

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Perencanaan Proyek**

##### **3.1.1 Fungsi Perencanaan Proyek**

Menurut Herjanto (2003) menyebutkan bahwa proyek meliputi tugas-tugas tertentu yang dirancang secara khusus dengan hasil dan waktu yang telah ditentukan terlebih dahulu dengan keterbatasan sumber daya. Perancangan atau dengan kata lain yaitu perencanaan dalam suatu proyek sangat dibutuhkan, karena sebagai dasar untuk memulai sebuah proyek. Dengan adanya perencanaan di dalam suatu proyek, maka akan diketahui apa saja yang dibutuhkan, seperti material, biaya, dan tenaga kerja. Dalam tahap perencanaan penyelenggaraan proyek dibagi menjadi dua yaitu perencanaan dasar dan perencanaan pengendalian. Perencanaan dasar dimaksudkan untuk mengetahui dan meletakkan dasar-dasar yang dibutuhkan suatu proyek, sedangkan perencanaan pengendalian dimaksudkan untuk menganalisis dan membandingkan hasil yang dibutuhkan. Dengan adanya perencanaan ini maka penjadwalan suatu proyek bisa dilakukan dan dapat selesai sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Herjanto (2003) juga mengungkapkan bahwa dalam tahap perencanaan suatu proyek terdiri dari beberapa unsur, diantaranya :

1. Sasaran

Sasaran merupakan target dimana semua kegiatan diarahkan dan diusahakan untuk mencapainya.

2. Organisasi

Organisasi merupakan sarana dimana para anggota bekerja sama untuk mencapai tujuan proyek.

3. Jadwal

Jadwal merupakan salah satu perencanaan yang paling penting yang mencakup urutan langkah kegiatan yang sistematis untuk mencapai sasaran.

#### 4. Anggaran

Anggaran merupakan salah satu bentuk perencanaan yang harus ditentukan sejak awal.

Perencanaan yang tepat disusun secara sistematis akan dapat berfungsi sebagai berikut :

1. Sarana komunikasi bagi semua pihak penyelenggara proyek.
2. Dasar pengaturan alokasi sumber daya.
3. Alat untuk mendorong perencanaan dan pelaksana melihat kedepan dan menyadari pentingnya unsur waktu.

### 3.1.2 Langkah Perencanaan Proyek

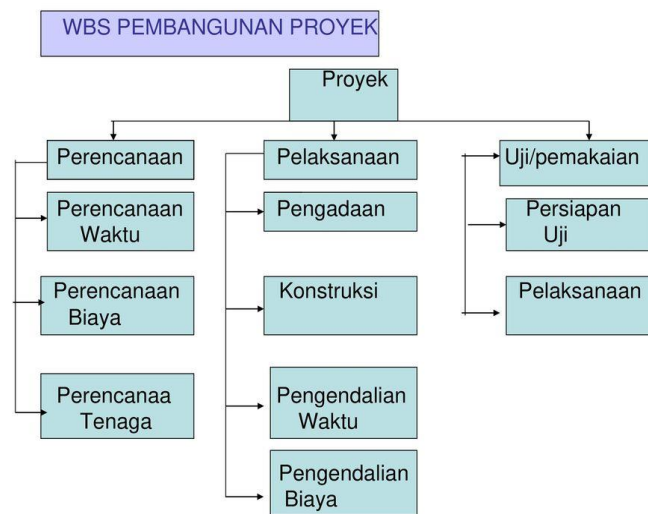
Menurut Purwokohadi (1995) perencanaan mencakup empat hal, yaitu aman, efektif, efisien, dan mutunya terjamin. Produk dari perencanaan adalah dasar acuan bagi kegiatan selanjutnya seperti pelaksanaan dan pengendalian. Tahapan atau langkah-langkah dalam perencanaan proyek adalah sebagai berikut :

#### 1. Rincian Struktur Kerja (*Work Breakdown Structures/WBS*)

Kunci untuk semua rencana adalah memecahkan aktifitas yang diinginkan kedalam sebuah bagian yang kecil (Forsberg, 1996 dalam Suparno, 2015). Rincian struktur kerja diawali dengan menyusun komponen-komponen utama proyek. WBS (*Work Breakdown Structures*) merupakan patokan dari rencana kerja proyek. WBS (*Work Breakdown Structures*) memberi penjelasan mengenai:

- a. Pekerjaan yang dilakukan
- b. Mengidentifikasi keahlian yang dibutuhkan
- c. Panduan dalam memilih tim proyek
- d. Dasar penjadwalan proyek

Berikut gambar yang menunjukkan struktur kerja dengan komponen WBS (*Work Breakdown Structures*).



**Gambar 3.1 WBS (*Work Breakdown Structures*)**

(Sumber : siteplayer.info)

2. Diagram Jaringan (*The Network Diagram*)

Langkah kedua dari perencanaan adalah menggambarkan diagram jaringan yang menunjukkan urutan kejadian (Kerzner, 1992, dalam Suparno, 2015). Tipe diagram yang paling banyak digunakan adalah bagan PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Pada bagan PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) dengan mengikuti petunjuk garis panah, lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menelusuri setiap jalur dapat dijumlahkan dengan menambahkan lamanya waktu dari jalur masing-masing kegiatan. Jalur kritis (*CPM / Critical Path Method*) adalah jalur terpanjang dan mendefinisikan waktu minimal yang dibutuhkan untuk mengerjakan proyek (Ali, 1992).

3. Menghitung Biaya Proyek

Jika kontrak proyek telah mempunyai harga tetap, Manajer Proyek dapat menghitung biaya kasar untuk tenaga kerja, material dan alat (Taylor, 2000). Biaya pekerja perhari disebut biaya penuh, dimana hal tersebut mencakup biaya operasi, sewa, administrasi, pekerja, dan keuntungan (Mingus, 2002). Untuk itu harus ditambahkan biaya tetap, seperti sewa

komputer, sewa peralatan khusus, biaya tak terduga, dan sebagainya. Biaya tetap harus dirinci oleh setiap estimator untuk kegiatan utamanya.

### **3.2 Penjadwalan Proyek**

Menurut Ervianto (2003) penjadwalan adalah kegiatan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan dan urutan kegiatan serta menentukan waktu proyek untuk dapat diselesaikan. Adapun pendapat lain menyatakan bahwa penjadwalan adalah pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan masing-masing pekerjaan dalam rangka menyelesaikan suatu proyek hingga tercapai hasil optimal dengan mempertimbangkan keterbatasan-keterbatasan yang ada (Soeharto, 1995). Oleh karena itu, penjadwalan proyek dimaksudkan untuk menentukan waktu selesainya pengerjaan suatu proyek, akan tetapi semakin besar skala proyek, semakin kompleks pengelolaan penjadwalan proyek karena dana yang dikelola sangat besar, kebutuhan dan penyediaan sumber daya juga besar, kegiatan yang dilakukan sangat beragam, serta durasi proyek menjadi sangat panjang (Forsberg, 1996).

Menurut Heizer dan Render (2001) penjadwalan proyek memiliki beberapa kegunaan, diantaranya :

1. Menunjukkan hubungan tiap aktivitas kepada yang lainnya dan kepada seluruh proyek.
2. Menunjukkan hubungan utama diantara kegiatan.
3. Mendorong penentuan waktu yang diperlukan dan perkiraan biaya untuk setiap kegiatan.
4. Membantu meningkatkan kegunaan sumber daya manusia, uang, dan material dengan identifikasi hambatan kritis dalam proyek.

Dengan adanya penjadwalan dalam suatu proyek, maka proyek bisa terlaksana sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, dan dapat menentukan kebutuhan yang akan digunakan.

### **3.3 Pengendalian Proyek**

Manajemen proyek harus selalu mengawasi semua lingkup yang berhubungan dengan proyek dan harus memiliki standar untuk dapat

mengendalikan dan mengawasi suatu proyek. Jika nantinya terjadi sesuatu yang tidak sesuai dengan standar, baik disebabkan oleh kurangnya sumber daya, biaya, dan lain-lain, maka manajemen proyek dapat merevisi atau mengubah rencana, dan atau mengganti sumber daya agar waktu dan biaya yang telah ditentukan dapat sesuai dengan rencana yang akan dibuat.

Pengendalian adalah usaha yang sistematis untuk menentukan standar yang sesuai dengan sasaran dan tujuan perencanaan, merancang sistem informasi, membandingkan pelaksanaan dengan standar, menganalisis kemungkinan penyimpangan, kemudian melakukan tindakan koreksi yang diperlukan agar sumber daya dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien dalam rangka mencapai sasaran dan tujuan (Ali, 1992). Pendapat lain menyebutkan bahwa pengendalian merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menjamin agar kegiatan yang dilaksanakan sesuai dengan apa yang telah direncanakan, dan apabila terjadi penyimpangan, maka penyimpangan tersebut dapat dikoreksi, sehingga apa yang diharapkan dapat tercapai (Assauri, 2004). Kegiatan-kegiatan yang dilakukan dalam proses pengendalian dapat berubah pengawasan, pemeriksaan, serta tindakan koreksi.

Dari beberapa penjelasan diatas dapat disimpulkan bawa pengendalian merupakan tindakan yang diambil apabila terdapat beberapa kendala dalam suatu proyek agar tetap tercapai sesuai dengan rencana yang telah dibuat.

### **3.4 Metode Penjadwalan Proyek**

Mengelola suatu proyek akan selalu mencari metode yang tepat guna dengan tujuan dapat meningkatkan kualitas perencanaan waktu dan jadwal untuk menghadapi jumlah kegiatan dan kompleksitas proyek yang cenderung bertambah. Sehingga muncul metode-metode seperti metode bagan balok (*bar chart*) dan analisis jaringan kerja (Soeharto, 1999). Bagan balok disusun dengan tujuan agar dapat mengidentifikasi unsur waktu dan urutan dalam merencanakan suatu proyek, akan tetapi penggunaan bagan balok apabila pada proyek yang cukup besar dan bersifat kompleks, maka akan mengalami keterbatasan karena bagan balok tidak menunjukkan secara spesifik hubungan ketergantungan antar kegiatan, dan akan

mengalami kesulitan untuk mengadakan perbaikan karena harus membuat bagan balok baru.

Beberapa ahli menyebutkan bahwa pendekatan jaringan kerja dianggap sebagai penyempurnaan dari pendekatan bagan balok. Hal ini dikarenakan jaringan kerja dianggap mampu menyuguhkan teknik dasar dalam menentukan urutan dan kurun waktu dari tahap awal sampai dengan tahap penyelesaian. Adapun menurut Soeharto (1999) menyebutkan terdapat beberapa versi jaringan kerja yang sangat luas pemakaiannya, yaitu :

1. Metode PDM (*Precedent Diagram Method*).
2. Metode CPM (*Critical Path Method*).
3. Metode PERT (*Project Evaluation and Review Technique*).
4. Metode GERT (*Grafical Evaluation and Review Technique*).

Menurut Pardede (2014), metode yang digunakan dalam melakukan penjadwalan proyek adalah sebagai berikut :

1. Bagan balok (*bar chart*)
2. Kurva S (*hanumm curve*)
3. Metode penjadwalan linier (diagram vektor)
4. Metode CPM (*critical path method*),
5. Metode PDM (*precedence diagram method*), dan
6. Metode PERT (*program evaluation and review technique*).

Dari beberapa metode yang disebutkan oleh beberapa ahli, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Memilih metode yang akan digunakan dalam pengerjaan proyek akan mempengaruhi biaya yang dibutuhkan, kinerja yang dihasilkan, dan keberhasilan dari proyek tersebut. Dari beberapa hal yang dijabarkan di atas harus tetap mendapatkan pengawasan, karena apabila terjadi kendala di kemudian hari, maka bisa melakukan evaluasi untuk hasil yang sesuai seperti pada awal tahap perencanaan.

### **3.4.1 Bagan Balok (*Bar Chart*)**

Bagan Balok (*Bar Chart*) sering disebut *Gantt Chart* sesuai dengan nama penciptanya yaitu Henry L.Gantt pada tahun 1916 (Herjanto, 2007). Gantt

membuat ide baru yaitu dengan meninggalkan sistem tarif yang berbeda karena dianggapnya terlalu kecil memberikan dampak motivasional. Sistem baru tersebut yaitu (Gant 1916, dalam Hafnidar, 2016) :

1. Setiap pekerja yang dalam sehari berhasil menyelesaikan tugas dibebankan kepadanya akan menerima bonus sebesar 50 sen.
2. Motivasi kedua yaitu supervisor akan mendapat bonus untuk setiap pekerja yang mencapai standar harian, ditambahkan bonus tambahan biola semua pekerja mencapai standar tersebut.

Bagan ini menggambarkan elemen kegiatan dari suatu proyek, dalam susunan vertikal dan kronologis waktu pelaksanaan proyek. Dalam arah horisontal menggunakan skala waktu yang proporsional. Panjang balok menyatakan lama kegiatan dalam skala waktu yang dipilih. Digambarkan balok-balok berpasangan, satu untuk rencana dan yang satu untuk realisasi. Kelebihan dari bagan balok ini juga menunjukkan jadwal departemen atau individual secara terpisah.

Bagan Balok juga memiliki keterbatasan dalam hal perkembangan proyek, dimana suatu bagan balok tidak dapat digunakan sebagai alat kontrol karena tidak menunjukkan progress pekerjaan proyek (Nasution, 2006). Pendapat lain menyebutkan bahwa bagan balok tidak bisa secara eksplisit menunjukkan keterkaitan antar aktivitas dan bagaimana suatu aktivitas berakibat pada aktivitas lain bila waktunya terlambat atau dipercepat, sehingga perlu adanya modifikasi (Santosa, 2003). Dengan adanya beberapa pendapat seperti di atas, maka dapat disimpulkan bahwa bagan balok memiliki kelemahan penggunaan sebagai penyedia informasi, sebagai berikut :

1. Penggunaan sumber daya secara efisien.
2. Tahapan pra pelaksanaan di lapangan.
3. Detail kemajuan pekerjaan (pada waktu pelaksanaan).

Meskipun dengan adanya kelemahan seperti yang telah disebutkan, akan tetapi bagan balok masih cukup sering digunakan dengan kombinasi kurva S maupun berdiri sendiri. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bagan balok yang mudah dipahami.

Berikut di bawah ini merupakan tabel bagan balok :

**Tabel 3.1 Bagan Balok**

No.	Aktivitas	Minggu							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Aktivitas A	■							
2.	Aktivitas B		■						
3.	Aktivitas C		■	■					
4	Aktivitas D			■	■				
5	Aktivitas E			■	■	■	■		
6	Aktivitas F				■	■	■	■	■
7	,dst								

(Sumber : Budi Santosa, 2003)

### 3.4.2 Kurva S

Kurva S adalah sebuah grafik yang dikembangkan oleh Warren T Hanumm atas dasar pengamatan terhadap sejumlah besar proyek sejak awal hingga akhir proyek (Purwokohadi,1995). Kurva S dapat menunjukkan kemajuan proyek berdasarkan kegiatan, waktu, dan bobot pekerjaan yang direpresentasikan sebagai persentase kumulatif dari seluruh kegiatan proyek. Visualisasi kurva S dapat memberikan informasi mengenai kemajuan proyek dengan membandingkannya terhadap jadwal rencana. Dari hal ini sehingga dapat diketahui keterlambatan atau percepatan jadwal proyek. Tindak lanjut dari mengetahui hal tersebut yaitu melakukan evaluasi atau koreksi terhadap kinerja sebelumnya.

Menurut Hannum (penemu kurva-S) (dalam Hafnidar, 2016) aturan yang harus dipenuhi dalam membuat Kurva S adalah sebagai berikut:

1. Pada seperempat waktu pertama, grafiknya naik landai sampai 10%.
2. Pada setengah waktu, grafiknya naik terjal mencapai 45%.



3. Pada saat tiga per empat waktu terakhir, grafiknya naik terjal mencapai 82%.
4. Pada waktu terakhir, grafiknya naik landai hingga mencapai 100%.

Dari penjabaran di atas, maka kurva S dapat dilaksanakan dengan menjumlahkan persentase kumulatif bobot masing-masing kegiatan pada suatu periode di antara durasi proyek yang sudah diarahkan terhadap sumbu vertikal sehingga bila hasilnya dihubungkan dengan garis akan membentuk kurva S. Dalam menentukan bobot pekerjaan dapat berupa perhitungan persentase berdasarkan biaya per-item pekerjaan dibagi dengan total anggaran.

Seperti yang telah disebutkan di atas bahwa kurva S dapat dikombinasikan dengan bagan balok, maka contoh tabel dari kombinasi penggunaan kedua metode tersebut, seperti tabel di bawah ini :

**Tabel 3.2 Kurva S Dengan Kombinasi Bagan Balok**




Task	Bobot (%)	Minggu											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	3.66						1.22	1.22	1.22				
B	7.32			1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22				
C	1.22			0.61	0.61								
D	12.20				2.44	2.44	2.44	2.44	2.44				
E	2.44					1.22	1.22						
F	21.95		3.66	3.66	3.66			3.66	3.66	3.66			
G	9.76									2.44	2.44	2.44	2.44
H	2.44								1.22	1.22			
I	9.76	4.88	4.88										
J	29.27			4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18			
Total	100												
○—○	Rencana	4.88	8.54	9.67	12.11	9.06	10.28	12.72	13.94	11.50	2.44	2.44	2.44
—	Kumulatif	4.88	13.41	23.08	35.19	34.25	54.53	67.25	81.18	92.68	95.12	97.56	100.
○- - - -○	Aktual	3.55	6.2	5.00	9.87	7.54	8.92						
—	Kumulatif	3.55	9.75	14.75	24.62	32.16	41.08						

(Sumber : Husen, 2008)

### 3.4.3 Network Planning

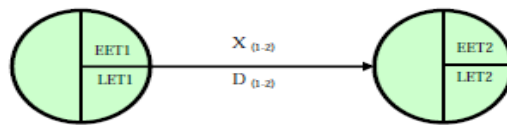
*Network Planning* atau yang dalam beberapa literatur disebut juga sebagai *Network Analysis System (NAS)* adalah nama umum untuk teknik penyusunan dan koordinasi kerja melalui diagram grafis yang memperlihatkan kegiatan dan ketergantungannya (Ali,1992). *Network planning* menggunakan model yang berupa diagram yang disebut *network diagram*. *Network Planning* adalah sebuah pernyataan secara grafis dari kegiatan-kegiatan yang diperlukan dalam mencapai

suatu tujuan akhir. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan simbol-simbol, yang terdiri atas :

1.  : anak panah (*arrow*) menyatakan sebuah kegiatan. Kepala anak panah menjadi pedoman arah dari tiap kegiatan yang menunjukkan bahwa sebuah kegiatan dimulai dari permulaan dan berjalan maju sampai akhir dengan jurusan dari kiri ke kanan.
2.  : lingkaran kecil = *node*, menyatakan sebuah peristiwa. Peristiwa didefinisikan sebagai permulaan atau akhir suatu pekerjaan.
3.  : *Dummy* (anak panah terputus-putus), yang berarti semua kegiatan, yaitu kegiatan yang tidak memerlukan durasi dan sumber daya.

Metode *Network Planning* diciptakan dan dikembangkan untuk mengendalikan sejumlah besar kegiatan yang memiliki ketergantungan yang kompleks. Metode ini relatif lebih sulit, hubungan antar kegiatan jelas, dan dapat memperlihatkan kegiatan kritis. Dari informasi *network planning*-lah *monitoring* serta tindakan koreksi kemudian dapat dilakukan, yakni dengan memperbarui jadwal. Akan tetapi, metode ini perlu dikombinasikan dengan metode lainnya. Ada dua macam diagram yang dikenal dalam *network planning*, yaitu *Activity on Arrow* dan *Activity on Node/ Precedence Diagram Method*. Pada konveksi AOA (*Activity on Arrow*), titik menunjukkan kegiatan. Pada konveksi AON (*Activity on Node*), panah menunjukkan kegiatan. Perbedaan mendasar antara AOA (*Activity on Arrow*) dan AON (*Activity on Node*) adalah bahwa titik pada diagram AON (*Activity on Node*) mewakili kegiatan. Pada jaringan AOA (*Activity on Arrow*) titik mewakili waktu mulai dan selesainya suatu kegiatan, artinya titik pada AOA (*Activity on Arrow*) tidak memerlukan waktu maupun sumber daya. Untuk menggambarkan dan lebih memahami tentang AOA (*Activity on Arrow*) dan AON (*Activity on Node*), berikut penjabaran keduanya :

1. AOA (*Activity on Arrow*)



**Gambar 3.2 Activity Duration**

(Sumber : Suparno, 2013)

Keterangan :

EET = Earlist Event Time (saat paling cepat terjadi)

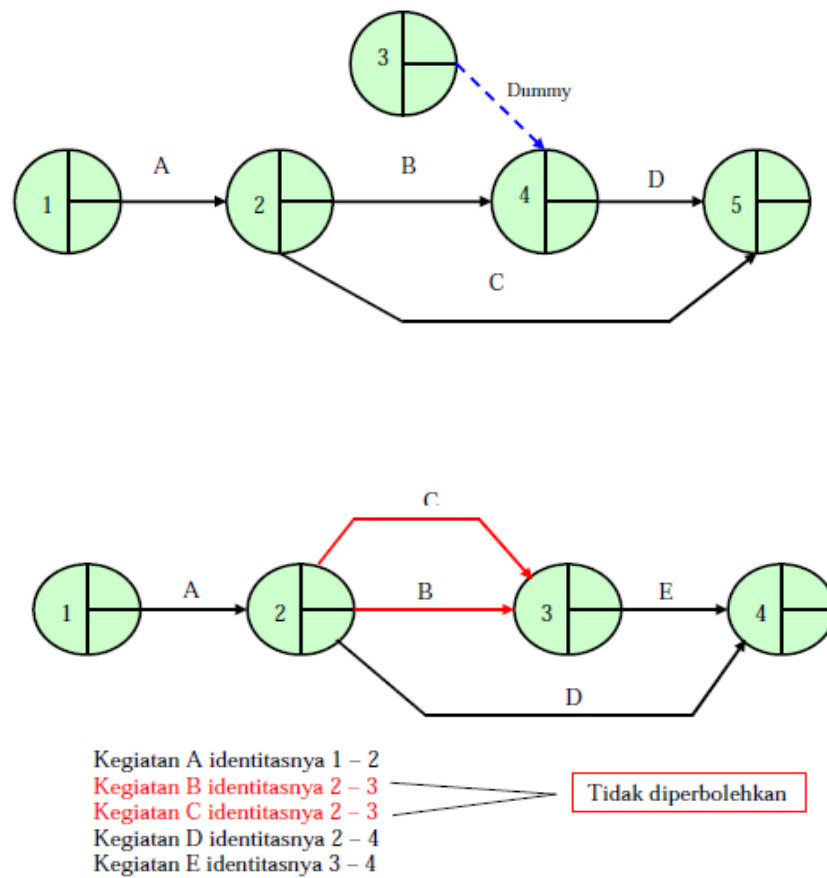
LET = Latest Event Time (saat paling lambat terjadi)

X(1-2) = Jenis kegiatan.

D(1-2) = Duration (waktu pelaksanaan)

Berikut di bawah ini merupakan karakteristik dari diagram *Activity on Arrow*, diantaranya :

1. Diagram *network* dibuat dengan menggunakan anak panah untuk menggambarkan kegiatan dan *node*-nya menggambarkan peristiwanya. *Node* pada permulaan anak panah ditentukan sebagai *I-Node*, sedangkan pada akhir anak panah ditentukan sebagai *J-Node*.
2. Menggunakan perhitungan maju untuk memperoleh waktu mulai paling awal (EET<sub>i</sub>) pada *I-Node* dan waktu mulai paling awal (EET<sub>j</sub>) pada *J-Node* dari seluruh kegiatan dengan mengambil nilai maksimumnya.
3. Menggunakan perhitungan mundur untuk memperoleh waktu selesai paling lambat (LET<sub>i</sub>) pada *I-Node* dan waktu selesai paling lambat (LET<sub>j</sub>) pada *J-Node* dari seluruh kegiatan dengan mengambil nilai minimumnya.
4. Diantara dua peristiwa tidak boleh ada dalam 2 kegiatan, sehingga untuk menghindarinya digunakan kegiatan semu atau *dummy* yang tidak mempunyai durasi. Berikut contohnya :



**Gambar 3.3 Dummy Pada Network Diagram**

(Sumber : Suparno, 2013)

Menggunakan CPM (*Critical Path Method*) atau metode lintasan kritis, dimana pendekatan yang dilakukan deterministik hanya menggunakan satu jenis durasi pada kegiatannya. Lintasan kritis adalah lintasan dengan kumpulan kegiatan yang mempunyai durasi terpanjang yang dapat diketahui bila kegiatannya mempunyai Total Float (TF) = 0. Float : batas toleransi keterlambatan suatu kegiatan yang dapat dimanfaatkan untuk optimasi waktu dan alokasi sumber daya.

## 2. AON (*Activity on Node*)

Pada diagram AON (*Activity on Node*) terdapat beberapa karakteristik, diantaranya :

### 1. Hubungan Kegiatan (*constraint*) PDM (*Precedence Diagram Method*)

2. Pembuatan diagram network dengan menggunakan simpul/node untuk menggambarkan kegiatan.
3. Kejadiannya menggunakan diagram *precedence*.

#### 3.4.4 Metode PDM (*Precedence Diagram Method*)

Metode diagram “preseden” ini merupakan jaringan kerja yang termasuk dalam klasifikasi *activity on node*. Kejadiannya ditulis dalam bentuk node umumnya berbentuk segi empat dengan anak panah sebagai petunjuk hubungan antara selesai paling awal ditulis pada sudut atas, dalam hitungan maju. Waktu mulai dan waktu selesai paling akhir ditulis pada sudut bawah, dalam hitungan mundur.

Keunggulan dari PDM (*Precedence Diagram Network*) adalah dapat memperlihatkan hubungan ketergantungan antar kegiatan dengan jelas dan lebih sederhana pada diagram. Berikut di bawah ini contoh diagram network yang biasa digunakan pada metode PDM (*Precedence Diagram Network*):

Nomor Urut			
ES	Nama kegiatan	Kurun waktu (D)	EF
—			—
LS	(tanggal)	(tanggal)	LF

**Gambar 3.4** *Network Diagram PDM (Precedence Diagram Network)*  
(Sumber : Hafnidar, 2016)

Keterangan :

ES : *Earliest Start*

LS : *Latest Start*

EF : *Earliest Finish*

LF : *Latest Finish*

Jika kegiatan awal terdiri dari sejumlah kegiatan dan diakhiri oleh sejumlah kegiatan pula maka dapat ditambahkan kegiatan awal dan kegiatan akhir yang keduanya merupakan kegiatan fiktif/*dummy*.

Adapun untuk menentukan kegiatan yang bersifat kritis dan lintasan kritis dapat dilakukan melalui perhitungan maju (*Forward Analysis*) dan perhitungan mundur (*Backward Analysis*) sebagai berikut (Ervianto, 2005):

1. Perhitungan maju dilakukan untuk mendapatkan *Earliest Start* (ES) dan *Earliest Finish* (EF). Dalam hitungan maju berlaku hal-hal sebagai berikut (Soeharto,1999) :
    1. Menghasilkan ES (*Earliest Start*), EF (*Earliest Finish*) dan kurun waktu penyelesaian proyek
    2. Diambil angka ES (*Earliest Start*) terbesar bila lebih satu kegiatan tergabung.
    3. Notasi (i) bagi kegiatan terdahulu dan (j) kegiatan yang ditinjau.
    4. Waktu awal dianggap nol, untuk selanjutnya dirumuskan sebagai berikut (Sumber : Soeharto,1999) :
      - a.  $ES(j) = ES(i) + SS(i-j)$  atau  $ES(j) = ES(i) + SF(i-j) - D(j)$  atau  $EF(i) + FS(i-j)$  atau  $EF(i) + FF(i-j) - D(j)$  (pilih yang terbesar). Dimana ;  
 ES (j) = (*Earliest Start*) waktu mulai paling awal dari kegiatan j  
 ES (i) = (*Earliest Start*) waktu mulai paling awal dari kegiatan i  
 EF (i) = (*Earliest Finish*) waktu selesai paling awal dari kegiatan i  
 D = kurun waktu yang bersangkutan
      - b. SS (*Start to start*), SF (*Start to Finish*), FS (*Finish to Start*), FF (*Finish to Finish*) = konstrain yang bersangkutan.
- EF (j) = ES(j) + D (J)
- Dimana ;

$EF(j)$  = (*Earliest Finish*) waktu selesai paling awal kegiatan j

$ES(j)$  = (*Earliest Start*) angka waktu mulai paling awal kegiatan tersebut

D = durasi waktu kegiatan

2. Perhitungan mundur dilakukan untuk mendapatkan *Latest Start* (LS) dan *Latest Finish* (LF), jika lebih dari satu anak panah yang keluar dari kegiatan maka diambil yang terkecil. *Finish* (EF), jika lebih dari satu anak panah yang masuk dalam kegiatan maka diambil yang terbesar. Pada hitungan mundur berlaku hal-hal sebagai berikut ;
  1. Menentukan LS (*Latest Start*), LF (*Latest Finish*) dan durasi waktu *float*
  2. Jika lebih dari satu kegiatan bergabung diambil LS (*Latest Start*) terkecil.
  3. Notasi (i) bagi kegiatan ditinjau dan (j) kegiatan berikutnya.
3. Adapun lintasan kritis ditandai oleh beberapa keadaan sebagai berikut :
 

$ES = LS$  atau  $EF = LF$  atau  $LF - ES = \text{Durasi kegiatan}$
4. *Float* : sejumlah waktu yang tersedia dalam suatu kegiatan sehingga kegiatan tersebut dapat ditunda atau diperlambat dengan sengaja atau tidak, tanpa menyebabkan keterlambatan penyelesaian proyek. Ada dua jenis *float*, yaitu :
  1. *Total float* : sejumlah waktu yang tersedia untuk penundaan suatu kegiatan tanpa memengaruhi penyelesaian proyek secara keseluruhan.
 
$$\text{Total Float (TF)}_i = \text{Minimum (LS}_j - \text{EF}_i)$$
  2. *Free float* : sejumlah waktu yang tersedia untuk penundaan suatu kegiatan tanpa memengaruhi dimulainya kegiatan yang langsung mengikutinya.
 
$$\text{Free Float (FF)}_i = \text{Minimum (ES}_j - \text{EF}_i)$$
  3. *Lag*, menurut Husen (2008) adalah sejumlah waktu tunggu dari suatu periode
  4. kegiatan J terhadap kegiatan I yang telah dimulai, terjadi pada hubungan SS dan SF.

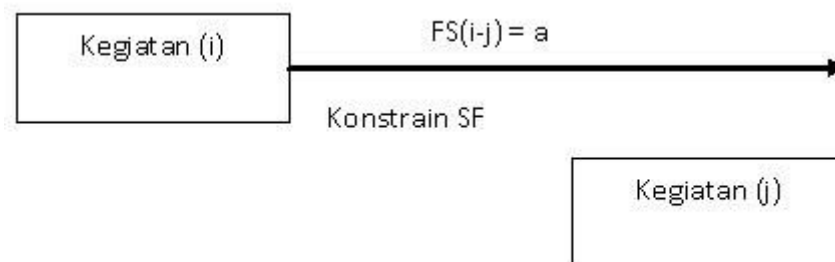
5. *Lead*, menurut Husen (2008) adalah sejumlah waktu yang mendahului dari suatu periode kegiatan J sesudah kegiatan I sebelum selesai, terjadi pada hubungan FS dan FF.

Pada PDM (*Precedence Diagram Network*) juga dikenal adanya konstrain. Satu konstrain hanya dapat menghubungkan dua node, karena setiap node memiliki dua ujung yaitu ujung awal atau mulai = (S) dan ujung akhir atau selesai = (F). Maka disini terdapat empat macam konstrain (Soeharto, 1999), yaitu:

1. Konstrain selesai ke mulai – *Finish to Start* (FS) Konstrain ini memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan dengan selesainya kegiatan terdahulu. Dirumuskan sebagai :

$FS(i-j) = a$  (berarti kegiatan (j) mulai a hari, setelah kegiatan yang mendahuluinya (i) selesai.) Proyek selalu menginginkan besar angka a sama dengan 0 kecuali bila dijumpai hal-hal tertentu, misalnya :

- a) Akibat iklim yang tak dapat dicegah.
- b) Proses kimia atau fisika seperti waktu pengeringan adukan semen.
- c) Mengurus perizinan



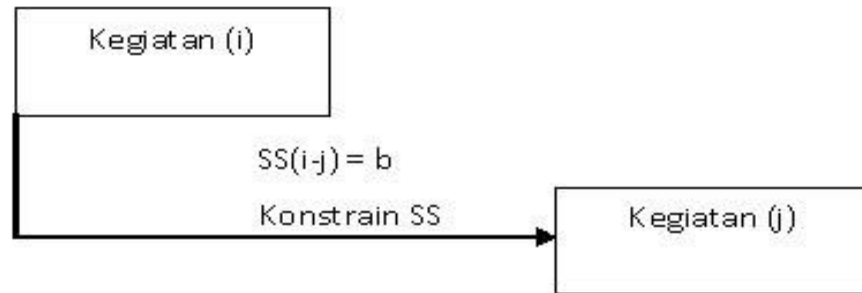
**Gambar 3.5 *Finish to Start***

(Sumber : Hafnidar, 2016)

2. Konstrain mulai ke mulai – *Start to Start* (SS) Memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu. Atau  $SS(i-j) = b$  yang berarti suatu kegiatan (j) mulai setelah b hari kegiatan terdahulu (i) mulai. Konstrain semacam ini terjadi bila sebelum kegiatan terdahulu selesai 100 % maka kegiatan (j) boleh mulai



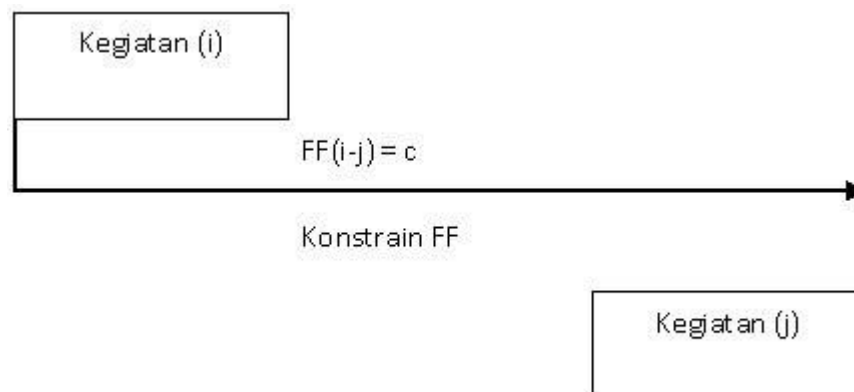
setelah bagian tertentu dari kegiatan (i) selesai. Besar angka  $b$  tidak boleh melebihi angka waktu kegiatan terdahulu. Karena perdefinisi adalah sebagian kurun waktu kegiatan terdahulu. Jadi disini terjadi kegiatan tumpang tindih.



**Gambar 3.6 Start to Start**

(Sumber : Hafnidar, 2016)

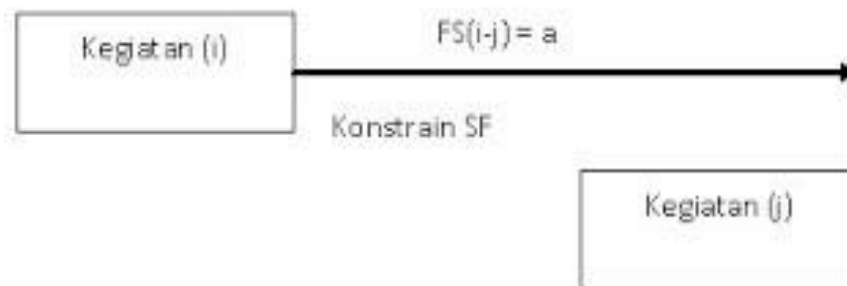
3. Konstrains selesai ke selesai – *Finish to Finish* (FF) Memberikan penjelasan hubungan antara selesainya suatu kegiatan dengan selesainya kegiatan terdahulu. Atau  $FF(i-j) = c$  yang berarti suatu kegiatan (j) selesai setelah  $c$  hari kegiatan terdahulu (i) selesai. Konstrains semacam ini mencegah selesainya suatu kegiatan mencapai 100% sebelum kegiatan yang terdahulu telah sekian ( $=c$ ) hari selesai. Angka  $c$  tidak boleh melebihi angka kurun waktu kegiatan yang bersangkutan (j).



**Gambar 3.7 Finish to Finish**

(Sumber : Hafnidar, 2016)

4. Konstrain mulai ke selesai – *Start to Finish* (SF) Menjelaskan hubungan antara selesainya kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu. Dituliskan dengan  $SF(i-j) = d$ , yang berarti suatu kegiatan (j) selesai setelah d hari kegiatan (i) terdahulu mulai. Jadi dalam hal ini sebagian dari porsi kegiatan terdahulu harus selesai sebelum bagian akhir kegiatan yang dimaksud boleh diselesaikan.



**Gambar 3.8 Start to Finish**

(Sumber : Hafnidar, 2016)

Hubungan ini banyak digunakan oleh software penjadwalan (MS Project, Primavera, dll)

1. Pembuatan diagram network dengan menggunakan simpul/node untuk menggambarkan kegiatan.
2. Kejadiannya menggunakan diagram precedence.

Jadi, penjelasan di atas dapat diketahui bahwa dalam menyusun jaringan PDM (*Precedence Diagram Network*), khususnya menentukan urutan ketergantungan, mengingat adanya bermacam konstrain tersebut, maka lebih banyak faktor harus diperhatikan dibanding CPM (*Critical Path Method*). Faktor ini dapat dikaji misalkan dengan menjawab berbagai pertanyaan berikut:

1. Kegiatan mana yang boleh dimulai sesudah kegiatan tertentu a selesai, berapa lama jarak waktu antara selesainya kegiatan a dengan dimulainya kegiatan berikutnya.

2. Kegiatan mana yang harus diselesaikan sebelum kegiatan tertentu boleh dimulai dan berapa lama tenggang waktunya.
3. Kegiatan mana yang harus dimulai sesudah kegiatan tertentu c dimulai dan berapa lama jarak waktunya.

#### **3.4.5 Metode *Project Evaluation and Review Technique* (PERT)**

PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) adalah metode yang ditemukan dalam upaya meningkatkan kualitas perencanaan dan pengendalian dalam proyek selain metode CPM (*Critical Path Method*). Bila CPM (*Critical Path Method*) memperkirakan waktu komponen kegiatan proyek dengan pendekatan deterministik satu angka yang mencerminkan adanya kepastian, maka PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) direkayasa untuk menghadapi situasi dengan ketidakpastian (*uncertainty*) yang tinggi pada aspek kurun waktu kegiatan.

Menurut Pardede (2005) penggunaan metode PERT di dalam perencanaan dan penjadwalan proyek dapat dilakukan dengan mengikuti langkah sebagai berikut, yaitu :

1. Menjelaskan dan menguraikan berbagai pekerjaan yang akan dilaksanakan pada suatu proyek.
2. Membuat bagan jaringan
3. Menaksir waktu penyelesaian setiap pekerjaan.
4. Menghitung statistik waktu.
5. Menentukan lisan atau alur kritis.
6. Menghitung kelenturan (*slack*).
7. Menghitung peluang.
8. Memantau perkembangan pengerjaan proyek.
9. Melihat kemungkinan percepatan penyelesaian proyek.

PERT memperkenalkan parameter lain yang mencoba mengukur ketidakpastian tersebut secara kuantitatif seperti deviasi standar dan varians. PERT juga memakai pendekatan yang menganggap bahwa kurun waktu kegiatan tergantung pada banyak faktor dan variasi, sehingga lebih baik perkiraan diberi

rentang (*range*), yaitu dengan memakai tiga angka estimasi. Tiga angka estimasi tersebut, adalah :

1. Waktu optimis merupakan waktu yang tercepat untuk menyelesaikan suatu kegiatan jika segala sesuatunya berjalan dengan baik.
2. Waktu paling mungkin, merupakan yang paling sering terjadi dibanding dengan yang lain.
3. Waktu pesimis, merupakan waktu yang paling lama untuk menyelesaikan kegiatan.

Ketiga perkiraan waktu itu dirumuskan menjadi kurun waktu yang diharapkan (*expected duration time*) atau satu angka yang disebut (*te*). Rumusannya adalah (Yamit, 2003):

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Keterangan :

*te* = waktu kerja rencana

*a* = perkiraan waktu penyelesaian pekerjaan

*m* = perkiraan waktu yang selalu digunakan

*b* = perkiraan waktu keterlambatan

Bila garis tegak lurus dibuat melalui *te*, maka garis tersebut akan membagi dua sama besar area yang berada di bawah kurva beta distribusi, seperti terlihat pada Gambar 3.9. 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.

Estimasi kurun waktu kegiatan dalam metode PERT memakai rentang waktu dengan menandai derajat ketidakpastian (probabilitas) yang berkaitan dengan proses estimasi kurun waktu kegiatan. Pada dasarnya teori probabilitas bermaksud mengkaji dan mengukur ketidakpastian (*uncertainly*) serta mencoba menjelaskan secara kuantitatif. Besarnya suatu ketidakpastian ini tergantung pada besarnya angka yang diperkirakan untuk *a* dan *b*. Parameter yang menjelaskan

masalah ini dikenal sebagai deviasi standar dan varians. Berdasarkan ilmu statistik, angka deviasi standar adalah sebesar  $1/6$  dari rentang distribusi  $(b-a)$  atau bila ditulis dengan rumus adalah sebagai berikut :

Rumus Deviasi standar kegiatan :

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

Rumus Varians Kegiatan :

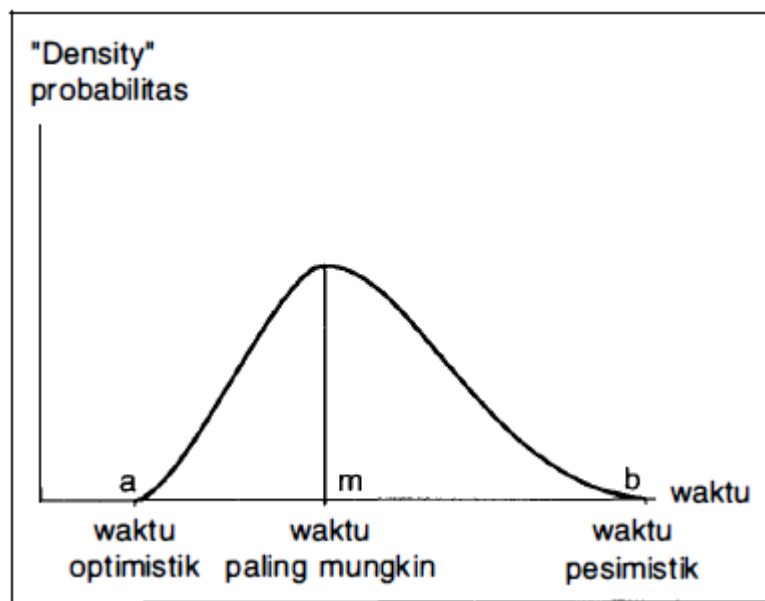
$$V(te) = S^2$$

Keterangan :

$S$  = Deviasi standar kegiatan

$V(te)$  = Varians kegiatan

Berikut di bawah ini merupakan kurva peluang beta dengan tiga perkiraan waktu, yaitu :



**Gambar 3.9 Kurva Beta**

(Sumber : Render, Heizer, 2005)

Mengingat besarnya pengaruh angka-angka  $a$ ,  $b$ , dan  $m$  dalam metode PERT, maka beberapa hal perlu diperhatikan dalam estimasi besarnya angka-angka tersebut. Diantaranya:

1. Estimator perlu mengetahui fungsi dari  $a$ ,  $b$  dan  $m$  dalam hubungannya dengan perhitungan-perhitungan dan pengaruhnya terhadap metode PERT secara keseluruhan. Bila tidak, dikhawatirkan akan mengambil angka estimasi kurun waktu yang tidak sesuai atau tidak membawakan pengertian yang dimaksud.
2. Di dalam proses estimasi angka-angka  $a$ ,  $b$ , dan  $m$  bagi masing-masing kegiatan, jangan sampai dipengaruhi atau dihubungkan dengan target kurun waktu penyelesaian proyek.
3. Bila tersedia data-data pengalaman masa lalu (*historical record*), maka data demikian akan berguna untuk bahan perbandingan dan banyak membantu mendapatkan hasil yang lebih menyakinkan. Dengan syarat-syarat data-data tersebut cukup banyak secara kuantitatif dan kondisi kedua peristiwa yang bersangkutan tidak banyak berbeda.

Oleh sebab itu, maka estimasi angka  $a$ ,  $b$  dan  $m$  hendaknya bersifat berdiri sendiri, artinya bebas dari pertimbangan-pertimbangan pengaruhnya terhadap komponen kegiatan yang lain, ataupun terhadap jadwal proyek secara keseluruhan. Karena jika ini terjadi maka akan memengaruhi manfaat dari metode PERT dengan teori *probability* sendiri.

Kemungkinan/ketidakpastian menunjukkan telah mencapai target dijadwal pada metode PERT dinyatakan dengan  $z$  yaitu hubungan antara waktu yang diharapkan ( $EET$ ) dengan target  $T(d)$  dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Deviasi } Z = \frac{T(d) - EET}{s}$$

Keterangan :

$Z$  = kemungkinan target yang hendak dicapai

$T(d)$  = Target waktu penyelesaian proyek

$EET$  = Waktu paling awal peristiwa

$s$  = Standar deviasi

Dengan menggunakan tabel distribusi normal akan dapat menentukan persentase proyek selesai pada target  $T(d)$ . Garis besar urutan menghitung kemungkinan mencapai target dalam metode PERT adalah sebagai berikut:

1. Memberikan  $te$  untuk komponen masing-masing kegiatan angka estimasi  $a$ ,  $b$ , dan  $m$ .
2. Menghitung  $te$  untuk masing-masing komponen kegiatan.
3. Identifikasi kegiatan kritis. Hitung kurun waktu penyelesaian proyek *milestone*, yaitu  $Te =$  jumlah  $te$  kegiatan–kegiatan kritis.
4. Tentukan varians untuk masing-masing kegiatan kritis pada jalur kritis terpanjang menuju titik peristiwa  $TE$  yang dimaksud. Dipakai rumus = dengan rumus  $V = (TE) =$  jumlah  $V (te)$  kegiatan kritis.
5. Sebagai langkah terakhir untuk menganalisa kemungkinan mencapai target  $T(d)$  dipakai rumus:  

$$\text{Deviasi } Z = \frac{T(d) - EET}{s}, \text{ di mana } V(te) = S^2$$
6. Dengan menggunakan tabel cumulative normal distribution function akan dapat ditentukan kemungkinan (%) proyek selesai pada target  $T(d)$ .

Pada dasarnya CPM dan PERT adalah dua metode perencanaan dan penjadwalan proyek yang teknik perancangan dan penggunaannya hampir bersamaan. Perbedaan di antara keduanya menurut Pardede (2005), yaitu:

1. CPM menggunakan penaksiran waktu yang *deterministic*, sedangkan PERT menggunakan penaksiran waktu yang *probabilistic*.
2. CPM dimaksudkan untuk mengendalikan baik unsur waktu maupun unsur biaya, sedangkan PERT dimaksudkan untuk menentukan peluang dapat tidaknya suatu proyek diselesaikan dalam jangka waktu tertentu.

PERT juga sangat penting karena membantu menjawab pertanyaan mengenai proyek (Render, 2005), diantaranya yaitu :

1. Kapan proyek akan selesai?
2. Kegiatan apa saja yang jika mengalami keterlambatan akan memengaruhi keseluruhan proyek atau tertunda?
3. Kegiatan apakah yang bukan bagian dari kegiatan kritis?
4. Berapa besar kemungkinan proyek selesai sesuai dengan perencanaan?
5. Pada tanggal tertentu, apakah proyek masih dalam jalur jadwal pengerjaan sesuai penjadwalan?

6. Apakah sumber daya cukup untuk menyelesaikan proyek tepat waktu?
7. Jika proyek ingin diselesaikan lebih awal dari perencanaan, apakah jalan terbaik untuk mencapai sasaran dengan biaya minimal?

Adapun menurut Maharesi (2002), berikut ini akan diberikan prosedur metode PERT dengan langkah-langkah untuk mendapatkan solusi *analysis network*:

1. Buat *network* (diagram panah) dari proyek.
2. Memperkirakan durasi dari setiap kegiatan dengan memperkirakan waktu tercepat (optimis,  $a$ ), waktu terlama (pesimis,  $b$ ) dan waktu yang paling mungkin terjadi ( $m$ ). Dengan tiga perkiraan itu, distribusi dari durasi suatu kegiatan dapat diasumsikan mengikuti distribusi normal yang simetris atau tidak simetris.
3. Menghitung nilai rata-rata (ekspektasi) durasi dari setiap kegiatan dengan formula:

$$D_{ij} = \frac{a + 4m + b}{6}$$

4. Menghitung variasi dari durasi untuk setiap kegiatan dengan formula:

$$\sigma_{ij}^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$$

Seperti yang diketahui bahwa untuk menghitung dan menentukan waktu penyelesaian proyek maka membutuhkan alat bantu *software* yang terdiri bermacam-macam diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Microsoft Project*,
2. *Microsoft Excel*,
3. *Primavera Sure Trak*,

Dari ketiga *software* pendukung tersebut, penelitian menggunakan *Microsoft Project* dan *Microsoft Excel* sebagai alat bantu untuk menentukan waktu penyelesaian proyek dan mencari lintasan kritis