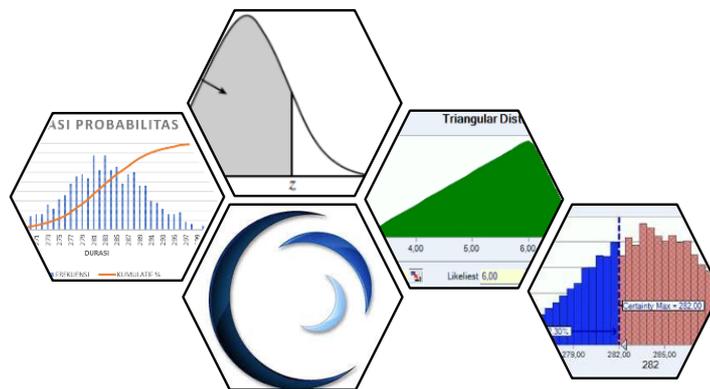


PENGGUNAAN METODE PERT DAN METODE MONTE CARLO DALAM PENJADWALAN PROYEK

SKRIPSI



DYAN AZIZAH WULANDARI
(H011191002)



PROGRAM STUDI MATEMATIKA DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

**PENGGUNAAN METODE PERT DAN METODE MONTE CARLO
DALAM PENJADWALAN PROYEK**

DYAN AZIZAH WULANDARI

H011191002



PROGRAM STUDI MATEMATIKA DEPARTEMEN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

**PENGGUNAAN METODE PERT DAN METODE MONTE CARLO
DALAM PENJADWALAN PROYEK**

DYAN AZIZAH WULANDARI

H011191002

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Matematika

pada

PROGRAM STUDI MATEMATIKA DEPARTEMEN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

SKRIPSI

PENGUNAAN METODE PERT DAN METODE MONTE CARLO DALAM
PENJADWALAN PROYEKDyan Azizah Wulandari
H011191002

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Sains pada 20 Agustus
2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Matematika
Departemen Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
MakassarMengesahkan :
Pembimbing Tugas Akhir
Dr. Khaeruddin, M.Sc.
NIP. 19650914 199103 003Mengetahui :
Ketua Program Studi
Dr. Firman, S.Si., M.Si.
NIP. 19680429 200212 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "Penggunaan Metode PERT dan Metode Monte Carlo dalam Penjadwalan Proyek" Adalah benar karya tulis saya dengan arahan dari Bapak Dr. Khaeruddin, M.Sc. sebagai pembimbing. Karya tulis ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 20 Agustus 2024



Dyan Azizah Wulandari
H011191002

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan Rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, sebagai Nabi yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umatnya sehingga penyusunan skripsi ini dengan judul "**PENGGUNAAN METODE PERT DAN METODE MONTE CARLO DALAM PENJADWALAN PROYEK**" dapat terselesaikan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar **Sarjana Sains** pada Program Studi Matematika Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak. Terima kasih kepada kedua orang tua penulis Bapak **Yauhar Muzakhir** dan Ibu **Widayanti** yang telah membesarkan dan mendidikan penulis serta memberikan dukungan doa dan materi sehingga penulis dapat menyelesaikan Pendidikan S1. Terima Kasih kepada adik saya **Gita Afifah Chairunnisa** yang telah berjuang bersama-sama dari kecil hingga sekarang ini. Pada kesempatan kali ini dengan segala kerendahan hati penulis juga menyampaikan ungkapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya, serta Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam beserta jajarannya.
2. Bapak **Dr. Firman, S.Si., M.Si.** selaku Ketua Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta Bapak dan Ibu **Dosen Departemen Matematika** yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Program Studi Matematika, serta para **Staf Departemen Matematika** yang telah membantu dan memudahkan penulis dalam berbagai hal administrasi.
3. Bapak **Dr. Khaeruddin, M.Sc.** selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan serta masukan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Agustinus Ribal, S.Si., M.Sc., Ph.D.** selaku Dosen Pembimbing Akademik dan dosen penguji serta Ibu **Naimah Aris, S.Si., M.Math.** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu, memberikan masukan dan saran serta mendampingi dan memberikan semangat kepada penulis.

5. Keluarga terdekat penulis, **Muh. Syahrul Ihsan MT, S.T** dan **Firdhana Atshila Ibrahim** yang selalu menjadi pendengar terbaik penulis, teman-teman MTsN, **Rizky Wahdini, Putri Rumpati**, dan **Anisa Adel** atas dukungan dan selalu jadi tempat pulang terbaik, teman-teman MAN, **Irmawati Saputri** yang telah bersama-sama melewati masa awal perkuliahan serta **A.Nur Afni, Fathiyya** dan **Ditya Ayu** atas dukungan dan kebersamaannya hingga saat ini.
6. Teman-teman satu angkatan **Matematika 2019** dan **Ramlah** yang telah bersama-sama melewati suka duka masa perkuliahan. Juga untuk **Angri Dhea Insani** yang telah bersama selama proses bimbingan revisi hingga wisuda.

Terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi untuk pengembangan ilmu.

Makassar, 20 Agustus 2024



Dyan Azizah Wulandari

ABSTRAK

Proyek konstruksi selalu dihadapkan dengan berbagai risiko dan ketidakpastian. Risiko dan ketidakpastian ini dapat menyebabkan penundaan proyek, pembengkakan biaya, dan bahkan kegagalan proyek. Untuk mengatasi semua risiko dan ketidakpastian dalam pembangunan rumah tinggal di Makassar, maka digunakan beberapa metode salah satunya metode PERT, metode distribusi z, dan simulasi Monte Carlo untuk menghitung durasi optimal sebuah proyek dengan menggunakan nilai-nilai yang dipilih secara random dari distribusi probabilitas yang mungkin terjadi dengan tujuan untuk menghitung distribusi kemungkinan waktu. Data yang digunakan untuk perhitungan yaitu durasi optimis, pesimis, dan median pelaksanaan proyek Pembangunan rumah tinggal kota makassar yang di analisis berdasarkan RAB dan hasil wawancara. Simulasi dalam skripsi ini menggunakan Microsoft Excel dan software Crystal Ball dimana distribusi data yang digunakan adalah distribusi triangular. Hasil yang diperoleh yaitu simulasi Monte Carlo adalah metode yang paling akurat di antara ketiga metode ini, karena kemampuannya untuk memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kemungkinan durasi proyek, dengan mempertimbangkan berbagai skenario yang mungkin terjadi.

Kata kunci : Proyek, Durasi, PERT, Distribusi Z, Simulasi, Monte Carlo, Probabilitas.

Judul : PENGGUNAAN METODE PERT DAN METODE MONTE CARLO DALAM PENJADWALAN PROYEK
Nama : Dyan Azizah Wulandari
NIM : H011191002
Program Studi : Matematika

ABSTRACT

Construction projects are always faced with various risks and uncertainties. These risks and uncertainties can cause project delays, cost overruns, and even project failure. To overcome all risks and uncertainties in the construction of residential houses in Makassar, several methods are used, one of which is the PERT method, the z-distribution method, and Monte Carlo simulation to calculate the optimal duration of a project using randomly selected values from a probability distribution that may occur with the aim of calculating the probability distribution of time. The data used for the calculation is the optimistic, pessimistic, and median duration of the project implementation of the construction of residential houses in Makassar city which is analyzed based on RAB and interview results. The simulation in this thesis uses Microsoft Excel and Crystal Ball software where the data distribution used is a triangular distribution. The results obtained are that Monte Carlo simulation is the most accurate method among these three methods, due to its ability to provide a more complete picture of the possible project duration, taking into account various scenarios that may occur.

Keywords: Project, Duration, PERT, Z Distribution, Simulation, Monte Carlo, Probability.

Title : THE USE OF PERT METHOD AND MONTE CARLO
METHOD IN PROJECT SCHEDULING
Name : Dyan Azizah Wulandari
Student ID : H011191002
Study Program : Mathematics

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN PENGAJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Landasan Teori	4
1.6.1 Pengertian Proyek.....	4
1.6.2 Manajemen proyek.....	5
1.6.3 Rencana Anggaran Biaya.....	6
1.6.4 Jaringan Kerja (<i>Network Planning</i>)	6
1.6.5 PERT (<i>Program Evaluation and Review Technique</i>)	8
1.6.6 Metode Distribusi Z.....	14
1.6.7 Metode Monte Carlo.....	14
1.6.8 Oracle Crystal Ball.....	16
BAB II METODOLOGI PENELITIAN	19
2.1 Jenis dan Sumber Penelitian	19
2.1.1 Jenis Penelitian.....	19
2.1.2 Sumber Penelitian	19

2.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
2.3 Prosedur Penelitian	19
2.4 Diagram Alir Penelitian	22
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
3.1 Menyusun Lintasan Kritis dengan Metode PERT.....	23
3.1.1 Menghitung Kurun Waktu yang Diharapkan (TE)	23
3.1.2 Menentukan Hubungan Ketergantungan Antar Aktivitas	27
3.1.3 Perhitungan Forward Pass dan Backward Pass.....	31
3.2 Metode Statistik Distribusi Z.....	39
3.3 Simulasi Monte Carlo.....	44
3.3.1 Menghitung Jumlah Iterasi.....	44
3.3.2 Membangkitkan Angka Random	45
3.3.3 Probabilitas Durasi Simulasi Monte Carlo	47
3.4 Simulasi Monte Carlo dengan Crystal Ball.....	48
BAB IV PENUTUP	53
4.1 KESIMPULAN.....	53
4.2 SARAN	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Node dalam Network Diagram	9
Gambar 1. 2 Kurva Distribusi Frekuensi.....	11
Gambar 1. 3 Kurva Distribusi Asimetris (beta dengan a, m, dan b).....	11
Gambar 1. 4 Kurva Distribusi dengan Letak a, b, m, dan te.....	12
Gambar 1. 5 Derajat ketidakpastian berbeda meskipun memiliki angka te yang sama besarnya	13
Gambar 1. 6 Membangkitkan Angka Random Menggunakan Excel	16
Gambar 2. 1 Diagram Alir	22
Gambar 3. 1 Diagram Jaringan dengan Lintasan Kritis	37
Gambar 3. 2 Diagram Jaringan dengan Lintasan Kritis	38
Gambar 3. 3 Grafik Durasi Probabilitas.....	48
Gambar 3. 4 Menentukan Distribusi Triangular	49
Gambar 3. 5 Distribusi Triangular	49
Gambar 3. 6 Define Forecast	50
Gambar 3. 7 Jalankan Simulasi	50
Gambar 3. 8 Simulasi Monte Carlo dengan 582 Iterasi	51
Gambar 3. 9 Simulasi Monte Carlo dengan 1.000 Iterasi	51
Gambar 3. 10 Simulasi Monte Carlo dengan 10.000 Iterasi.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jaringan AON	7
Tabel 1. 2 Kegiatan A dan B dengan TE Sama Besar = 6	13
Tabel 3. 1 Data Durasi (o), (m), (p) dan Perhitungan Te	23
Tabel 3. 2 Kegiatan Terdahulu Proyek Pembangunan Rumah Tinggal.....	27
Tabel 3. 3 Perhitungan ES, EF, LS, LF, dan TF	32
Tabel 3. 4 Perhitungan Deviasi Standar dan Varians	39
Tabel 3. 5 Perhitungan Tingkat Probabilitas	43
Tabel 3. 6 Perhitungan Standar Deviasi.....	44
Tabel 3. 7 Membangkitkan Angka Random dengan 581 Iterasi.....	46
Tabel 3. 8 Lanjutan Membangkitkan Angka Random dengan 581 Iterasi.....	46
Tabel 3. 9 Analisis Hasil Simulasi dengan Nilai PDF dan CDF	47
Tabel 3. 10 Hasil Simulasi 581, 1000, dan 10.000 Iterasi.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pertanyaan dan Hasil Wawancara Berupa Durasi Optimis, Median, dan Pesimis	57
Lampiran 2 RAB Pembangunan Rumah Tinggal.....	65
Lampiran 3 Kurva S Pembangunan Rumah Tinggal.....	69
Lampiran 4 Simulasi Monte Carlo dengan 582 Iterasi	70
Lampiran 5 Riwayat Hidup.....	96

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyek adalah gabungan dari berbagai aktivitas yang saling berkaitan dan harus dilakukan dengan mengikuti alur kegiatan sampai tujuan tersebut tercapai. Setiap proyek memiliki tenggang waktu aktivitas, dimana proyek tersebut harus diselesaikan sebelum atau sesuai dengan durasi yang telah ditetapkan. Proyek memiliki sifat unik, yaitu antara proyek satu dengan yang lain tidak akan sama persis, sehingga setiap hasil dari proyek tersebut memiliki ciri-ciri yang berbeda. Berdasarkan aktivitasnya, proyek terbagi menjadi beberapa jenis, salah satunya yaitu proyek konstruksi (Rizal, 2017).

Perkembangan manajemen proyek terus meningkat sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Tujuan dari proyek konstruksi salah satunya untuk mencapai target penyelesaian proyek yang tepat waktu sesuai dengan jadwal pelaksanaan. Pada dasarnya penjadwalan yang disusun telah di estimasikan dengan durasi yang pasti, namun ada beberapa faktor yang menyebabkan durasi masing-masing pekerjaan tidak dapat ditentukan dengan pasti (Arianto, 2010).

Penyebab dari kegagalan suatu proyek adalah kurang efektifnya perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian sehingga aktivitas pada proyek konstruksi tidak efisien serta mengakibatkan mutu dari pekerjaan tersebut menurun, anggaran biaya yang melebihi rencana, dan waktu yang melebihi jadwal normal. Keterlambatan kerja menjadi permasalahan yang sering terjadi pada pihak pelaksana proyek. Keterlambatan tersebut dapat diakibatkan oleh faktor cuaca, perubahan kondisi pada lokasi kerja, terlambatnya supply material, dan lain-lain (Tamba, 2018).

Perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian merupakan aspek penting dalam melakukan suatu aktivitas kerja pada proyek. Aspek tersebut lebih dikenal dengan *Network Planning*. *Network Planning* adalah hubungan antar aktivitas proyek yang ditunjukkan dalam bentuk aliran kerja. Melalui aliran kerja tersebut didapatkan suatu informasi mengenai aktivitas yang akan dikerjakan agar lebih mudah dipahami (Anggreani, 2017).

Kondisi di lapangan seringkali menunjukkan durasi penyelesaian yang beragam sehingga waktu penyelesaian pun tidak akan bisa dipastikan, maka dari itu pelaksana proyek memerlukan suatu metode dalam meningkatkan ketepatan estimasi penyelesaian kerja. Salah satu metode yang dianjurkan adalah metode *Program Evaluation Review Technique* (PERT). Metode PERT merupakan salah satu desain dari *Network Planning* yang menggunakan kemungkinan (probabilitas) untuk menyelesaikan suatu proyek. Metode ini lebih memfokuskan pada nilai ketidakpastian dalam memperkirakan sumber

daya dalam menyelesaikan proyek. Nilai ketidakpastian tersebut digambarkan dengan nilai estimasi dari durasi optimis, waktu median, dan waktu pesimis. Metode ini berguna untuk mengurangi terjadinya penundaan kerja, gangguan pada produksi, dan melakukan pengendalian secara menyeluruh untuk mempercepat selesainya proyek (Oka, 2017). Metode PERT yang dipergunakan dengan melihat hubungan antara kurun waktu yang diharapkan (t_e) dengan target penyelesaian yang diinginkan (t_d) yang dinyatakan dengan z . Tujuannya untuk mendapatkan perhitungan durasi proyek konstruksi berdasarkan data yang berasal dari RAB (Garcinia, 2018).

Salah satu metode lain yang dapat digunakan adalah dengan simulasi Monte Carlo. Simulasi ini merupakan metode yang pengambilan sampelnya dilakukan secara acak dari setiap distribusi probabilitas dalam suatu model untuk menghasikan ratusan ataupun ribuan iterasi. Dalam bidang konstruksi, simulasi ini dapat digunakan untuk menentukan durasi penyelesaian proyek dan perkiraan biaya total dari suatu proyek (Acebes dalam Teguh, 2022). Penelitian ini dilakukan untuk meneliti apakah penggunaan simulasi Monte Carlo dalam penjadwalan proyek dapat menghasilkan prediksi penjadwalan yang dapat memperhitungkan ketidakpastian-ketidakpastian serta mendapat distribusi yang paling sesuai untuk digunakan berdasarkan data historis masa lalu. Penelitian ini juga dilakukan dengan menggunakan *Crystal Ball* yang merupakan *add-ins* Ms. Excel (Teguh, 2022).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan judul “Penggunaan Metode PERT dan Metode Monte Carlo dalam Penjadwalan Proyek”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana langkah-langkah penerapan metode PERT dan metode Monte Carlo dalam menentukan estimasi durasi kegiatan pada proyek?
2. Bagaimana hasil penjadwalan proyek yang dihasilkan dari penggunaan kombinasi metode PERT dan Monte Carlo dalam menghadapi variabilitas waktu pelaksanaan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dalam penelitian ini antara lain :

1. Untuk memahami langkah-langkah penerapan metode PERT dan metode Monte Carlo dalam menentukan estimasi durasi kegiatan pada proyek
2. Untuk memperoleh hasil penjadwalan proyek yang dihasilkan dari penggunaan kombinasi metode PERT dan Monte Carlo dalam menghadapi variabilitas waktu pelaksanaan

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Bagi Ilmu Pengetahuan
Hasil penelitian ini merupakan pengembangan dari teori- teori yang ada dihubungkan dengan kenyataannya di lapangan. Dari hasil ini dapat ditarik suatu kesimpulan baru dimana pada waktu yang akan datang dapat dikembangkan lebih lanjut.
2. Bagi Perusahaan Kontraktor
Penelitian ini dapat menjadi informasi dan rekomendasi kepada pihak-pihak yang terlibat dalam pembangunan konstruksi.
3. Bagi Peneliti
Sebagai sarana bagi peneliti untuk menambah wawasan tentang berbagai metode yang mungkin digunakan dalam proses perencanaan penjadwalan proyek, sehingga dapat menjadi bekal untuk terjun dalam dunia kerja nantinya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat dalam penulisan tugas akhir ini, yaitu:

1. Lokasi penelitian adalah Proyek Pembangunan Perumahan Pesona Landak Indah Blok C4, Makassar.
2. Data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari RAB proyek dan hasil wawancara oleh kontraktor berupa durasi optimis (o), durasi pesimis (p) dan durasi median (m) pelaksanaan proyek.
3. Penelitian ini hanya merancang penjadwalan proyek dan probabilitas penyelesaian proyek dengan metode Monte Carlo dan metode Distribusi Z.
4. *Software* yang digunakan dalam perhitungan adalah *Microsoft Excel* dan *Crystal Ball*.

1.6 Landasan Teori

1.6.1 Pengertian Proyek

Proyek adalah aktivitas atau kegiatan yang telah direncanakan untuk diselesaikan dalam waktu yang telah ditentukan dan didalamnya dialokasikan biayanya (Budihartono, 2008).

Dari pengertian diatas maka ciri-ciri pokok proyek adalah sebagai berikut:

- a. Memiliki tujuan yang khusus, produk akhir atau hasil kerja akhir.
- b. Jumlah biaya, sasaran jadwal serta kriteria mutu dalam proses mencapai tujuan.
- c. Bersifat sementara, dalam arti umumnya dibatasi oleh selesainya tugas. Dimana titik awal dan akhir ditentukan dengan jelas.
- d. Non rutin, tidak berulang-ulang. Jenis dan kegiatan berubah sepanjang proyek berlangsung.

Kegiatan proyek dapat diartikan sebagai suatu kegiatan sementara yang berlangsung dalam jangka waktu terbatas, dengan alokasi sumber daya tertentu dan dimaksudkan untuk melaksanakan tugas yang sarasannya telah digariskan dengan jelas (Soeharto, 1995).

Menurut Soeharto (1999), jenis-jenis proyek dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Proyek Engineering-Konstruksi
Terdiri dari pengkajian kelayakan, desain engineering, pengadaan, dan konstruksi.
- b. Proyek Engineering-Manufaktur
Dimaksudkan untuk membuat produk baru, meliputi pengembangan produk, manufaktur, perakitan, uji coba fungsi dan operasi produk yang dihasilkan.
- c. Proyek Penelitian dan Pengembangan
Bertujuan untuk melakukan penelitian dan pengembangan dalam rangka menghasilkan produk tertentu.
- d. Proyek Pelayanan Manajemen
Proyek pelayanan manajemen tidak memberikan hasil dalam bentuk fisik, tetapi laporan akhir, misalnya merancang sistem informasi manajemen.
- e. Proyek Kapital
Proyek kapital merupakan proyek yang berkaitan dengan penggunaan dana kapital untuk investasi.
- f. Proyek Radio-Telekomunikasi
Bertujuan untuk membangun jaringan telekomunikasi yang daat menjangkau area yang luas dengan biaya minimal.

- g. **Proyek Konservasi Bio-Diversity**
Proyek konservasi bio-diversity merupakan proyek yang berkaitan dengan usaha pelestarian lingkungan.

1.6.2 Manajemen proyek

Manajemen proyek merupakan suatu usaha meliputi merencanakan, mengorganisir, mengarahkan, mengkoordinasi, dan mengawasi kegiatan dalam sebuah proyek dengan sedemikian rupa sehingga sesuai dengan jadwal waktu dan anggaran yang telah ditetapkan. Suatu studi oleh H. Kerzner (1982) dikutip dalam Armaini (1994) menyimpulkan bahwa manajemen proyek adalah merencanakan, menyusun organisasi, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan.

Soeharto (1995) menjelaskan di dalam bukunya bahwa manajemen proyek diharuskan memenuhi fungsi dasarnya. Fungsi dasar manajemen proyek dikelompokkan menjadi 4 (empat), yaitu :

1. **Pengelolaan Lingkup Proyek**
Lingkup proyek adalah total kegiatan yang dilakukan untuk mendapatkan produk yang diinginkan. Dalam lingkup proyek, batasan-batasan yang memuat kuantitas, kualitas, dan spesifikasi merupakan hal yang perlu diperhatikan agar dalam pelaksanaannya tidak menimbulkan implementasi-implementasi yang salah antara pihak-pihak yang berkepentingan.
2. **Pengelolaan waktu dan Jadwal**
Dalam pelaksanaan proyek, waktu dan jadwal merupakan sasaran utama dari kegiatan tersebut. Keterlambatan akan mengakibatkan kerugian-kerugian misalnya penambahan biaya. Pengelolaan waktu meliputi perencanaan, penyusunan, dan pengendalian jadwal.
3. **Pengelolaan Biaya**
Pengelolaan biaya meliputi segala aspek yang berkaitan antara dana dan kegiatan proyek. Agar pengelolaan dapat efektif, maka disusun berbagai metode dan teknik seperti penyusunan anggaran biaya, konsep nilai hasil, dan sebagainya.
4. **Mengelola Kualitas dan Mutu**
Agar kegiatan proyek tersebut dapat memenuhi syarat yang telah direncanakan, maka diperlukan proses yang panjang mulai dari mengkaji syarat-syarat pelaksanaan, menjabarkan persyaratan tersebut menjadi spesifikasi, dan menuangkannya menjadi gambar kerja.

1.6.3 Rencana Anggaran Biaya

Menurut Jhon W Niron dalam bukunya Pedoman Praktis Anggaran dan Borongan (Rencana Anggaran Biaya Bangunan) 1990, definisi Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah sebagai berikut :

- Rencana : Himpunan Planing termasuk detail/penjelasan dan tata cara pelaksanaan pembuatan sebuah bangunan.
- Anggaran : Perkiraan/perhitungan biaya suatu bangunan berdasarkan bastek dan gambar bastek.
- Biaya : Jenis atau besarnya pengeluaran yang ada hubungannya dengan borongan yang tercantum dalam persyaratan yang terlampir.

Sedangkan menurut Sugeng Djojowiriono (1991) rencana anggaran biaya merupakan perkiraan/perhitungan yang diperlukan untuk tiap pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi sehingga akan diperoleh biaya total yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek.

1.6.4 Jaringan Kerja (*Network Planning*)

Jaringan kerja pada dasarnya merupakan hubungan antar aktivitas yang diilustrasikan dalam diagram kerja. Dengan disusunnya jaringan kerja ini, pelaksana proyek dapat mengetahui aktivitas yang harus dilakukan terlebih dahulu, aktivitas yang dapat ditunda, dan aktivitas mana yang peralatannya dapat digunakan untuk aktivitas lain. Hal ini dapat menjadi acuan dalam melakukan aktivitas selanjutnya (Nurwahidin, 2016).

Dalam jaringan kerja, terdapat beberapa simbol dan notasi, diantaranya adalah (Dipoprasetyo, 2016):

1. Anak Panah (\longrightarrow)

Hubungan antara aktivitas dalam proyek digambarkan dengan anak panah sedangkan untuk arah aktivitas digambarkan dengan arah anak panah. Hal ini dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas yang dapat didahului atau *predecessor activity* dan aktivitas yang mengikuti aktivitas sebelumnya atau *successor activity*. Tiap anak panah diberikan notasi untuk mengidentifikasi jenis aktivitas dan perkiraan waktu berakhir tiap aktivitas.

2. Node (\bigcirc)

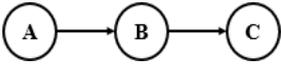
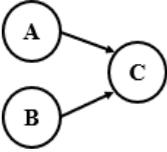
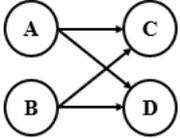
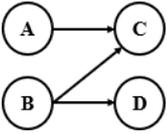
Setiap peristiwa dalam aktivitas proyek digambarkan dengan node. Suatu peristiwa atau event dapat dartikan sebagai pangkal atau pertemuan dari satu atau beberapa aktivitas.

3. Anak Panah Tebal (\longrightarrow)

Anak panah ini memiliki fungsi untuk menunjukkan aktivitas proyek yang berada pada jalur kritis.

Ada dua metode untuk menggambarkan *activity network diagram* salah satunya yaitu *Activity on Node* (AON) yang mana kegiatan digambarkan pada *node* dalam hal ini garis panah (*arrow*) merupakan hubungan logis antar kegiatan. (Sumber : Heizer & Render, 2011)

Tabel 1. 1 Jaringan AON

NO.	AON	KETERANGAN AKTIVITAS
1.		B dikerjakan setelah A, dan pekerjaan C dimulai setelah B selesai
2.		C dimulai setelah pekerjaan A dan B selesai
3		C dan D dimulai setelah A dan B selesai
4.		C dimulai setelah A dan B selesai, dan D dimulai setelah B selesai

Network Planning juga memiliki manfaat saat mengaplikasikannya, manfaat tersebut adalah sebagai berikut (Ervianto, 2004):

1. Dapat mengerti hubungan ketergantungan antar aktivitas dengan cara menggambarkan suatu logika serta dapat membuat perencanaan proyek yang lebih detail.
2. Dapat mengetahui waktu-waktu yang diperlukan oleh setiap aktivitas sehingga apabila terjadi penyimpangan, pelaksana proyek dapat memperkirakan tindakan pencegahan.
3. Dapat mengetahui mana aktivitas yang dapat ditunda atau yang harus segera dikerjakan.
4. Membantu menyampaikan proses kerja dari suatu proyek.
5. Dapat membantu dalam mencapai hasil yang efisien dari segi biaya dan sumber daya.
6. Membantu menganalisis setiap aktivitas proyek sehingga dapat mengetahui risiko apa saja yang mungkin terjadi.

1.6.5 PERT (*Program Evaluation and Review Technique*)

PERT adalah metode penjadwalan proyek berdasarkan jaringan yang memerlukan tiga dugaan waktu untuk tiap kegiatannya yaitu, optimis, pesimis, dan median dengan menggunakan tiga dugaan waktu mulai awal dan akhir standar untuk tiap kegiatan atau kejadian.

Menurut Soeharto (1999), dalam upaya meningkatkan kualitas perencanaan dan pengendalian proyek telah ditemukan metode selain CPM (*Critical Path Method*), yaitu metode yang dikenal sebagai PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Bila dalam CPM memperkirakan waktu komponen kegiatan proyek dengan pendekatan deterministik satu angka yang mencerminkan adanya kepastian, maka PERT direkayasa untuk menghadapi situasi dengan kadar ketidakpastian (*uncertainly*) yang tinggi pada aspek kurun waktu kegiatan.

Salah satu perbedaan yang substansial adalah dalam estimasi kurun waktu kegiatan, Dimana PERT menggunakan tiga angka estimasi, yaitu o , p , dan m yang mempunyai arti sebagai berikut :

- a. o = durasi optimis (*optimistic duration time*). Waktu tersingkat untuk menyelesaikan kegiatan bila segala sesuatunya berjalan mulus.
- b. m = durasi median atau paling mungkin (*most likely time*). Kurun waktu yang paling sering terjadi dibanding dengan yang lain bila kegiatan dilakukan berulang-ulang dengan kondisi yang hampir sama.
- c. p = durasi pesimis (*pessimistic duration time*). Waktu yang paling lama untuk menyelesaikan kegiatan, yaitu bila segala sesuatunya serba tidak baik.

Langkah – langkah perhitungan dengan metode PERT adalah sebagai berikut (Christian, 2013) :

1. Penentuan aktivitas beserta durasinya

PERT menggunakan tiga asumsi durasi aktivitas, yakni optimis (o), pesimis (p), dan median (m).

2. Perhitungan *expected time* (te)

Dalam menentukan te dipakai asumsi bahwa kemungkinan terjadinya peristiwa optimis (o) dan pesimis (p) adalah sama. Sedang jumlah kemungkinan terjadinya peristiwa paling mungkin (m) adalah 4 kali lebih besar dari kedua peristiwa di atas. Sehingga bila ditulis dengan rumus adalah sebagai berikut:

$$TE = \frac{o+4m+p}{6} \quad (1.1)$$

Dengan :

TE = Waktu yang diharapkan,

o = Waktu optimist,

m = Waktu median atau yang paling mungkin, dan

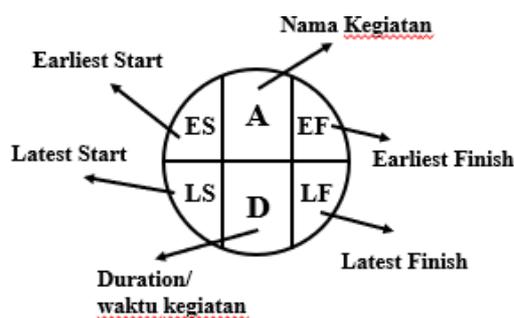
p = Waktu pesimis.

3. Penyusunan hubungan aktivitas

Penyusunan hubungan antar aktivitas dilakukan dengan menentukan predecessors dari setiap aktivitas. Penentuan hubungan aktivitas ini diperlukan untuk mempermudah dalam pembuatan network diagram dengan menggunakan metode *Activity On Node* (AON).

4. Penyusunan network diagram dengan metode *Activity On Node* (AON)

Adapun node yang digunakan untuk menggambarkan aktivitas adalah sebagai berikut (Khoiroh, 2018) :



Dalam melakukan perhitungan terhadap proyek menggunakan,

Gambar 1. 1 Node dalam Network Diagram

terdapat beberapa istilah yang ditemui, diantaranya adalah (Soeharto, 1999):

- a. Waktu pelaksanaan aktivitas atau *duration* (*D*)
 - b. *Earliest Activity Start Time* (*ES*) yang menyatakan awal dari suatu aktivitas proyek.
 - c. *Earliest Activity Finish Time* (*EF*), yang menyatakan awal selesainya suatu aktivitas proyek. Bila terdapat satu kegiatan pendahulu, maka *EF* pendahulu juga bisa dikatakan *ES* pada kegiatan selanjutnya.
 - d. *Latest Activity Start Time* (*LS*), yang menyatakan kejadian paling lambat atau paling akhir dari suatu aktivitas proyek yang telah dimulai.
 - e. *Latest Activity Finish Time* (*LF*) adalah kejadian paling akhir dari suatu aktivitas proyek.
5. Perhitungan *Forward Pass* dan *Backward Pass*

Dalam menentukan jalur kritis, dapat dilakukan perhitungan berupa *forward pass* dan *backward pass*. Perhitungan itu dilakukan untuk menentukan nilai yang menyatakan awal dan akhir pelaksanaan kerja. Perhitungan tersebut juga dilakukan untuk menentukan waktu senggang dari suatu aktivitas. Adapun cara untuk melakukannya adalah sebagai berikut (Situmorang, 2017):

- a. *Forward Pass* atau Perhitungan Maju

Forward Pass merupakan cara yang dilakukan dalam menentukan jalur kritis dimulai dari titik awal pada suatu diagram jaringan kerja proyek. *Forward Pass* menggunakan *Earliest Start* (*ES*) dan *Earliest Finish* (*EF*). Rumus dari *ES* adalah:

$$ES = \text{Max}(EF \text{ Pendahulu}) \quad (1.2)$$

Sedangkan rumus dari EF adalah :

$$EF = ES + \text{Duration} \quad (1.3)$$

b. *Backward Pass* atau Perhitungan Mundur

Backward Pass merupakan cara untuk menentukan jalur kritis dimulai dari titik akhir pada suatu diagram kerja proyek. *Backward Pass* menggunakan *Latest Start (LS)* dan *Latest Finish (LF)* dalam perhitungannya. Rumus dari LS adalah:

$$LS = LF - \text{Duration} \quad (1.4)$$

Sedangkan rumus dari LF adalah :

$$LF = \text{Min}(LS \text{ Pada aktivitas selanjutnya}) \quad (1.5)$$

6. Perhitungan Total Float (TF)

Setelah waktu terdahulu dan waktu terakhir dari semua kegiatan dihitung, kemudian total float dapat dihitung. Menurut Soeharto (2013:202) total float adalah untuk menunjukkan jumlah waktu yang diperkenankan suatu kegiatan boleh ditunda, tanpa mempengaruhi jadwal penyelesaian proyek secara keseluruhan.

$$TF = LF - EF = LS - ES \quad (1.6)$$

7. Perhitungan Deviasi Standar dan Varians kegiatan

Berdasarkan ilmu statistik, angka deviasi standar adalah sebesar $\frac{1}{6}$ dari rentang distribusi ($o - p$) atau bila ditulis sebagai rumus menjadi sebagai berikut:

1. Deviasi Standar Kegiatan

$$S = \left(\frac{1}{6}\right) (o - p) \quad (1.7)$$

2. Varians Kegiatan

$$V_{te} = S^2 = \left[\left(\frac{1}{6}\right) (o - p)\right]^2 \quad (1.8)$$

Dengan :

S = Deviasi standar kegiatan,

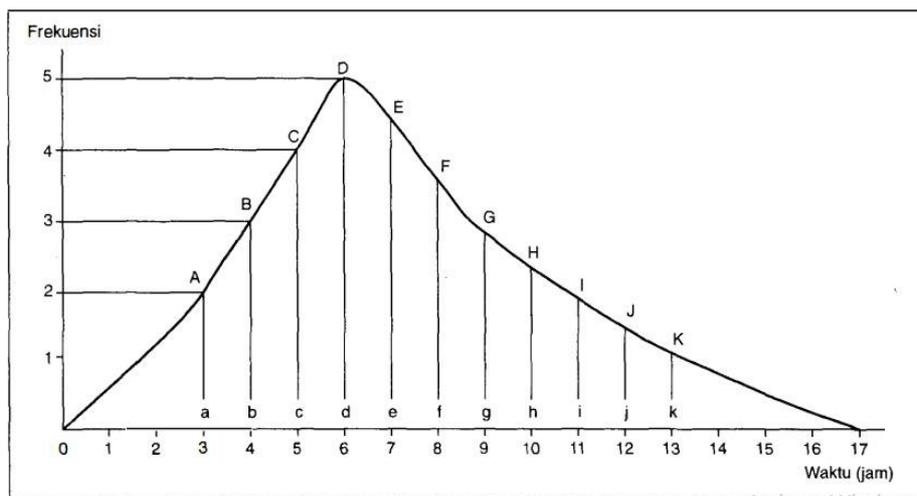
$V(te)$ = Varians kegiatan,

o = Kurun waktu optimistik, dan

p = Kurun waktu pesimistik.

Diumpamakan satu kegiatan dikerjakan secara berulang-ulang dengan kondisi yang dianggap sama seperti pada Gambar 1.2. Sumbu horizontal menunjukkan waktu selesainya kegiatan. Sumbu vertikal menunjukkan berapa kali (frekuensi) kegiatan selesai pada kurun waktu yang bersangkutan. Misalnya kegiatan X dikerjakan berulang-ulang dengan kondisi yang sama, selesai dalam waktu 3 jam yang ditunjukkan oleh garis Aa, yaitu 2 kali. Sedangkan yang selesai dalam waktu 4 jam adalah sebesar Bb = 3 kali dan kegiatan X yang selesai dalam waktu 5 jam sebanyak Cc = 4 kali. Bila hal tersebut dilanjutkan dan dibuat garis yang menghubungkan titik-titik puncak A-B-C-D-E-

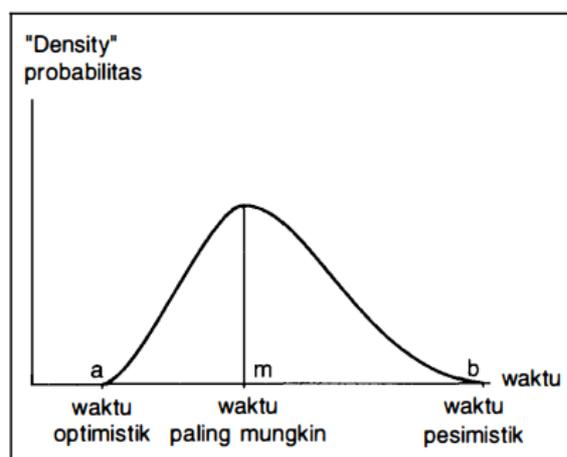
F-G-dan seterusnya akan diperoleh garis lengkung yang disebut Kurva Distribusi Frekuensi Kurun Waktu Kegiatan X.



Gambar 1. 2 Kurva Distribusi Frekuensi

(Sumber : Soeharto, 1999)

Kurva distribusi kegiatan seperti pada Gambar 1.3 di bawah ini pada umumnya berbentuk asimetris dan disebut Kurva Beta. Dari kurva distribusi dapat dijelaskan arti dari o , m , dan p . Kurun waktu yang menghasilkan puncak kurva adalah m , yaitu kurun waktu yang paling banyak terjadi atau juga disebut the most likely time. Adapun angka o dan p terletak (hampir) di ujung kiri dan kanan dari kurva distribusi, yang menandai batas lebar rentang waktu kegiatan. (Sumber : Soeharto, 1999)



Gambar 1. 3 Kurva Distribusi Asimetris (beta dengan a , m , dan b)

(Sumber : Soeharto, 1999)

Setelah menentukan estimasi angka-angka o , m dan p , maka tindak selanjutnya adalah merumuskan hubungan ketiga angka tersebut menjadi satu angka, yang disebut TE atau kurun waktu yang diharapkan. Angka TE adalah

angka rata-rata kalau kegiatan tersebut dikerjakan berulang-ulang dalam jumlah yang besar. Seperti telah dijelaskan di muka, bila kurun waktu sesungguhnya bagi setiap pengulangan dan jumlah frekuensinya dicatat secara sistematis akan diperoleh kurva "beta distribusi". Lebih lanjut, dalam menentukan TE dipakai asumsi bahwa kemungkinan terjadinya peristiwa optimis (o) dan pesimis (p) adalah sama. Sedang jumlah kemungkinan terjadinya peristiwa paling mungkin atau median (m) adalah 4 kali lebih besar dari kedua peristiwa di atas.

Bila garis tegak lurus dibuat melalui TE , maka garis tersebut akan membagi dua sama besar area yang berada di bawah kurva beta distribusi. Perlu ditekankan disini perbedaan antara kurun waktu yang diharapkan (TE) dengan kurun waktu paling mungkin (m). Angka m menunjukkan angka "terkaan" atau perkiraan oleh seorang estimator. Sedangkan TE adalah hasil dari rumusan perhitungan matematis. Sebagai contoh misalnya dari estimator diperkirakan angka-angka sebagai berikut:

Durasi optimis (o) = 4 hari

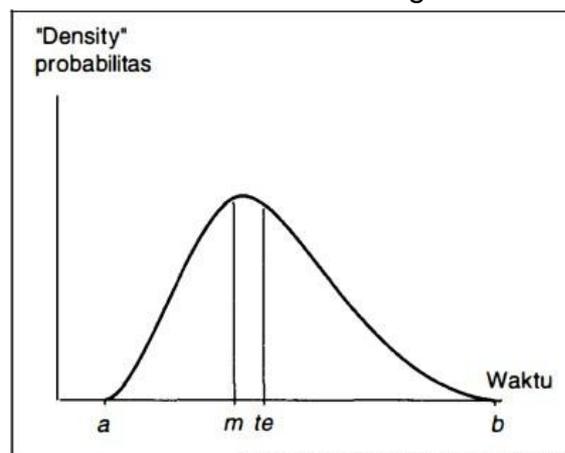
Durasi pesimis (p) = 9 hari

Durasi median (m) = 5 hari

Maka angka te :

$$TE = \frac{(4 + 4 \times 5 + 9)}{6} = 5,5 \text{ hari}$$

Dari contoh di atas ternyata angka kurun waktu yang diharapkan $TE = 5,5$ lebih besar dari kurun waktu paling mungkin $m = 5,0$. Angka te akan sama besar dengan m bilamana kurun waktu optimistik dan pesimistik terletak simetris terhadap waktu paling mungkin atau $p - m = m - o$. Ini dijumpai misalnya pada kurva distribusi normal berbentuk genta.



Gambar 1. 4 Kurva Distribusi dengan Letak a , b , m , dan te

(Sumber : Soeharto, 1999)

Estimasi kurun waktu kegiatan metode PERT memakai rentang waktu dan bukan satu kurun waktu yang relatif mudah dibayangkan. Rentang waktu

ini menandai derajat ketidakpastian yang berkaitan dengan proses estimasi kurun waktu kegiatan. Berapa besarnya ketidakpastian ini tergantung pada besarnya angka yang diperkirakan untuk o dan p . Pada PERT, parameter yang menjelaskan masalah ini dikenal sebagai Deviasi Standar dan Varians.

Untuk lebih memahami makna dari parameter-parameter di atas, berikut adalah dua kegiatan A dan B yang memiliki TE yang sama besar = 6 satuan waktu (lihat Tabel 1.2). Akan dikaji berapa besar deviasi standar dan varians masing-masing kegiatan tersebut, bila memiliki angka-angka o dan p yang berbeda.

Tabel 1. 2 Kegiatan A dan B dengan TE Sama Besar = 6

KEGIATAN	KURUN WAKTU		PALING MUNGKIN (m)	WAKTU YANG DIHARAPKAN (TE)
	OPTIMISTIK (o)	PESIMISTIK (p)		
A	4	10	5,5	6
B	2	14	5,0	6

Dari contoh di atas terlihat bahwa meskipun kegiatan A dan B memiliki

Kegiatan A

Kegiatan B

$$TE = \frac{4 + 4(5,5) + 10}{6} = 6$$

$$TE = \frac{2 + 4(5,0) + 14}{6} = 6$$

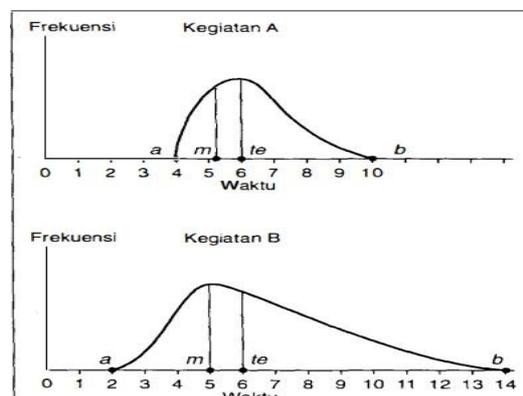
$$S = \left(\frac{1}{6}\right)(10 - 4) = 1,0$$

$$S = \left(\frac{1}{6}\right)(14 - 2) = 2$$

$$V(te) = (1,0)^2 = 1,0$$

$$V(te) = (2,0)^2 = 4$$

TE sama besarnya, tetapi besar rentang waktu untuk A ($10 - 4 = 6$) jauh berbeda dibanding B ($14 - 2 = 12$). Ini berarti kegiatan B mempunyai derajat ketidakpastian lebih besar dibanding kegiatan A dalam kaitannya dengan estimasi kurun waktu. Gambar 1.5 memperlihatkan bila contoh di atas disajikan dengan grafik.



Gambar 1. 5 Derajat ketidakpastian berbeda meskipun memiliki angka te yang sama besarnya

(Sumber : Soeharto, 1999)

1.6.6 Metode Distribusi Z

Pihak pelaksana proyek biasanya memiliki target dalam menyelesaikan waktu pengerjaan untuk mendapatkan suatu kemajuan (*milestone*). Pihak pelaksana ingin mengetahui probabilitas kepastian kerja dalam mendapatkan target waktu tersebut. Dari keinginan tersebut, didapatkan nilai z yang merupakan nilai dari luas daerah yang persentase probabilitasnya diperoleh dari tabel distribusi normal kumulatif (Anenda, 2020).

Distribusi Z memiliki rata-rata 0 dan varians 1, juga dikenal sebagai distribusi normal standar yaitu distribusi probabilitas yang berbentuk lonceng dan simetris di sekitar mean. Distribusi ini digunakan dalam statistik untuk menstandarisasi nilai-nilai data sehingga dapat dibandingkan dengan distribusi normal lainnya. Nilai z merupakan luas area yang berada pada kurva normal sehingga didapatkan besarnya probabilitas penyelesaian kerja pada proyek tersebut. Nilai z memiliki keterkaitan antara waktu yang ditargetkan ($T(d)$), penjumlahan waktu yang diharapkan pada jalur kritis (Te), dan standar deviasi pada jalur kritis. Rumus dari Te adalah sebagai berikut :

$$Te = \sum(te \text{ pada Jalur Kritis}) \quad (1.9)$$

Standar deviasi proyek (S) yang diperoleh dari jalur kritis dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$S = \sqrt{\sum(\text{Variansi pada Jalur Kritis})} \quad (1.10)$$

Keterkaitan antara $T(d)$, Te , dan S dapat digunakan untuk menghitung nilai z dengan rumus sebagai berikut (Willis, 1986) :

$$z = \frac{T(d) - Te}{S} \quad (1.11)$$

Keterangan :

z	= Nilai Luas Daerah
$T(d)$	= Waktu Yang Ditargetkan
Te	= Waktu Yang Diharapkan Pada Jalur Kritis
S	= Standar Deviasi hanya untuk Jalur Kritis

1.6.7 Metode Monte Carlo

Menurut Taha (1997), simulasi Monte Carlo merupakan semua teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif dimana model yang dibangun berdasarkan sistem yang sebenarnya. Selanjutnya setiap variabel dalam model tersebut memiliki nilai yang memiliki probabilitas yang berbeda, yang ditunjukkan oleh distribusi probabilitas dari setiap variabel. Monte Carlo mensimulasikan sistem tersebut berulang kali bahkan sampai ribuan kali tergantung sistem yang ditinjau, dengan cara memilih nilai random untuk tiap variabel dari distribusi probabilitasnya.

Metode penjadwalan yang umum digunakan yaitu dengan metode CPM (*Critical Path Method*) ataupun PDM (*Precedence Diagram Method*). Namun kedua metode tersebut kurang akurat apabila diaplikasikan karena metode tersebut mengestimasi durasi proyek secara pasti. Padahal di dunia nyata, pekerjaan proyek merupakan pekerjaan dengan resiko ketidakpastian yang tinggi. Maka dari itu, simulasi Monte Carlo dapat menjadi jawaban atas permasalahan ketidakpastian dalam pekerjaan proyek (Wijaya, 2019).

Metode simulasi Monte Carlo terbagi dalam beberapa tahapan, yaitu :

1. Mengumpulkan data variabel input pada kolom pertama, seperti durasi aktivitas, biaya material dan permintaan tenaga kerja. Pada kolom kedua berisi nilai maksimum, nilai minimum, dan nilai paling mungkin untuk setiap variabel.
2. Tentukan jenis distribusi probabilitas setiap variabel yang akan di simulasi. Distribusi digunakan untuk menganalisis probabilitas dalam simulasi. Terdapat beberapa jenis distribusi yang sering digunakan dalam metode Monte Carlo, antara lain:
 - a. Distribusi normal, jika probabilitas variabel terjadi berada di antara nol (0) dan satu (1)
 - b. Distribusi seragam (uniform), jika probabilitas variabel terjadi memiliki kesempatan yang sama
 - c. Distribusi triangular, jika probabilitas variabel terjadi berdasarkan pada kategori optimis, median, dan optimis.
3. Menghitung jumlah iterasi, dengan rumus sebagai berikut :

$$N = \left(\frac{3\sigma}{s}\right)^2 \quad (1.12)$$

Sebelum menghitung jumlah iterasi, maka menghitung nilai standar deviasi dan *absolute error* terlebih dahulu, dengan rumus standar deviasi :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum x_i^2 - n\bar{x}^2)} \quad (1.13)$$

Dan untuk menghitung nilai *absolute error* menggunakan rumus :

$$\varepsilon = \left(\frac{\bar{x}}{0,02}\right) \quad (1.14)$$

Keterangan :

N	= Jumlah iterasi
ε	= Nilai error
σ	= Deviasi standar
n	= Jumlah Populasi
x_i	= Nilai setiap populasi
\bar{x}	= Rata-rata

4. Membangkitkan angka random, dimana angka random didapatkan dengan menggunakan fungsi RAND yang terdapat pada microsoft

excel, misalkan sebagai contoh formula excel untuk biaya random aktivitas A akan terlihat sebagai berikut : $=\text{RAND()}*(\text{B3}-\text{B2})+\text{B2}$, dengan formula ini akan didapatkan angka random yang nilainya terletak diantara 15.000 dan 20.000.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Aktifitas	A	B	C	D	E	F	Total
2	Minimum	15.000	15.000	17.500	5.700	19.000	7.500	79.700
3	Maksimum	20.000	17.500	25.000	6.800	26.000	9.500	104.800
4	Iterasi 1	18.037	16.826	24.375	6.488	24.718	9.281	99.725
5	Iterasi 2	16.631	$=\text{RAND()}*(\text{B3}-\text{B2})+\text{B2}$	117	2	$=\text{SUM}(\text{B4}:\text{G4})$		95.096
6	Iterasi 3	17.736	16.137	17.813	6.606	23.827	8.571	90.689
7	Iterasi 4	15.585	16.707	19.777	6.166	24.101	8.736	91.073
8	Iterasi 5	18.210	15.134	21.059	5.975	23.579	7.798	91.755

Gambar 1. 6 Membangkitkan Angka Random Menggunakan Excel

(Sumber : Adnan Fajar 2022)

5. Ulangi perhitungan nilai acak sebanyak iterasi yang telah ditentukan.
6. Buatlah analisis hasil simulasi, Setelah melakukan simulasi dengan membangkitkan nilai acak sebanyak iterasi yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian buatlah analisis dari hasil simulasi tersebut dengan menentukan kembali durasi minimum dan durasi maksimum, menghitung mean (μ), dan menghitung deviasi standar (σ).

Untuk menambah kajian dan kedalaman analisis, perlu membuat distribusi frekuensi dan grafik kombinasi *Probability Density Function* (PDF) dan *Cummulative Distribution Function* (CDF) untuk nilai total durasi yang muncul dari pembangkitan nilai acak. Gunakan Microsoft Excel sebagai alat bantu Ketika membuat distribusi frekuensi dan grafik tersebut.

Berdasarkan hasil analisis *Cummulative Distribution Function* (CDF), Anda dapat menganalisis risiko kegagalan proyek berdasarkan setiap durasi pelaksanaannya. Risiko gagal proyek dinilai dari cummulative 100% dikurangi Angka CDF, sedangkan angka CDF mewakili tingkat keberhasilan proyek (alijoyo, 2019)

1.6.8 Oracle Crystal Ball

Oracle Crystal Ball adalah suatu lembar kerja untuk pemodelan prediksi, peramalan, simulasi, dan optimasi. *Crystal Ball* memberi wawasan tak tertandingi tentang faktor-faktor kritis yang mempengaruhi risiko. Dengan *Crystal Ball*, dapat membuat keputusan taktis yang tepat untuk mencapai tujuan dan meningkatkan daya saing, bahkan kondisi pasar yang paling tidak menentu.

Dengan lebih dari 4.000 pengguna di seluruh dunia, *Crystal Ball* digunakan oleh pengguna dari berbagai industri, seperti aerospace, layanan keuangan, manufaktur, minyak dan gas, farmasi dan utilitas. *Crystal Ball*

digunakan di lebih dari 800 universitas dan sekolah-sekolah di seluruh dunia untuk mengajar konsep-konsep analisis risiko (M. Taqwa Sitompul, 2018).

Aplikasi *Crystall Ball* meliputi analisis risiko keuangan, penelitian, teknik, Six Sigma, alokasi, portofolio, estimasi biaya, dan manajemen proyek. *Crystall Ball* dengan Oracle Enterprise Performance Management dan Business intelligence (BI) merupakan aplikasi untuk meningkatkan proses pengambilan keputusan strategis (Adytia, 2013). Keuntungan penggunaan aplikasi *Crystal Ball* antara lain:

- Meningkatkan data berbasis prediksi
Meningkatkan kualitas dan akurasi prakiraan kritis EPM keuangan dan operasional.
- Mengidentifikasi risiko lebih awal dan mengurangi risiko yang sangat dominan dengan membuat langkah antisipasi
- Mengkomunikasikan risiko
Menampilkan hasil simulasi melalui grafik, barchart dan laporan statistic untuk mendukung keputusan.
- Mengurangi waktu peramalan
Mudah dalam penggunaannya, sehingga menghemat waktu yang dibutuhkan.

Adapun tahapan simulasi sebagai berikut (Wijaya, 2019) :

1. Menginput item-item pekerjaan , durasi optimis, pesimis dan, median kedalam excel.
2. Menjadikan cell durasi sebagai cell assumption dengan menggunakan durasi median di dalam cell tersebut lalu mengklik define assumption pada toolbar software *Crystal Ball* lalu pilih distribusi Triangular. Setelah itu masukan durasi optimis, median, dan pesimis pada kotak yang tersedia. Jika berhasil maka secara otomatis cell tersebut akan berwarna hijau. Lakukan langkah ini pada setiap durasi masing-masing pekerjaan.
3. Menentukan jumlah iterasi yang digunakan dalam metode Monte Carlo ini. Klik menu run preferences lalu mengganti angka pada kotak yang tersedia. Dalam skripsi ini digunakan iterasi sebanyak 10.000 kali.
4. Menjadikan cell jumlah durasi sebagai cell Forecast. Dengan mengklik cell yang akan dijadikan cell Forecast lalu mengklik Define Forecast pada toolbar software *Crystal Ball*. Jika berhasil maka secara otomatis cell tersebut akan berwarna biru muda.
5. Jalankan Simulasi
Simulasi Monte Carlo dapat dilakukan dengan program *Crystal Ball*.

Crystal Ball dalam program untuk simulasi data yang menyediakan dua pilihan metode sampling, yaitu Monte Carlo dan Latin Hypercube. Program ini adalah program simulasi, maka dibutuhkan pemahaman dasar mengenai statistika dan metode-metode yang berkaitan dengan topik utama atau pendukung-pendukungnya. Pemahaman awal mengenai *Crystal Ball* diawali dengan pemahaman terhadap karakter sel-sel yang ada pada *Crystal Ball*, yaitu (Siswanto, 2007).

- *Assumption cells* atau sel-sel asumsi, berisi nilai yang kita tidak yakin atau variabel yang kita tidak tahu pasti di dalam masalah yang akan diselesaikan.
- *Decision cells* atau sel-sel keputusan, berisi nilai numeric atau angka dan bukan formula atau teks serta menjelaskan variabel yang memiliki interval nilai tertentu di mana kita bisa mengontrolnya untuk memperoleh putusan maksimal.
- *Forecast cells* atau sel-sel peramalan, berisi formula yang berkaitan dengan Assumption cell adalah nilai atau variabel yang tidak diketahui pasti masalah yang akan diselesaikan. Sel ini harus berupa nilai numerik dan bukan formula atau teks dan didefinisikan sebuah distribusi probabilitas yang dapat dipilih, seperti; normal, uniform, exponential, geometric, weibull, beta, hyper geometric, gamma, logistic, pareto, extreme, value, negative, binomial, dan costum.

Decision cell berisi nilai numerik atau angka bukan formula atau teks atau menjelaskan variabel yang memiliki interval nilai tertentu sehingga didapat nilai optimal. Sedangkan forecast cell merupakan sel formula dari assumption cell. Angka yang dihasilkan merupakan suatu variabel random. Variabel random merupakan variabel yang nilainya ditentukan oleh kesempatan atau peluang. Istilah random disebabkan tidak ada cara untuk memperkirakan angka yang akan muncul. Terdapat dua macam variabel random, yaitu diskrit dan kontinu. Variabel random diskrit hanya mengisi nilai-nilai tertentu yang terpisah dalam suatu interval. Jika digambarkan di atas garis interval, variabel random diskrit akan berupa sederetan titik-titik yang terpisah. Variabel random kontinu akan berupa sederetan titik yang tersambung membentuk garis lurus (Mulyono, 2007).

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jenis dan Sumber Penelitian

2.1.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif ialah suatu upaya yang berguna untuk mengatasi permasalahan penelitian yang menggunakan data berupa angka dan program statistik (Wahidmurni, 2017). Penelitian ini menggunakan analisis dan perhitungan sebagai cara untuk mencapai tujuan yang diharapkan. Hasil dari penelitian ini akan menjadi suatu cara untuk menanggulangi permasalahan dibidang proyek konstruksi.

2.1.2 Sumber Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil survei langsung pada lokasi penelitian, pada penelitian ini data primer yang digunakan adalah hasil wawancara (dapat dilihat pada lampiran 1) berupa durasi optimis, pesimis, dan median dengan responden yang akan diwawancarai yaitu kontraktor dan pengawas lapangan pada Proyek Pembangunan Rumah Tinggal di Perumahan Pesona Indah Blok C4, Makassar, yang terdiri dari:
 - Muhammad Tabrah, S.T Jabatan Kontraktor
 - Muhammad Syahrul Ihsan MT, S.T. Jabatan Pengawas Lapangan
2. Data sekunder adalah data yang telah dikumpulkan dan dipublikasikan oleh pihak lain sebelumnya, biasanya untuk tujuan lain selain penelitian yang sedang dilakukan. Pada penelitian ini data sekunder diperoleh dari RAB Pembangunan Rumah Tinggal Makassar.

2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan mulai tanggal 20 Januari 2024. Penelitian dilakukan di Perumahan Pesona Landak Indah Blok C4, Makassar.

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode Monte Carlo untuk mendapatkan presentase probabilitas keberhasilan proyek Pembangunan Rumah Tinggal Kota Makassar. Adapun Langkah-langkah yang dapat dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Penulis melakukan studi literatur sebagai langkah awal mengenai konsep teoritis dari berbagai literatur yang dipelajari dan dipahami dengan mencari referensi jurnal, buku ataupun sumber lainnya, agar landasan teoritis dalam mengembangkan konsep penelitian.

2. Pengumpulan data

Data penelitian ini diperoleh melalui RAB Pembangunan Rumah Tinggal dan hasil wawancara untuk mendapatkan data durasi optimis (o), median (m), dan pesimis (p) pada Pembangunan Rumah Tinggal.

3. Mengolah data menggunakan PERT

Setelah menentukan angka estimasi untuk o, m, dan p langkah selanjutnya adalah menganalisis hubungan antara ketiga angka tersebut menjadi satu angka durasi yang diharapkan (T_e).

Berdasarkan data durasi masing-masing kegiatan yang telah diperoleh maka dapat disusun kegiatan terdahulu untuk membuat diagram jaringan kerja atau network diagram yang menghubungkan keseluruhan kegiatan dengan jaringan kerja AON untuk mengetahui waktu penyelesaian proyek.

Setelah pembuatan diagram jaringan, maka dapat dilakukan perhitungan ES, EF, LS, dan LF dengan menggunakan perhitungan *forward pass* dan *backward pass*. Dimana *earliest start* (ES) adalah waktu tercepat suatu kegiatan dapat dimulai, *earliest finish* (EF) adalah waktu tercepat suatu kegiatan dapat diselesaikan, *latest start* (LS) adalah waktu paling lambat suatu kegiatan dapat dimulai, dan *latest finish* (LF) adalah waktu paling lambat suatu kegiatan dapat diselesaikan.

Selanjutnya untuk menentukan jalur kritis maka dilakukan perhitungan TF. Kegiatan yang memiliki $TF = 0$ dapat dikatakan sebagai jalur kritis, yang berarti bahwa setiap kegiatan pada jalur kritis harus dimulai dan selesai tepat waktu sesuai dengan perencanaan. Jika ada penundaan dalam satu aktivitas di jalur kritis, maka mengakibatkan penundaan dalam penyelesaian seluruh proyek karena hanya aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis tersebut yang memiliki pengaruh terhadap percepatan durasi keseluruhan proyek.

4. Menghitung probabilitas keberhasilan proyek menggunakan Metode Distribusi Z

Berdasarkan diagram jaringan yang telah dibuat sebelumnya, jalur kritis, total durasi yang diharapkan, dan total varians aktivitas. Hubungan antara waktu yang diharapkan (T_e) dan target (T_d) dinyatakan dalam z. Tingkat probabilitas proyek selesai pada target yang diinginkan (T_d) dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan z.

5. Simulasi Monte Carlo

Sebelum menghitung jumlah iterasi yang akan dilakukan pada simulasi Monte Carlo, akan dihitung standar deviasi dan *absolute error* terlebih dahulu dengan *relative error* yang diharapkan adalah 2%, setelah itu menghitung jumlah iterasi pada simulasi Monte Carlo.

Setelah menghitung jumlah iterasi maka akan dijalankan simulasi Monte Carlo dengan menghasilkan angka acak menggunakan fungsi RAND di *Microsoft Excel*. Perhitungan simulasi Monte Carlo hanya diterapkan pada aktivitas yang berada pada jalur kritis saja.

6. Grafik Tingkat Probabilitas Durasi Simulasi Monte Carlo

Dibuat suatu distribusi frekuensi dan grafik gabungan dari *Probability Density Function* (PDF) dan *Cumulative Distribution Function* (CDF). PDF merupakan fungsi yang memberikan kemungkinan suatu variabel acak untuk memiliki suatu nilai, sedangkan CDF merupakan fungsi yang menjumlahkan nilai-nilai yang mungkin untuk suatu kejadian tertentu.

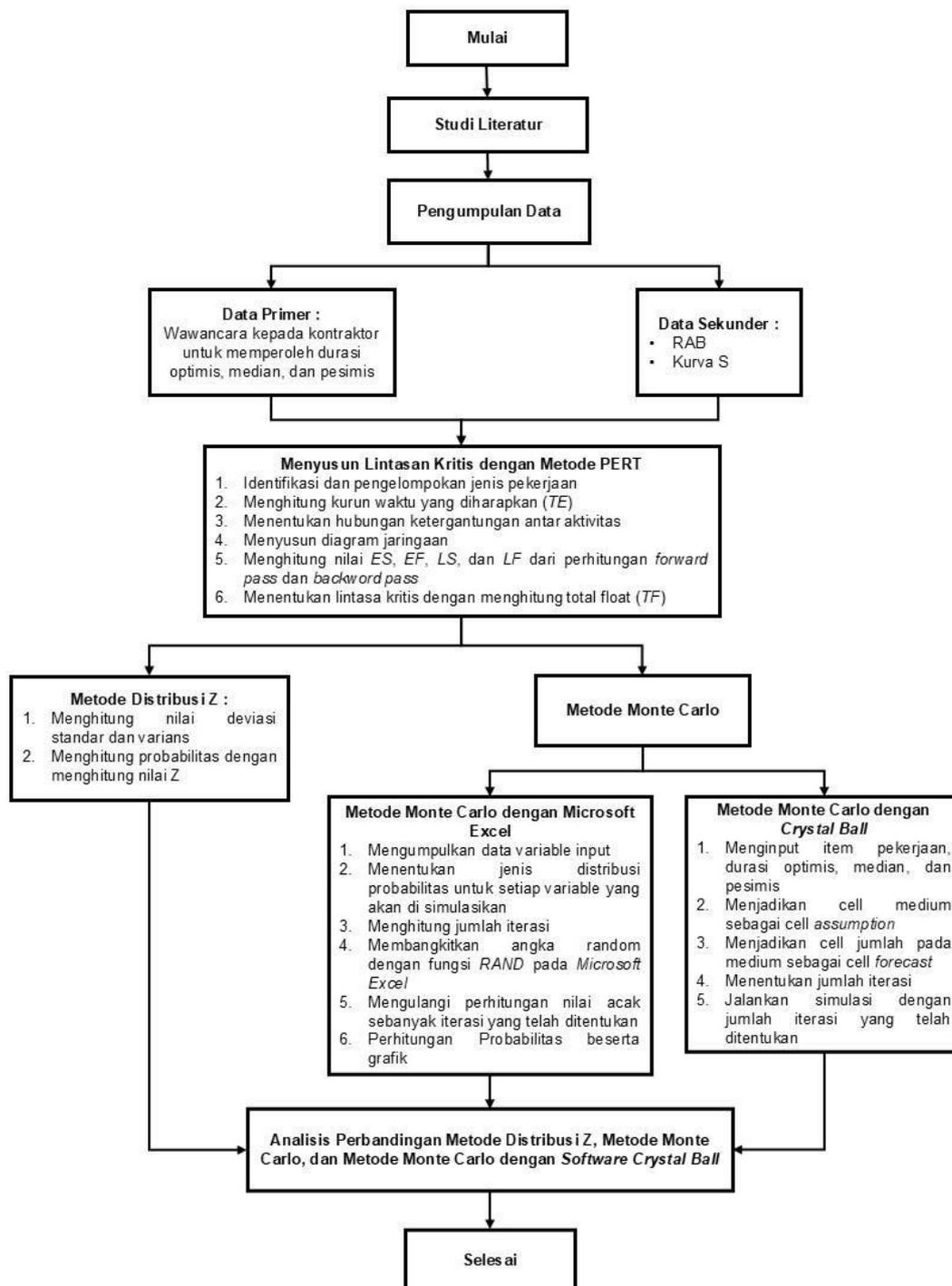
7. Simulasi Monte Carlo menggunakan software *Crystal Ball*

Tahap pertama yaitu, menginput item-item pekerjaan, durasi optimis, pesimis dan, median kedalam excel. Selanjutnya menjadikan cell durasi sebagai cell assumption pada setiap durasi masing-masing pekerjaan, menjadikan cell jumlah durasi median sebagai cell *Forecast*, menentukan jumlah iterasi yang digunakan dalam metode Monte Carlo, terakhir yaitu jalankan simulasi berdasarkan jumlah iterasi yang telah ditentukan.

8. Analisis perbandingan antara simulasi Monte Carlo, metode statistik distribusi z, dan simulasi Monte Carlo menggunakan software *Crystal Ball* Pada tahap ini akan disimpulkan hasil durasi dan probabilitas dari simulasi Monte Carlo dan metode Distribusi z yang telah dikerjakan.

9. Kesimpulan

2.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. 1 Diagram Alir