat dikendalikan dalam sebuah proyek selain durasi adalah jumlah tenaga kerja. Pada umumnya, perencanaan untuk tenaga kerja serta penjadwalan untuk aktivitas-aktivitas proyek di Indonesia menggunakan acuan Indeks Tenaga Kerja dalam Handbook Standar Nasional Indonesia Analisis Biaya Konstruksi. Dimana satuan tenaga kerja yang digunakan pada perencanaan adalah OH (Orang Hari/Man-Hours). Menurut Sibi dan Inkirawang (2017), berikut adalah fungsi dan tugas-tugas tenaga kerja berdasarkan kehaliannya :

1. Mandor adalah orang yang mempunyai keahlian dalam bidang tertentu sesuai dengan jenis pekerjaan tertentu. Mandor membawahi langsung pekerja-pekerja atau tukang-tukang.

2. Kepala tukang adalah orang yang mempunyai keahlian dalam bidang pertukangan untuk jenis pekerjaan tertentu dan memberi petunjuk-petunjuk kepada para tukang yang berhubungan dengan jenis pekerjaan tersebut.
3. Tukang adalah orang yang langsung mengerjakan pekerjaan dilapangan dalam bidang tertentu sesuai petunjuk kepala tukang. orang-orang ini biasanya memiliki sedikit keterampilan.
4. Pekerja (buruh) adalah orang yang membantu tukang atau kepala tukang untuk semua jenis pekerjaan tanpa harus memiliki keahlian atas pekerjaan tertentu.

#### 2.4 Produktivitas

Setiap tenaga kerja di semua sektor termasuk sektor konstruksi dituntut untuk memiliki produktivitas kerja yang tinggi sehingga dapat tetap eksis dan bersaing di bidangnya. Produktivitas merupakan hal yang sangat penting bagi setiap tenaga kerja dalam penyelesaian suatu pekerjaan (Laksono, 2007). Kurangnya kesadaran tenaga kerja akan pentingnya produktivitas menjadi salah satu penyebab rendahnya pekerjaan yang dihasilkan. Muchdarsyah Sinungan (1992) memberikan contoh dalam suatu unit kerja terdapat sekitar 75% tenaga kerja yang tidak memanfaatkan waktu kerja dengan baik yaitu dengan melakukan kegiatan-kegiatan yang seharusnya tidak dilakukan. Masih rendahnya produktivitas yang dimiliki oleh tenaga kerja di Indonesia menuntut untuk adanya peningkatan produktivitas. Akan tetapi, banyaknya faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas menyebabkan usaha peningkatan produktivitas menjadi tidak mudah.

Salah satu potensial tertinggi dalam peningkatan produktivitas tenaga kerja adalah mengurangi jam kerja yang tidak efektif. Namun menurut Sibi dan Inkirawang (2017) sebenarnya kesempatan utama dalam meningkatkan produktivitas tenaga kerja terletak pada kemampuan individu manusia yaitu sikap individu manusia dalam bekerja serta manajemen maupun organisasi kerja. Tindakan perencanaan peningkatan produktivitas tenaga kerja individual paling sedikit mencakup tiga tahap berikut :

1. Faktor - faktor yang mempengaruhi produktivitas
2. Jenis - jenis pekerjaan
3. Analisa produktivitas tenaga kerja

Menurut Nugraha (2020), menghitung produktivitas dapat menggunakan rumus :

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Volume Aktivitas}}{\text{Tenaga Kerja}} \quad (2.1)$$

$$\text{Tenaga Kerja} = \text{Jumlah Pekerja} \times \text{Durasi} \quad (2.2)$$

## 2.5 Metode Penjadwalan Proyek

Salah satu tahapan penting dalam manajemen proyek, terutama yang melibatkan sejumlah kegiatan, adalah perencanaan. Dalam proses perencanaan, analisis estimasi durasi proyek menjadi hal yang krusial. Fakta lapangan menunjukkan bahwa waktu penyelesaian proyek cenderung bervariasi, sehingga proyek tersebut sulit dipastikan akan selesai sesuai perkiraan. Akurasi estimasi waktu penyelesaian proyek sangat tergantung pada keakuratan estimasi durasi setiap kegiatan di dalamnya. Terdapat beberapa metode analisis penjadwalan proyek yang banyak digunakan yaitu seperti CPM dan PERT karena dapat mengklasifikasikan kegiatan sebagai kritis dan tidak kritis (Maharesi, 2002). Merencanakan probabilitas juga memiliki banyak metode lain selain PERT salah satu diantaranya adalah MCS.

### 2.3.1 Critical Path Method (CPM)

Dalam Metode CPM, terdapat konsep jalur kritis yang mencakup serangkaian kegiatan dengan durasi terpanjang, menentukan periode penyelesaian proyek secara optimal. Menurut Jahja (2019) dalam CPM ada beberapa proses perhitungan yang harus dilakukan, yaitu *forward pass*, *backward pass*, dan *float analysis*. Analisis jalur kritis melibatkan dua proses berurutan, yaitu *forward pass* dan *backward pass*. Selama *forward pass*, ES (*earliest start*) dan EF (*earliest finish*) ditentukan, sementara LS (*latest start*) dan LF (*latest finish*) ditentukan selama *backward pass*. ES adalah waktu yang paling cepat dari suatu aktivitas dapat diselesaikan, mengindikasikan waktu sebelum suatu aktivitas dapat dimulai, dengan asumsi semua aktivitas pendahulu telah selesai. EF menunjukkan waktu sebelum suatu aktivitas dapat diselesaikan. ES dan EF dapat diperoleh dari *forward pass*, dimana hubungan keduanya dirumuskan sebagai berikut :

$$EF = ES + \text{durasi} \quad (2.1)$$

*Backward pass* adalah perhitungan waktu aktivitas dengan perhitungan mundur. Perhitungan mundu yang dimaksud untuk mengetahui waktu dan tanggal paling akhir dapat memulai dan mengakhiri masing – masing kegiatan, tanpa menunda kurun waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan dari hasil perhitungan *forward pass*. LS adalah waktu paling lambat dari suatu aktivitas dapat dimulai, sedangkan LF adalah waktu paling lambat dari suatu aktivitas diselesaikan. LS dan LF dapat diperoleh dari *backward pass*, dimana hubungan keduanya dirumuskan sebagai berikut :

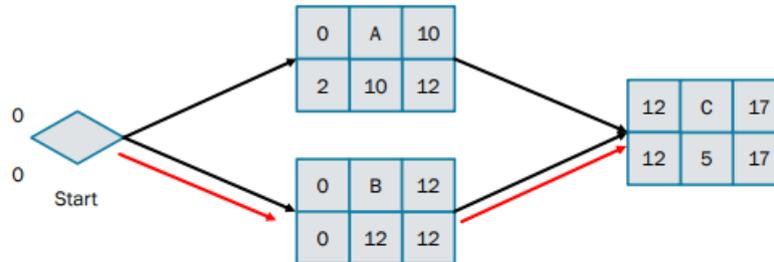
$$LF = LS + \text{durasi} \quad (2.3)$$

Jalur kritis adalah aktivitas – aktivitas dimana ES = LS. Jalur kritis merupakan rangkaian aktivitas – aktivitas yang ada, yang tidak dapat ditunda jika proyek ingin selesai tepat waktu. Jalur kritis merupakan waktu tersingkat dari sebuah proyek dapat diselesaikan. Contoh CPM

dapat dilihat pada gambar 2.1 dan contoh keterangan activity box (Nugraha, 2020) dapat dilihat pada gambar 2.2.

Jalur Kritis : Start – B – C

Gambar 2.1 Contoh Jalur Kritis pada CPM (Nugraha, 2020)



Early Start	Activity	Early Finish
Late Start	Duration	Late Finish
1	A	6
3	5	8

Gambar 2.2 Activity Box CPM (Nugraha, 2020)

*Float* adalah jangka waktu yang merupakan ukuran batas toleransi keterlambatan suatu aktivitas yang non kritis. *Float* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Float = LS - ES \quad (2.4)$$

$$Float = LF - EF \quad (2.5)$$

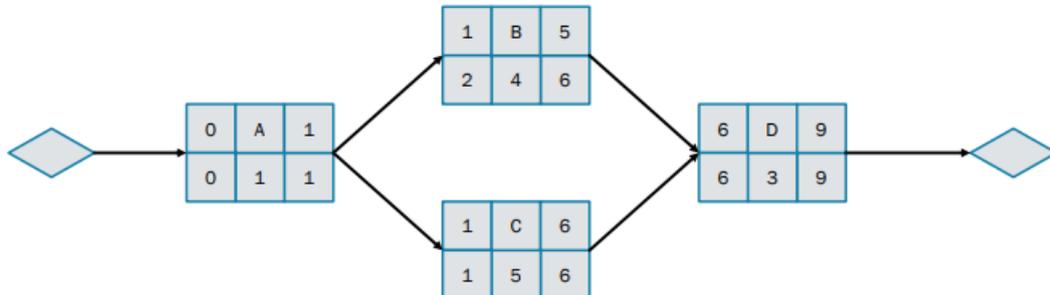
*Total float* (TF) adalah jumlah total waktu yang dimiliki oleh suatu aktivitas yang dapat ditunda (non kritis) tanpa mempengaruhi durasi proyek secara keseluruhan. *Total float* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = LS - ES = LF - EF \quad (2.6)$$

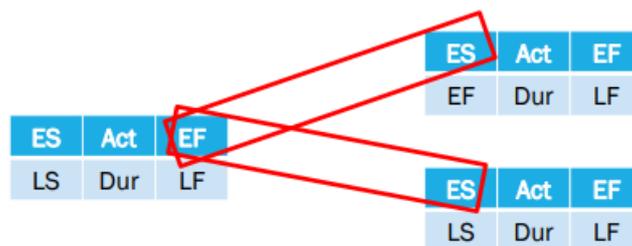
*Free Float* (FF) adalah jumlah waktu yang dimiliki oleh suatu aktivitas yang dapat ditunda (aktivitas non kritis) tanpa mempengaruhi *early start* aktivitas sesudahnya. *Free float*

dapat dirumuskan sebagai berikut dengan mengambil contoh aktivitas berdasarkan gambar 2.3 :

Gambar 2.3 Contoh Urutan Aktivitas CPM (Nugraha, 2020)



$$FF = ES (\text{aktivitas } B) - EF (\text{aktivitas } A) \quad (2.7)$$



Gambar 2.6 Perhitungan *Free Float* (Nugraha, 2020)

CPM memiliki keunggulan yaitu dapat membantu untuk mengoptimalkan sumber daya dan mengalokasikan tugas pekerja secara efektif. CPM berguna untuk memantau kemajuan proyek secara *real-time* dan membuat penyesuaian jika diperlukan, sehingga memastikan proyek selesai dengan biaya sesuai dengan anggaran dengan waktu yang tepat (Rio et al., 2024).

### 2.3.2 Program Evaluation Review Technique (PERT)

Menurut Shofa et al., (2017), PERT merupakan metode penyusunan jadwal yang melakukan perhitungan waktu kegiatan tergantung pada faktor dan variasi, oleh karena itu PERT menggunakan tiga estimasi waktu (Soeharto, 2002). PERT lebih mengorientasi pada peristiwa yang terjadi berbeda dengan CPM yang berorientasi pada kegiatannya, serta kurun waktu proyek selesai dan waktu proses bersifat tidak pasti (probabilistik). Oleh karena itu, penggunaan tiga poin estimasi digunakan agar dapat mengestimasi durasi suatu aktivitas

dalam bentuk distribusi probabilitas. Tiga nilai estimasi waktu suatu proyek yang menentukan perkiraan durasi aktivitas, antara lain (Maharesi, 2002):

- *Optimistic*

Durasi aktivitas yang terjadi pada saat kondisi yang mempengaruhi pelaksanaan konstruksi di lapangan dalam kondisi optimal.

- *Most likely*

Perkiraan ini didasarkan pada durasi aktivitas yang paling memungkinkan untuk terjadi pada saat pelaksanaan konstruksi dalam kondisi normal dengan memperhitungkan ketersediaan dan produktivitas sumber daya.

- *Pesimistic*

Durasi aktivitas yang memiliki definisi analisis skenario paling buruk untuk aktivitas tersebut. Durasi aktivitas tersebut dipengaruhi oleh keadaan yang menimbulkan masalah

Penggunaan metode tiga poin estimasi di atas dapat digunakan apabila data-data realisasi historis proyek yang sejenis kurang atau bahkan tidak ada. Cara untuk mendapatkan tiga poin estimasi tersebut dapat dilakukan dengan wawancara ahli atau *project manager* dalam proyek tersebut.

### **2.3.3 Monte Carlo Simulation**

Simulasi Monte Carlo merupakan metode analisis mengandalkan nilai data acak untuk menghasilkan statistik probabilitas, yang kemudian digunakan untuk memahami sebuah ketidakpastian (Wijaya dan Sulistio, 2019). Metode Monte Carlo bekerja dengan melibatkan penentuan dari distribusi probabilitas variabel yang diambil, diikuti dengan pengambilan sampel acak dari distribusi variabel tersebut untuk menghasilkan sebuah data (Santony, 2020). Menurut Shofa et al., (2017), ketika dalam sistem terdapat elemen - elemen yang memperlihatkan perilaku dimana cenderung tidak pasti atau bersifat probabilistik, maka simulasi Monte Carlo bisa untuk diterapkan. Untuk melakukan simulasi Monte Carlo, sampel yang diambil berdasarkan data yang telah ditentukan. Masing - masing sampel tersebut kemudian diulang - ulang sebanyak beberapa kali percobaan. Bagian terpenting dalam proses simulasi adalah pemilihan data historis yang tepat sehingga bisa menciptakan distribusi yang tepat untuk mewakili ketidakpastian setiap faktor resiko.

Data historis adalah data - data realisasi pada proyek sejenis dan dari banyaknya data historis dapat menghasilkan estimasi suatu data dalam berbagai bentuk distribusi probabilitas. Hasil dari data historis menciptakan distribusi probabilitas yang nantinya akan digunakan. Indonesia telah mengenai berbagai penelitian mengenai penggunaan MCS, namun

masih sedikit yang membandingkannya dengan kondisi aktual. Hal ini dikarenakan para *project manager* tidak terlalu familiar dengan metode ini sehingga dianggap sulit untuk digunakan dan cenderung malah menambah pekerjaan dan menghabiskan waktu. Langkah - langkah yang harus dilakukan untuk melakukan MCS untuk penjadwalan proyek adalah sebagai berikut:

1. Menentukan area dan ruang lingkup masalah dan tujuan analisis.
2. Mengidentifikasi sumber daya untuk elemen dan parameternya dari data yang diperoleh
3. Melakukan pemodelan masalah yang akan dianalisis dalam *software* MCS dan pemasukan data
4. Menentukan parameter simulasi. Penentuan parameter simulasi yang dimaksud misalnya jumlah pengulangan yang dilakukan
5. Melakukan simulasi menggunakan *software* MCS dengan menggunakan random number generator.
6. Melakukan analisis data.

Langkah – langkah bagaimana proses MCS bekerja dalam merencanakan penjadwalan adalah sebagai berikut :

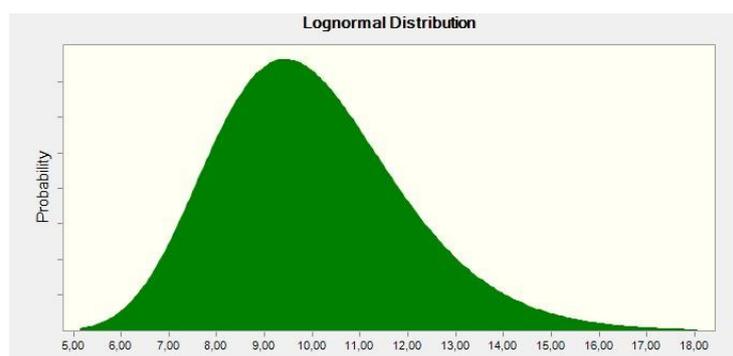
1. Melakukan estimasi durasi aktivitas terlebih dahulu untuk menghasilkan suatu distribusi probabilitas pada setiap aktivitas
2. Setiap aktivitas diberi suatu *random number*
3. Berdasarkan random number setiap aktivitas, didapatkan suatu durasi dari distribusi probabilitas aktivitas tersebut. Proses ini dinamakan *sampling*. Setiap distribusi memiliki rumus dengan *input* variabelnya yaitu *random number* dan parameter distribusi menghasilkan bentuk distribusi tersebut dengan *Output*-nya dalam hal ini adalah durasi aktivitas.
4. Tahap (2) dan tahap (3) dilakukan Kembali untuk semua aktivitas, sehingga seluruh aktivitas sudah memiliki suatu durasi yang telah didapatkan dari distribusi probabilitasnya.
5. Selanjutnya melakukan perhitungan jalur kritis dengan durasi setiap aktivitas yang telah didapatkan pada tahap (4)
6. Tahap (2) hingga tahap (5) diulangi kembali berkali – kali, sehingga didapatkan banyak hasil dari setiap iterasi yang menunjukkan durasi total dari semua aktivitas.

Hasil dari MCS akan berguna untuk menentukan waktu pelaksanaan proyek sesuai dengan kontigensi yang diperlukan. Oleh karena itu hasil dari simulasi ini akan memberikan jawaban mengenai berapa probabilitas bahwa proyek akan diselesaikan dalam kurun waktu x hari.

Simulasi MCS dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya dengan menggunakan add-on Oracle Crystal Ball. Dalam penjadwalan proyek, Oracle Crystal Ball memungkinkan pengguna untuk menggabungkan data historis dan estimasi *expert judgment* untuk menghasilkan input yang realistis. Dengan menjalankan simulasi Monte Carlo, pengguna dapat melihat bagaimana perubahan dalam variabel input mempengaruhi jadwal proyek secara keseluruhan. Selain itu, Crystal Ball dapat menghasilkan berbagai laporan dan visualisasi, seperti histogram dan grafik sensitivitas, yang membantu dalam komunikasi hasil analisis risiko. Hasil dari simulasi Monte Carlo yang dilakukan dengan Oracle Crystal Ball juga mencakup berbagai distribusi yang menggambarkan kemungkinan variasi dalam durasi, biaya, dan sumber daya proyek. Distribusi-distribusi ini, seperti distribusi normal, lognormal, gamma, Weibull, dll memberikan gambaran komprehensif tentang rentang hasil yang mungkin terjadi. Menurut Oracle. (n.d.) beberapa distribusi tersebut, yaitu :

- *Lognormal Distribution*

*Lognormal Distribution* menggambarkan banyak situasi di mana nilai-nilai cenderung condong ke kanan (dimana sebagian besar nilai terjadi di dekat nilai minimum), seperti harga aset dan sekuritas. Kuantitas-kuantitas seperti ini menunjukkan tren ini karena nilai-nilai tidak dapat jatuh di bawah nol tetapi dapat meningkat tanpa batas.

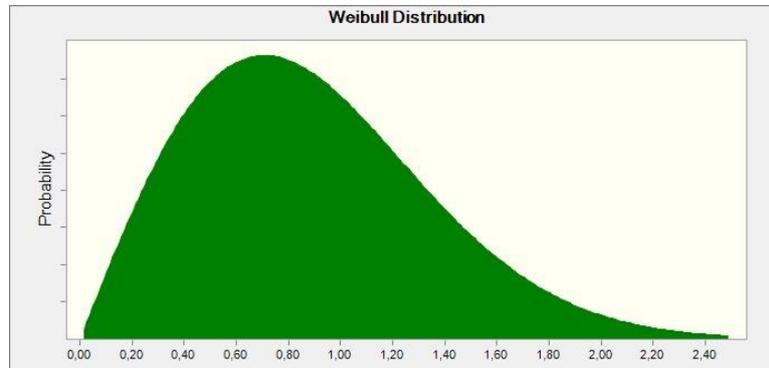


Gambar 2.5 *Lognormal Distribution* (Sumber: Oracle Crystal Ball)

- *Weibull Distribution*

*Weibull Distribution* adalah kontinu. Distribusi ini dapat digunakan untuk menggambarkan waktu kegagalan dalam uji keandalan dan kontrol kualitas. *Weibull*

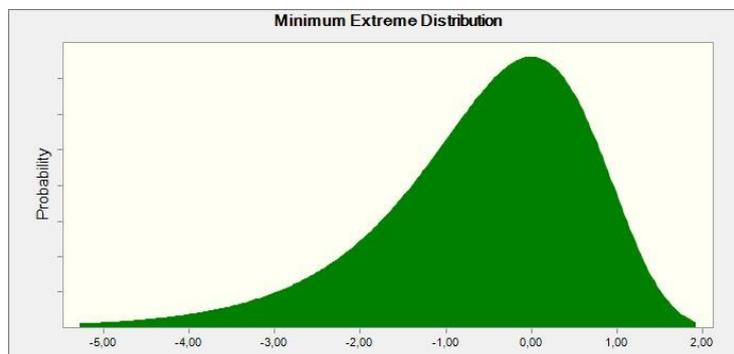
*Distribution* juga digunakan untuk merepresentasikan berbagai kuantitas fisik, seperti kecepatan angin.



Gambar 2.6 *Weibull Distribution* (Sumber: *Oracle Crystal Ball*)

- *Minimum Extreme Distribution*

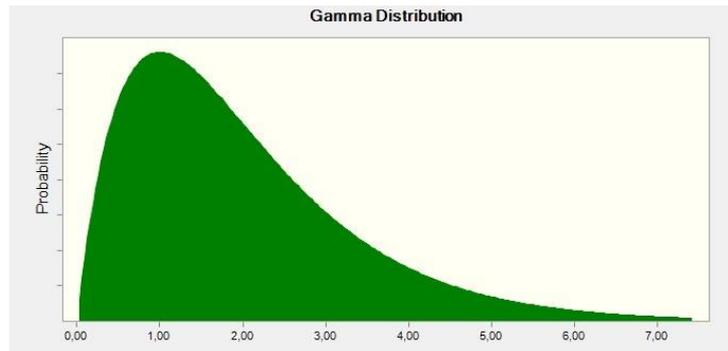
*Minimum Extreme Distribution* adalah kontinu. Distribusi ini biasa digunakan untuk menggambarkan nilai terkecil dari suatu respons selama periode waktu tertentu: misalnya, curah hujan selama musim kemarau. Distribusi ini memiliki hubungan erat dengan distribusi *maximum extreme distribution*.



Gambar 2.7 *Minimum Extreme Distribution* (Sumber: *Oracle Crystal Ball*)

- *Gamma Distribution*

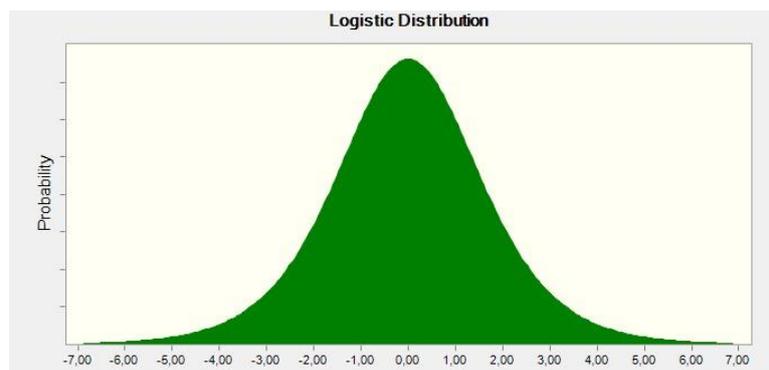
*Gamma Distribution* adalah kontinu. Distribusi gamma digunakan untuk mengukur waktu antara terjadinya peristiwa ketika proses peristiwa tidak sepenuhnya acak.



Gambar 2.8 *Gamma Distribution* (Sumber: *Oracle Crystal Ball*)

- *Logistic Distribution*

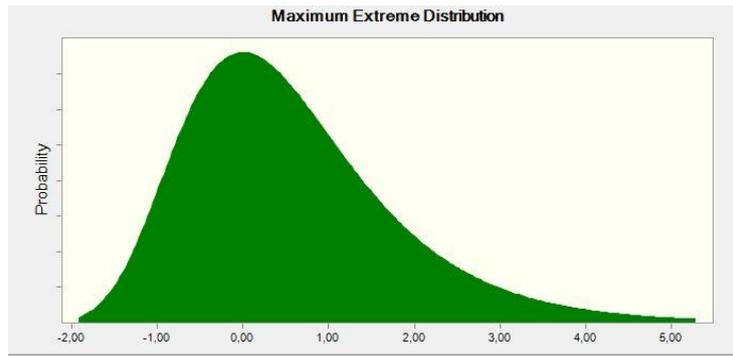
*Logistic Distribution* adalah kontinu. Distribusi ini biasa digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan (ukuran populasi yang dinyatakan sebagai fungsi dari variabel waktu). Distribusi ini juga dapat digunakan untuk menggambarkan reaksi kimia dan jalannya pertumbuhan suatu populasi atau individu.



Gambar 2.9 *Logistic Distribution* (Sumber: *Oracle Crystal Ball*)

- *Maximum Extreme Distribution*

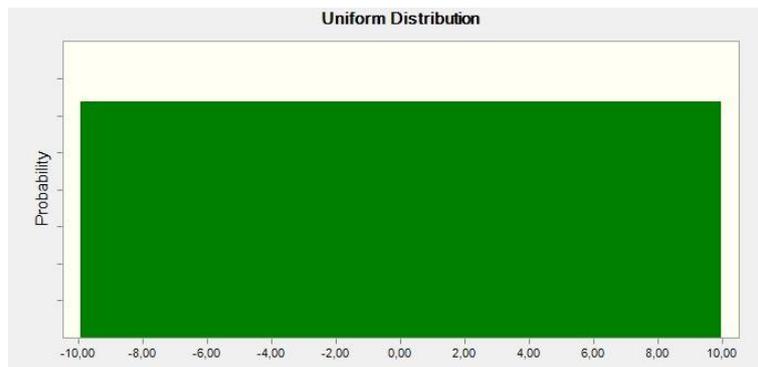
*Maximum Extreme Distribution* adalah kontinu. Distribusi ini biasa digunakan untuk menggambarkan nilai terbesar dari suatu respons selama periode waktu tertentu: misalnya, dalam aliran banjir, curah hujan, dan gempa bumi. Distribusi ini juga dikenal sebagai "*Gumbel Distribution*" dan memiliki hubungan erat dengan *minimum extreme distribution*, yang merupakan "cermin" dari distribusi ini.



Gambar 2.10 *Maximum Extreme Distribution* (Sumber: *Oracle Crystal Ball*)

- *Uniform Distribution*

*Uniform Distribution* adalah kontinu. Pada distribusi uniform, mengetahui rentang antara nilai minimum dan maksimum serta mengetahui bahwa semua nilai dalam rentang tersebut memiliki kemungkinan yang sama untuk terjadi.



Gambar 2.11 *Uniform Distribution* (Sumber: *Oracle Crystal Ball*)

Dalam penentuan distribusi yang ditentukan langsung oleh *Oracle Crystall Ball*, penentuan dari *Oracle Crystall Ball* ini memberikan peringkat pada distribusi untuk setiap data. Distribusi tersebut tersusun secara rank dari distribusi yang paling tepat untuk data tersebut sampai yang kurang tepat berdasarkan *P-Value* yang dihasilkan dari setiap distribusi. Nilai-nilai *P-Value* ini mengungkapkan sejauh mana kecocokan aktual sesuai dengan kecocokan teoretis untuk uji pencocokan dan distribusi tersebut. Dalam memberi peringkat pada distribusi, dapat menggunakan salah satu dari tiga uji *goodness-of-fit standart*:

***Anderson-Darling*** — Metode ini sangat mirip dengan metode *Kolmogorov-Smirnov*, kecuali bahwa metode ini memberikan bobot lebih besar pada perbedaan antara dua distribusi pada bagian *tails* mereka dibandingkan dengan *mid-ranges*. Pemberian bobot pada *tails* ini membantu mengoreksi kecenderungan metode *Kolmogorov-Smirnov* yang terlalu menekankan perbedaan di *central region*. *P-value* yang ditampilkan untuk distribusi kontinu

ketika metode *Anderson-Darling* digunakan: *normal, exponential, logistic, maximum extreme, minimum extreme, uniform, gamma, Weibull, dan lognormal*. *P-value* untuk statistik *Anderson-Darling* dipengaruhi oleh jumlah titik data yang cocok, rumus penyesuaian digunakan untuk mendapatkan statistik *Anderson-Darling* untuk ukuran sampel tertentu. Kualitas parameter yang cocok dan *p-value* yang dihitung menurun seiring dengan penurunan ukuran sampel. Saat ini, *Crystal Ball* memerlukan setidaknya 15 titik data untuk mencocokkan semua distribusi.

Selain jenis – jenis distribusi, ada beberapa istilah yang perlu untuk diketahui dari *Oracle Crystal Ball* dimana dapat memberikan analisis mendalam dan probabilistik tentang berbagai skenario dan hasil potensial, membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik berdasarkan data simulasi. Hal ini meliputi :

- CDF (Cumulative Distribution Function)  
CDF adalah fungsi distribusi kumulatif yang menggambarkan probabilitas bahwa variabel acak akan mengambil nilai kurang dari atau sama dengan nilai tertentu. Dalam Monte Carlo Simulation, CDF digunakan untuk memahami distribusi probabilitas kumulatif dari hasil simulasi.
- RNG (Random Number Generator)  
RNG adalah alat atau algoritma yang digunakan untuk menghasilkan angka-angka acak. Dalam konteks Monte Carlo Simulation, RNG menghasilkan angka-angka acak yang digunakan untuk mensimulasikan variabel acak berdasarkan distribusi probabilitas yang ditentukan.
- PDF (Probability Density Function)  
PDF adalah fungsi kepadatan probabilitas yang menggambarkan probabilitas relatif bahwa variabel acak akan berada di sekitar nilai tertentu. PDF memberikan cara untuk melihat bagaimana nilai-nilai variabel acak didistribusikan dalam rentang tertentu. Dalam Monte Carlo Simulation, PDF menunjukkan kepadatan atau frekuensi relatif dari nilai-nilai variabel acak.

## 2.4 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Tabel Hasil Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
1	Karabulut, 2017	<i>Application of Monte Carlo simulation and PERT/CPM techniques in planning of construction projects: A Case Study</i>	Metode <i>Monte Carlo Simulation</i> dapat memberikan hasil yang lebih realistis dengan mempertimbangkan faktor resiko daripada metode <i>Critical Path Method</i> .
2	Febriana et al, 2021	Analisis Penjadwalan Proyek Dengan Metode <i>PERT</i> Menggunakan <i>Microsoft Project 2016</i>	Durasi penyelesaian proyek dengan metode <i>PERT</i> menggunakan <i>Microsoft Project 2016</i> lebih cepat dari jadwal rencana atau durasi <i>Time Schedule</i> .
3	Sampurno et al, 2021	Penjadwalan Proyek Menggunakan <i>Monte Carlo Simulation</i> Pada Kondisi Tidak Pasti : Studi Kasus Wabah COVID-19 di Surabaya	Model perencanaan penjadwalan yang dihasilkan menggunakan <i>Monte Carlo Simulation</i> menghasilkan total durasi penyelesaian dalam bentuk distribusi probabilitas sehingga memiliki mean dan standar deviasi yang dapat memprediksi beberapa resiko yang bisa terjadi apabila pembangunannya dilakukan pada kondisi wabah COVID-19 terjadi.
4	Deshmukh & Rajhans, 2018	<i>Comparison of Project Scheduling techniques: PERT versus Monte Carlo simulation</i>	Hasil yang diperoleh menggunakan <i>Monte Carlo Simulation</i> lebih mendekati durasi praktis penyelesaian proyek sehingga manajer proyek dapat mengevaluasi analisis risiko dengan mengevaluasi indeks kritis dan probabilitas penyelesaian proyek.

5	Wijaya & Sulistio, 2019	Penerapan Metode <i>Monte Carlo</i> Pada Penjadwalan Proyek <i>Garden Apartment</i>	Metode <i>Monte Carlo</i> dapat diterapkan pada penjadwalan proyek Serpong <i>Garden Apartment</i> dengan cara melakukan <i>Monte Carlo Simulation</i> dari data durasi optimis, <i>most likely</i> dan pesimis.
---	-------------------------	---	--