

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Manajemen proyek terdiri dari empat tahapan yaitu perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan dan pengendalian (Husen, 2010). Tahap perencanaan dilakukan merencanakan waktu, biaya dan sumber daya untuk memperkirakan pekerjaan yang dibutuhkan agar proyek dapat dikelola secara efektif dan mengurangi resiko dalam proyek. Tahap pengorganisasian dilakukan untuk mengelompokkan jenis-jenis pekerjaan, menentukan wewenang dan tanggung jawab masing-masing unsur organisasi. Tahap pelaksanaan adalah implementasi dari rencana yang telah dibuat sebelumnya. Tahap terakhir yaitu tahap pengendalian yang dimaksudkan untuk memastikan proyek yang dilakukan berjalan sesuai dengan rencana dengan penyimpangan minimal.

2.1.1 Proyek

Menurut Schwalbe dalam buku Manajemen Proyek karya Hamdan Dimiyati dan Kadar Nurjaman (2014:2), yaitu : “Proyek adalah usaha yang bersifat sementara untuk menghasilkan produk atau layanan yang unik. Pada umumnya proyek melibatkan beberapa orang yang saling berhubungan aktivitasnya dan sponsor utama proyek biasanya tertarik dalam penggunaan sumber daya yang efektif untuk menyelesaikan proyek secara efisien dan tepat waktu”.

Menurut Larson dalam buku Manajemen Proyek karya Hamdan Dimiyati dan Kadar Nurjaman (2014:2), yaitu: “Proyek adalah kegiatan yang kompleks, tidak rutin, dan usaha satu waktu yang dibatasi oleh waktu, anggaran, sumber

daya, dan spesifikasi kinerja yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pelanggan”.

Menurut Rakos dalam buku Manajemen Proyek karya Hamdan Dimiyati dan Kadar Nurjaman (2014:2), yaitu: “Proyek adalah aktivitas yang menghasilkan produk dan jasa. Proyek selalu dimulai dengan adanya masalah, yaitu user mendatangi tim proyek untuk meminta solusi menyelesaikan masalahnya”.

2.1.2 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah aplikasi pengetahuan (*knowledges*), keterampilan (*skills*), alat (*tools*) dan teknik (*techniques*) dalam aktivitas-aktivitas proyek untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan proyek (PMBOK, 2004).

Manajemen proyek dilaksanakan melalui aplikasi dan integrasi tahapan proses manajemen proyek yaitu *initiating*, *planing*, *executing*, *monitoring* dan *controlling* serta akhirnya *closing* keseluruhan proses proyek tersebut. Dalam pelaksanaannya, setiap proyek selalu dibatasi oleh kendala-kendala yang sifatnya saling mempengaruhi dan biasa disebut sebagai segitiga project constraint yaitu lingkup pekerjaan (*scope*), waktu dan biaya. Di mana keseimbangan ketiga konstrain tersebut akan menentukan kualitas suatu proyek. Perubahan salah satu atau lebih faktor tersebut akan mempengaruhi setidaknya satu faktor lainnya. (PMBOK Guide, 2004). Selanjutnya, menurut Soeharto (1999: 28), manajemen proyek merupakan kegiatan merencanakan, mengorganisasikan, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan.

2.1.3 Proses Pembangunan IPA (Instalasi Pengolahan Air)

Instalasi Pengolahan Air (IPA)", yang merupakan bangunan atau konstruksi pokok dari sistem pengolahan air bersih. Di dalam pengolahan air bersih secara umum terdapat 3 bangunan atau konstruksi, yaitu: Intake, Water Treatment Plant (WTP) atau Instalasi Pengolahan Air (IPA), dan Reservoir.

2.1.3.1 Intake

Intake merupakan bangunan atau konstruksi pertama untuk masuknya air dari sumber air. Pada bangunan atau konstruksi Intake ini biasanya terdapat bar screen yang berfungsi untuk menyaring benda-benda yang ikut tergenang dalam air. Kemudian air akan di pompa ke bangunan atau konstruksi berikutnya, yaitu Water Treatment Plant (WTP).

2.1.3.2 IPA (Instalasi Pengolahan Air)

Instalasi Pengolahan Air (IPA) adalah sistem atau sarana yang berfungsi untuk mengolah air dari kualitas air baku (*influent*) terkontaminasi untuk mendapatkan perawatan kualitas air yang diinginkan sesuai standar mutu atau siap untuk di konsumsi. *Water Treatment Plant* (WTP) atau Instalasi Pengolahan Air (IPA) merupakan sarana yang penting di seluruh dunia yang akan menghasilkan air bersih dan sehat untuk di konsumsi. Biasanya bangunan atau konstruksi ini terdiri dari 5 proses, yaitu: koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi.

2.1.3.2.1 Koagulasi

Pada proses koagulasi dalam Water Treatment Plant (WTP) atau Instalasi Pengolahan Air (IPA) dilakukan proses destabilisasi partikel koloid, karena pada dasarnya sumber air (air baku) biasanya berbentuk koloid dengan berbagai koloid yang terkandung didalamnya. Tujuan proses ini adalah untuk memisahkan air dengan pengotor yang terlarut didalamnya. Proses destabilisasi ini dapat dilakukan dengan penambahan bahan kimia maupun dilakukan secara fisik dengan rapid mixing (pengadukan cepat), hidrolis (terjunan atau *hydraulic jump*), maupun secara mekanis (menggunakan batang pengaduk).

2.1.3.2.2 Flokulasi

Proses flokulasi pada Water Treatment Plant (WTP) atau Instalasi Pengolahan Air (IPA) bertujuan untuk membentuk dan memperbesar flok (pengotor yang terendapkan). Disini dilakukan pengadukan lambat (*slow mixing*), aliran air disini harus tenang. Untuk meningkatkan efisiensi biasanya ditambah dengan senyawa kimia yang mampu mengikat flok-flok.

2.1.3.2.3 Sedimentasi

Proses sedimentasi menggunakan prinsip berat jenis, dan proses sedimentasi dalam *Water Treatment Plant* (WTP) atau Instalasi Pengolahan Air (IPA) berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel koloid yang sudah didestabilisasi oleh proses sebelumnya (partikel koloid lebih besar berat jenisnya daripada air).

Pada masa kini proses koagulasi, flokulasi dan sedimentasi dalam Water Treatment Plant (WTP) atau Instalasi Pengolahan Air (IPA) ada yang dibuat tergabung menjadi sebuah proses yang disebut aselator.

2.1.3.2.4 Filtrasi

Dalam *Water Treatment Plant* (WTP) atau Instalasi Pengolahan Air (IPA) proses filtrasi, sesuai dengan namanya bertujuan untuk penyaringan. Teknologi membran bisa dilakukan pada proses ini, selain bisa juga menggunakan media lainnya seperti pasir dan lainnya. Dalam teknologi membran proses filtrasi membran ada beberapa jenis, yaitu: Multi Media Filter, UF (*Ultrafiltration*) System, NF (*Nanofiltration*) System, MF (*Microfiltration*) System, RO (*Reverse Osmosis*) System.

2.1.3.2.5 Disinfeksi

Setelah melewati proses filtrasi dan air bersih dari pengotor, ada kemungkinan masih terdapat kuman dan bakteri yang hidup, sehingga diperlukan penambahan senyawa kimia dalam *Water Treatment Plant* (WTP) atau Instalasi Pengolahan Air (IPA) yang dapat mematikan kuman, biasanya berupa penambahan chlor, ozonosasi, UV, pemabasan dll sebelum masuk ke konstruksi terakhir yaitu reservoir.

2.1.3.2.6 Reservoir

Konstruksi Reservoir dalam *Water Treatment Plant* (WTP) atau Instalasi Pengolahan Air (IPA) berfungsi sebagai tempat penampungan sementara air bersih sebelum didistribusikan.

2.2 *Network Planning* (Diagram Kerja)

Menurut Gray dan Larson (2006) network planning adalah alat yang digunakan untuk merencanakan, menjadwalkan, dan mengendalikan kemajuan proyek. Diagram jaringan ini merupakan metode yang dianggap mampu menyuguhkan teknik dasar dalam menentukan urutan dan kurun waktu kegiatan, yang pada giliran selanjutnya dapat dipakai untuk memperkirakan waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan.

Berikut ini beberapa istilah yang digunakan untuk membangun jaringan proyek (Gray dan Larson, 2006) :

1. Aktivitas (*activity*)

Merupakan sebuah elemen proyek yang memerlukan waktu.

2. Aktivitas Gabungan

Merupakan sebuah aktivitas yang memiliki lebih dari satu aktivitas yang mendahului (lebih dari satu anak panah ketergantungan).

3. Aktivitas Paralel

Merupakan aktivitas yang terjadi pada saat yang sama atau aktivitas yang dapat terjadi selagi aktivitas ini terjadi.

4. Jalur

Sebuah urutan dari berbagai aktivitas yang berhubungan dan tergantung.

5. *Predecessor*

Aktivitas pendahulu.

6. *Succesor*

Aktivitas pengganti atau aktivitas yang mengikuti ini.

7. Jalur Kritis

Jalur terpanjang pada jaringan. Jika sebuah aktivitas pada jalur ditunda, proyek juga tertunda untuk waktu yang bersamaan.

8. Aktivitas Menggelembung

Aktivitas ini mempunyai lebih dari satu aktivitas yang mengikuti (lebih dari satu anak panah ketergantungan yang mengalir dari aktivitas tersebut).

9. *Event*

Istilah ini digunakan untuk menunjukkan satu titik waktu dimana sebuah aktivitas dimulai atau diselesaikan.

2.2.1 *Activity On Node dan Activity On Arrow*

Terdapat dua metode dalam membuat *Network Diagram* metode tersebut menggunakan dua blok pembangunan, yaitu anak panah dan *node* (Gray dan Larson, 2006). Berikut adalah penjelasan mengenai anak panah dan *node* menurut Herjanto (2007) :

1. *Activity* / anak panah

Anak panah menggambarkan arah kegiatan, sehingga dapat diketahui kegiatan terdahulu (*predecessor*) dan kegiatan yang mengikuti (*sucessor*). Setiap anak panah biasanya disertai dengan notasi yang memberikan identitas nama/jenis kegiatan dan estimasi waktu penyelesaian untuk jaringan AOA. Bentuk anak panah dapat disesuaikan dengan keadaan jaringan kerja, jadi tidak selalu garis lurus.



Gambar 2.1 Anak Panah

2. *Event / node*

Node menggambarkan peristiwa. Setiap kegiatan biasanya selalu dimulai dengan peristiwa mulainya kegiatan dan diakhiri dengan peristiwa selesainya kegiatan itu.


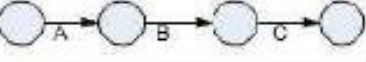


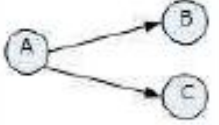
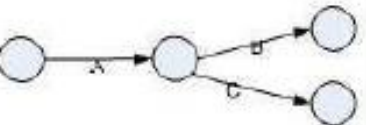
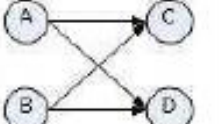
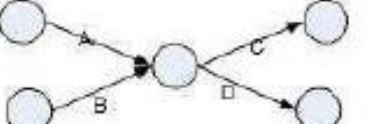
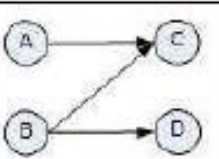

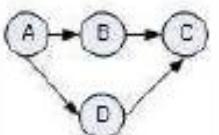
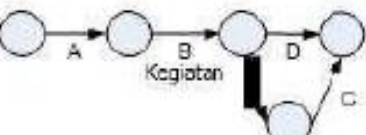
Gambar 2.2 *Event/Node*

Pada AON sebuah aktivitas diwakili oleh sebuah *Node*. Ketergantungan antar aktivitas dilukiskan dengan anak panah diantara *node* pada jaringan AON. Sedangkan AOA, anak panah menunjukkan aktivitas proyek individual yang memerlukan waktu dan *node* menunjukkan sebuah peristiwa (*event*) (Gray dan Larson, 2006).

Gray dan Larson (2006) berpendapat terdapat 8 aturan yang berlaku secara umum ketika mengembangkan sebuah jaringan proyek :

1. Jaringan umumnya mengalir dari kiri ke kanan.
2. Sebuah aktivitas dapat dimulai sampai semua aktivitas yang mendahuluinya telah dikerjakan.
3. Panah pada jaringan menandakan adanya aktivitas yang mendahului jalur. Panah dapat bersilang satu sama lain.
4. Masing-masing aktivitas harus memiliki nomor identitas (ID) unik.
5. Nomor identifikasi sebuah aktivitas (ID) harus lebih besar dari semua aktivitas yang mendahuluinya.
6. Pengulangan tidak diperbolehkan.

7. Pernyataan bersyarat tidak diperbolehkan (jenis pernyataan ini seharusnya tidak ada).
8. Ketika ada banyak *start*, dapat digunakan sebuah *node* start yang umumnya untuk mengindikasikan permulaan proyek pada jaringan. Dengan cara yang sama, *node* akhir proyek tunggal dapat digunakan untuk mengindikasikan akhir proyek.

Kegiatan-pada-Titik	Arti dari Kegiatan	Kegiatan-pada-Panah
	A datang sebelum B yang datang sebelum C	
	A dan B keduanya harus diselesaikan sebelum C dapat dimulai	
	B dan C tidak dapat dimulai hingga A selesai	
	C dan D tidak dapat dimulai hingga A dan B keduanya selesai	
	C tidak dapat dimulai hingga A dan B keduanya selesai; D tidak dapat dimulai hingga B selesai. Kegiatan ditunjukkan pada AOA	
	B dan C tidak dapat dimulai hingga A, D tidak dapat dimulai hingga B dan C keduanya selesai. Kegiatan ditunjukkan pada AOA	

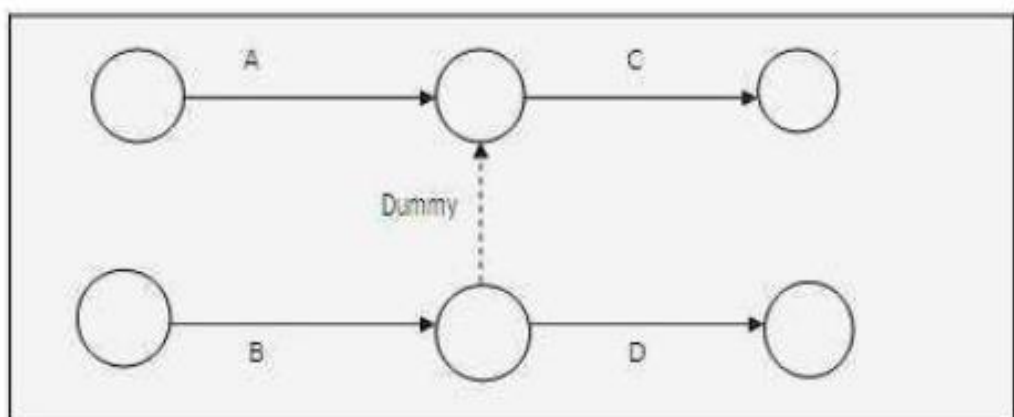
Sumber : (Haizer & Render, 2006)

Gambar 2.3 Perbandingan antara Konvensi AON dan AOA

9. Anak Panah Terputus-putus (*Dummy*)

Simbol anak panah terputus-putus merupakan simbol yang menunjukkan kegiatan semu (*dummy activity*). Menurut Gitosudarmo (2007) panjang pendeknya garis anak panah kegiatan semu ini tidak menunjukkan lamanya kegiatan dan selalu memiliki jangka waktu penyelesaian sebesar 0 (nol) atau tidak memakan waktu. Di samping itu kadang- kadang kegiatan semu ini digunakan untuk memperbaiki logika ketergantungan dari gambar diagram network, jadi sebenarnya kegiatan itu tidak ada, akan tetapi hanya digunakan untuk mengalihkan arus anak panah guna memperbaiki kebenaran logika urutan kegiatan proses produksi. Gitosudarmo (2007) juga menyatakan bahwa kegiatan semu memiliki 3 buah sifat, yaitu:

- Waktu yang digunakan untuk melakukan kegiatan tersebut adalah relatif sangat pendek dibandingkan dengan kegiatan biasa. Oleh karena itu maka kegiatan semu ini dianggap tidak memerlukan waktu.
- Menentukan boleh tidaknya kegiatan selanjutnya dilakukan. Hal ini berarti bahwa apabila kegiatan semu itu belum selesai dikerjakan maka kegiatan selanjutnya belum dimulai.
- Dapat mengubah jalur kritis dan waktu kritis.



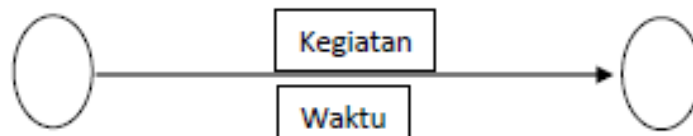
Sumber : (Heizer & Render, 2006)

Gambar 2.4 Hubungan Ketergantungan dengan Memakai *Dummy*

2.2.2 Perhitungan Jaringan Kerja

Dikenal dua macam jaringan kerja dalam penyusunannya sebagai berikut :

1. Kegiatan anak panah, atau *activity on arrow* (AOA), yaitu kegiatan digambarkan sebagai anak panah menghubungkan dua lingkaran yang mewakili dua peristiwa. Ekor anak panah merupakan awal dan ujungnya sebagai akhir kegiatan. Nama dan kurun waktu kegiatan ditulis berturut – turut ditulis diatas dan dibawah anak panah, seperti jaringan di bawah ini:



Gambar 2.5 Jaringan AOA

2. Kegiatan ditulis dalam kotak atau lingkaran, yang disebut *activity on node* (AON). Anak panah hanya menjelaskan hubungan ketergantungan diantara kegiatan-kegiatan, seperti jaringan dibawah ini:



Gambar 2.6 Jaringan AON

Proses identifikasi jalur kritis, dikenal beberapa simbol-simbol perhitungan dalam pembuatan jaringan pada PERT dan CPM sebagai berikut :

- a. *Earliest Time of Occurance* (TE), yaitu waktu paling awal peristiwa, yang merupakan waktu paling awal suatu kegiatan. Menurut aturan dasar jaringan

kerja, suatu kegiatan baru bisa dimulai bila kegiatan terdahulu sudah selesai dilakukan.

- b. *Lates Occurance Time (TL)*, yaitu waktu paling akhir terjadinya suatu kegiatan. Merupakan waktu terakhirnya diperbolehkan selesainya suatu kegiatan.
- c. *Earliest Start Time (ES)*, yaitu waktu paling awal suatu kegiatan.
- d. *Earliest finish time (EF)*, waktu selesai paling awal suatu kegiatan.
- e. *Latest activity start time (LS)*, waktu paling lambat suatu kegiatan bisa dimulai.
- f. *Lates activity finist time (LF)*, waktu paling lambat diselesaikannya suatu kegiatan.
- g. *Activity duration time (t)*, waktu yang diperlukan untuk suatu aktivitas.
- h. *Total slack atau total float (S)*

Cara perhitungan yang dilakukan terdiri dari dua cara, yaitu cara perhitungan maju dan perhitungan mundur. Perhitungan maju bergerak dari mulainya suatu peristiwa menuju ke akhir peristiwa. Maksudnya disini adalah menghitung saat paling cepat terjadinya peristiwa dan saat paling cepat dimulainya serta diselesaikannya aktivitas-aktivitas (TE, ES dan EF). Perhitungan mundur bergerak dari akhir peristiwa menuju ke awal terjadinya suatu peristiwa. Tujuannya adalah untuk menghitung paling lambat terjadinya suatu kegiatan dan saat paling lambat dimulainya dan diselesaikannya aktivitasaktivitas (TL, LS dan LF).

1. Perhitungan Maju (*forward computation*)

Mengidentifikasi jalur kritis dikenal suatu cara yang disebut hitungan maju.

Ada tiga langkah yang dilakukan pada perhitungan maju, yaitu:

- a. Saat tercepatnya suatu peristiwa ditentukan pada hari ke nol sehingga untuk awal peristiwa

$$TE = 0 \dots\dots\dots(2.1)$$

- b. Jika awal peristiwa terjadi pada hari ke-nol, maka:

$$ES (i,j) = TE (j) = 0$$

$$EF (i,j) = ES (i,j) + t (i,j) \\ = TE (j) + t(i,j) \dots\dots\dots(2.2)$$

- c. Peristiwa yang menghubungkan beberapa kegiatan. Suatu peristiwa hanya dapat terjadi jika aktivitas aktivitas yang mendahuluinya telah diselesaikan. Maka saat paling cepat terjadinya sebuah peristiwa sama dengan nilai terbesar dari saat tercepat untuk menyelesaikan aktivitas-aktivitas yang berakhir pada peristiwa tersebut.

$$TE = \max (EF(i1,j), EF(i2,j), \dots , EF (in,j)) \dots\dots\dots(2.3)$$

2. Perhitungan mundur (*backward computation*)

Perhitungan mundur dimaksudkan untuk mengetahui waktu paling akhir dapat melakukan memulai dan mengakhiri masing-masing kegiatan tanpa menunda waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan, yang telah dihasilkan pada perhitungan maju. Perhitungan mundur dimulai dari ujung kanan (akhir penyelesaian proyek) suatu jaringan kerja. Seperti halnya perhitungan maju, pada perhitungan mundur dilakukan dalam tiga langkah, yaitu:

- a. Pada akhir peristiwa berlaku

$$TL = TE \dots\dots\dots(2.4)$$

- b. Saat paling lambat untuk memulai suatu kegiatan sama dengan saat paling lambat untuk menyelesaikan aktivitas itu dikurangi dengan waktu aktivitas tersebut.

$$LS(i,j) = TL(j) - t(i,j) \dots\dots\dots (2.5)$$

- c. Peristiwa yang “mengeluarkan” beberapa kegiatan (*burst event*). Setiap kegiatan hanya dapat dimulai apabila kegiatan yang mendahuluinya telah terjadi. Oleh karena itu, saat paling lambat terjadinya suatu kegiatan sama dengan nilai terkecil dari saat-saat paling lambat untuk memulai aktivitas – aktivitas yang berpangkal pada peristiwa tersebut.

$$TL(i) = \min (LS(i,1j), LS(i,2j), \dots , LS(i,nj) \dots\dots\dots (2.6)$$

2.2.3 Perhitungan Kelonggaran Waktu (*float*)

Setelah perhitungan maju dan mundur selesai dilakukan, maka berikutnya harus dilakukan perhitungan lintasan kritis dan kelonggaran waktu dari kegiatankegiatan yang terdiri atas *total float*. *Total float* adalah jumlah waktu dimana waktu penyelesaian suatu aktivitas dapat diundur tanpa mempengaruhi penyelesaian proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, *total float* ini dihitung dengan cara mencari selisih antara saat mulainya aktivitas (LS - ES), bisa juga dengan mencari selisih antara saat paling lambat diselesaikannya aktivitas dengan dengan saat paling cepatnya aktivitas (LF - EF), dalam hal ini cukup dipilih salah satunya saja.

Seandainya jika yang digunakan persamaan $S = LS - ES$, maka *total float* aktivitas (i,j) adalah $S(i,j) = LS(i,j) - ES(i,j)$. Dari perhitungan mundur telah diketahui bahwa $LS(i,j) = TL(j) - t(i,j)$, sedangkan dari perhitungan maju $ES(i,j) = TE(i)$, maka : $S(i,j) = TL(j) - t(i,j) - TE(i)$. Sebaliknya, jika akan menggunakan

persamaan $S = LF - EF$, maka total *float* aktivitas (i,j) adalah $SJ(i,j) = LF(i,j) - EF(i,j)$. dari perhitungan maju kita diketahui bahwa $EF(i,j) = TE(i) + t(i,j)$, sedangkan dari perhitungan mundur $LF(i,j) = TL(j)$, maka :

$$S(i,j) = TL(j) - TE(i) - t(i,j) \dots \dots \dots (2.7)$$

2.3 Metode PERT (*Program Evaluation And Review Technique*)

PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) adalah sebuah model *Management Science* untuk perencanaan dan pengendalian sebuah proyek. PERT pertama kalinya dikembangkan oleh perusahaan konsultan Booz-Allen dan hamilton pada tahun 1958 dalam proyek *polaris weapons system*, yaitu proyek khusus dari US Navy. Kehandalan model PERT sebagai alat bantu dalam perencanaan dan pengendalian operasi diuji pada proyek tersebut, ternyata teknik PERT ini berhasil mengkoordinasi kegiatan-kegiatan yang melibatkan ratusan kontraktor utama dan ribuan individu sehingga proyek tersebut dapat terselesaikan enam belas bulan lebih cepat dari taksiran semula. Sebagai dampak dari keberhasilan itu, pemerintah amerika kemudian menerapkan PERT pada proyekproyek berikutnya sampai sekarang ini (*Siswanto*).

PERT, merupakan teknik analisis jaringan yang menggunakan waktu aktivitas yang bersifat probabilitas. Metode PERT disini menggunakan tiga estimasi waktu dalam pelaksanaan proyek untuk setiap aktivitasnya. Metode PERT digunakan dalam peranan yang sangat penting bukan hanya dalam hal peningkatan akurasi penentuan waktu aktivitas, tetapi juga dalam hal pengkoordinasian dan pengendalian kegiatan yang bervariasi dan bergantung pada banyak faktor. Dengan kata lain PERT mengatasi masalah probabilitas waktu aktivitas saat melakukan penjadwalan proyek.

2.3.1 Waktu Kegiatan dengan Distribusi Normal

Perencanaan dan pengendalian adalah dua hal yang tidak mungkin dipisahkan, karna perencanaan tanpa pengendalian tidak akan ada manfaatnya karena kegiatan-kegiatan tidak akan memiliki arah dan tujuan yang pasti sehingga koordinasi sulit dilakukan. Begitu juga sebaliknya, pengendalian tanpa perencanaan adalah mustahil karena tidak ada dasar yang dapat digunakan sebagai tolak ukur penilaian sehingga sulit diketahui apakah hasil telah sesuai dengan harapan yang diinginkan.

Penentuan waktu penyelesaian kegiatan dalam manajemen proyek ini merupakan salah satu kegiatan awal yang sangat penting dalam proses perencanaan karena penentuan waktu tersebut akan menjadi dasar bagi perencanaan yang lainnya, seperti penyusunan jadwal, anggaran, dan sumber organisasi yang lainnya. Penentuan waktu yang tidak akurat akan mengacau rencana yang lainnya. Oleh karena itu penentuan waktu penyelesaian kegiatan ini merupakan faktor yang sangat menentukan bagi keberhasilan dalam menyelesaikan proyek. Teknik PERT disini memegang peranan yang sangat penting bukan hanya dalam hal peningkatan akurasi penentuan waktu kegiatan, tetapi juga dalam hal pengkoordinasian dan pengendalian kegiatan-kegiatan.

Proses pengendalian PERT menjadi pedoman untuk peninjauan kegiatan, analisis kegiatan, dan tindakan koreksi yang bersifat adaptif. Parameter utama pada model PERT adalah waktu penyelesaian kegiatan. Begitu juga dalam kehidupan sehari-hari, sering dilakukan estimasi tentang penyelesaian suatu pekerjaan, proses penaksiran dengan cara yang demikian sangat subjektif sifatnya, dan sangat sulit dijabarkan. Model PERT pada dasarnya menjabarkan proses

taksiran tersebut secara ilmiah kedalam distribusi normal sehingga bisa diketahui bagaimana proses taksiran waktu penyelesaian suatu kegiatan dilakukan. Penjabarannya juga memungkinkan pembuat keputusan mengetahui tingkat kepastian waktu penyelesaian suatu kegiatan.

Distribusi normal adalah merupakan salah satu distribusi teoritik yang dapat digunakan sebagai model pembuat keputusan. Kemungkinan ini didukung karena distribusi normal dapat memberikan taksiran yang bagus terhadap sebuah distribusi probabilitas yang lebar. Disamping itu, distribusi normal memberikan taksiran yang baik untuk suatu kegiatan empirik dan subjektif. Atas dasar itulah distribusi normal menjadi pilihan yang tepat untuk menaksir waktu penyelesaian kegiatan pada model PERT.

PERT, melalui distribusi normal menggunakan taksiran-taksiran waktu untuk menentukan waktu penyelesaian suatu kegiatan agar lebih realistik. Tiga macam taksiran waktu yang digunakan oleh PERT yaitu :

1. Taksiran waktu optimis (a)

Taksiran waktu optimis (*optimistic duration time*) merupakan waktu tersingkat untuk menyelesaikan kegiatan bila segala sesuatunya berjalan mulus. Secara statistik adalah batas bawah distribusi probabilitas.

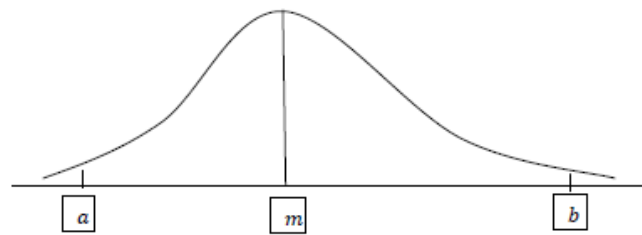
2. Taksiran waktu paling mungkin (m)

Taksiran waktu paling mungkin (*most likely time*) merupakan waktu paling sering terjadi penyelesaian suatu kegiatan. Secara statistik adalah modus atau titik tertinggi dari distribusi probabilitas.

3. Taksiran waktu pesimis (b)

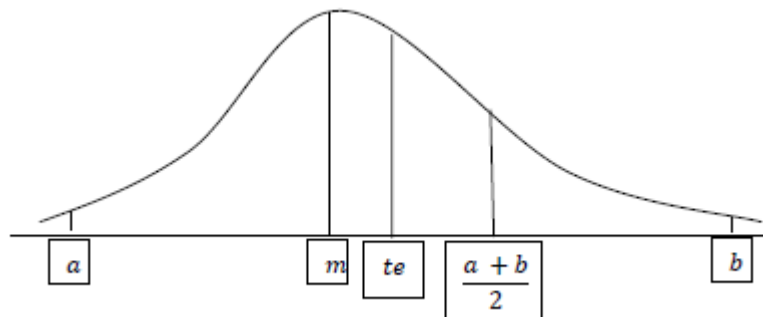
Taksiran waktu pesimis (*pessimistic duration time*) merupakan waktu paling lama untuk menyelesaikan suatu kegiatan. Secara statistik adalah taksiran batas atas distribusi probabilitas.

Kedudukan ketiga taksiran waktu penyelesaian tersebut diperlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.7 Tiga Taksiran Waktu pada Distribusi Normal

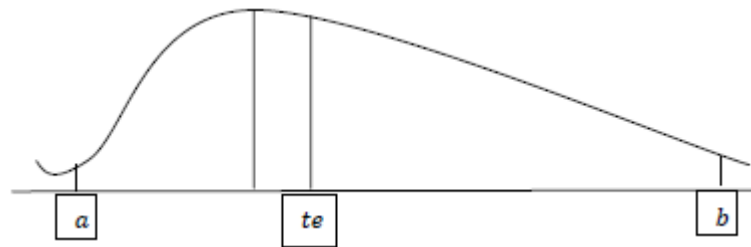
Tujuan dari distribusi probabilitas adalah ingin mengetahui *expected value* dan *varians* dari setiap kegiatan yang dilakukan. *Expected value* (t_e) dan *varians* dalam model PERT tidak dapat dipenuhi oleh distribusi normal jika tidak ada hubungan tertentu yang sifatnya membatasi antara a , m , dan b . Selanjutnya karakteristik hubungan tersebut membuat titik tengah atau *mid range* terletak pada $(a+b)/2$ sehingga *expected value* adalah rata-rata dari nilai tengah dan modulus. Oleh karena itu, *expected value* akan terletak pada $1/3$ bagian antara modulus dengan nilai tengah seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.8 Nilai Tengah, t_e , a , m , dan b pada Distribusi Normal

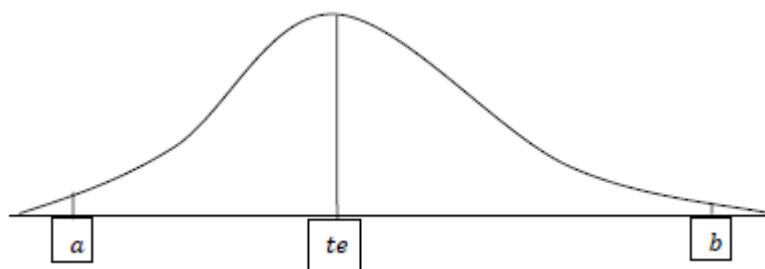
Kedudukan *expected value* (te) pada distribusi normal tergantung pada nilai taksiran tiga macam parameter waktu PERT. Nilai taksiran tersebut akan menentukan bentuk dari distribusi normal, sehingga akan ada tiga macam kemungkinan bentuk distribusi normal, seperti gambar di bawah ini :

1. Kurva Miring Kekan



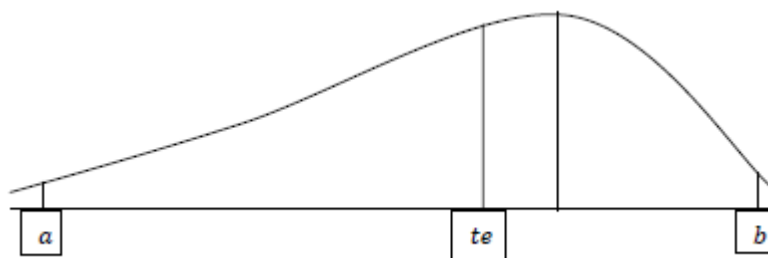
Gambar 2.9 Kurva Miring Kekan

2. Kurva Simetris



Gambar 2.10 Kurva Simetris

3. Kurva Miring Kekiri



Gambar 2.11 Kurva Menceng Kekiri

Expected value (te) akan terletak disebelah kanan m jika kurva menceng ke kanan, sebaliknya te akan terletak disebelah kiri m jika kurva menceng ke kiri, dan te akan terletak tepat pada m jika kurva simetrik. *Expected value* (te) dapat ditentukan sebagai berikut :

Jika nilai tengah adalah $\frac{a+b}{2}$ maka jarak m ke nilai tengah adalah $\frac{a+b}{2} - m$ sehingga jarak m ke te adalah $\frac{1}{3} \left[\frac{a+b}{2} - m \right]$ oleh karena itu, luas te adalah luas m , yaitu :

$$\begin{aligned} te &= m + \frac{1}{3} \left[\frac{a+b}{2} - m \right] \\ &= m + \left[\frac{a+b}{6} - \frac{1}{3} m \right] \\ &= m + \left[\frac{a+b-2m}{6} \right] \end{aligned}$$

Sehingga :

$$te = \left[\frac{a+b+4m}{6} \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan :

te : waktu yang diharapkan setiap kegiatan

Taksiran waktu penyelesaian kegiatan te merupakan median dari distribusi normal. Oleh karena itu kemungkinan te berhasil adalah sama dengan kemungkinan te gagal, atau dengan kata lain jaminan untuk kebenaran waktu penyelesaian adalah 50% dan begitu juga dengan kegagalannya (Siswanto, 2007). 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 berkaiatan dengan proses estimasi kurun waktu kegiatan. Berapa besarnya ketidakpastiaan ini tergantung pada besarnya angka

yang diperkirakan untuk a dan b . Parameter yang membahas tentang masalah ini dalam PERT dikenal dengan standart deviasi dan varians. Berdasarkan ilmu statistik, angka standar deviasi adalah sebesar $1/6$ dari rentang distribusi ($a - b$) dengan sebagai berikut :

$$S = \frac{a - b}{6}$$

dan

$$V(te) = \left[\frac{a - b}{6} \right]^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

S : standart deviasi

$V(te)$: varians

2.3.2 Probabilitas Penyelesaian Proyek

waktu penyelesaian suatu proyek ditunjukkan oleh waktu penyelesaian jalur kritis, yaitu jumlah waktu penyelesaian kegiatan-kegiatan kritis. Selagi atau taksiran waktu penyelesaian suatu kegiatan adalah persentil ke-50 pada distribusi normal, maka secara individual tingkat kebenaran taksiran itu adalah 50% . Dasar kebenaran taksiran ini berdasarkan pada *central limit theorem* sebagai berikut:
central limit theorem 2.1

Jika C mempunyai suatu distribusi dengan rata-rata atau mean dan standar deviasi , maka rata-rata sampel C atas dasar sampel acak yang berukuran n akan mempunyai distribusi sebuah distribusi yang mendekati distribusi normal suatu variabel dengan rata-rata dan standar deviasi s/n ketika n semakin besar.

Deskripsi tentang *central limit theorem* diatas banyak menimbulkan pertanyaan-pertanyaan kritis tentang macam distribusi dan ukuran sampel yang

diapakai. Oleh karena itu ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dari *central limit theorem* ini, sebagai berikut:

1. Kecenderungan sampel acak mengikuti distribusi normal jika bertambah terjadi pada setiap macam distribusi baik kontiniu maupun diskrit.
2. Tidak ada satu metode yang pasti untuk menentukan jumlah sampel agar distribusi sampel mendekati distribusi normal, karena nilai yang tepat akan tergantung pada distribusi probabilitas populasi.
3. Jika distribusi probabilitas C simetrik dengan rata-rata maka *central limit theorem* akan bekerja sangat baik untuk ukuran sampel yang kecil, bahkan untuk atau lebih kecil. Sebaliknya jika tidak simetrik maka diperlukan ukuran sampel yang lebih besar.

Berdasarkan deskripsi diatas, maka kita mempunyai alasan untuk mengatakan bahwa waktu penyelesaian jalur kritis yang memiliki distribusi normal dan dihasilkan dari penjumlahan kegiatan-kegiatan kritis, akan memiliki distribusi normal dengan rata-rata dan standart deviasi s/n . dengan demikian, jika :

tek : taksiran waktu penyelesaian kegiatan kritis

$V(tek)$: variansi waktu penyelesaian k egiatan kritis

Maka :

$$\begin{aligned} Te &= \sum tek \\ V(Te) &= \sum V(tek) \end{aligned} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan :

Te : waktu penyelesaian waktu kritis

$V(Te)$: variansi waktu kritis

Sesuai dengan *central limit theorem*, tingkat kebenaran T_e atau waktu penyelesaian suatu proyek adalah 50% yaitu sama dengan tingkat kebenaran t_e yang bersifat simetris seperti kurva distribusi normal. Distribusi normal merupakan kurva dalam bentuk lonceng yang sering digunakan dalam ilmu statistika. Untuk mengetahui kemungkinan mencapai target jadwal dapat dilakukan dengan menghubungkan antara waktu yang diharapkan T_e dan target yang ingin dicapai T_d yang dinyatakan dengan rumus :

$$Z = \frac{T_d - T_e}{\sqrt{V(T_e)}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan :

T_d : target yang ingin dicapai

Z : nilai distribusi dalam distribusi normal

Adapun langkah-langkah dalam menyelesaikan metode PERT adalah sebagai berikut :

1. Menghitung perkiraan waktu aktivitas dan varians dengan menentukan nilai $a, b,$ dan m untuk setiap kegiatan, maka didapatkan waktu yang diharapkan (T_e) dan varians.
2. Membuat jaringan kerja.
3. Penentuan lintasan kritis dari perkiraan waktu aktivitas untuk menghitung waktu penyelesaian proyek serta varians.
4. Menentukan probabilitas proyek yang dapat dianalisis kemungkinan tercapainya target.
5. Nilai Z tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menentukan nilai probabilitas yang terdapat dalam tabel distribusi normal kumulatif.

2.4 Metode CPM (*Critical Path Method*)

CPM (*Critical Path Method*) adalah model ilmu manajemen untuk perencanaan dan pengendalian biaya sebuah proyek. Metode ini dikembangkan oleh perusahaan *DuPont* pada tahun 1957 untuk membangun sebuah pabrik kimia. Meskipun dikembangkan pada saat yang hampir bersamaan dengan metode PERT, namun model CPM ini pada mulanya dikembangkan secara terpisah dari model PERT. PERT dan CPM ini sama-sama dikembangkan oleh dua lembaga atau organisasi yang berbeda. Bahkan sejak pertama kali kedua metode ini telah berbeda dalam hal tujuan yang ingin dicapai.

Meskipun mempunyai tujuan yang berbeda, tapi kedua metode ini memiliki konsep yang hampir sama. Keduanya merupakan model dasar manajemen proyek dalam hal perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian sumber-sumber organisasi seperti dana dan sumber daya manusia. Analisis kegiatan-kegiatan yang terlibat dalam proyek, model CPM seperti halnya PERT juga menggunakan analisis jaringan kerja. Tujuan dari analisis jaringan dalam metode CPM ini untuk menentukan jalur kritis terdiri dari rangkaian kegiatan kritis, dimulai dari kegiatan pertama sampai pada kegiatan terakhir proyek. Jalur kritis ini sangat penting bagi pelaksana proyek, karena pada jalur ini terletak kegiatan-kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan.

Metode CPM ini lebih mengutamakan biaya sebagai objek yang dianalisis, dengan analisa jaringan kerja metode ini berusaha mengoptimalkan biaya total proyek jika jangka waktu proyek diperpendek, yaitu dengan memperpendek salah satu atau beberapa kegiatan dari proyek tersebut. Kegiatan yang diperpendek

disini adalah kegiatan yang dilalui jalur kritis, karena kegiatan – kegiatan kritis yang perlu diperhatikan dalam metode CPM ini.

2.4.1 Biaya dan Waktu Perencanaan

Metode CPM merupakan model manajemen proyek yang mengutamakan biaya sebagai objek yang dianalisis, persoalan pokok yang menjadi perhatian model ini adalah :

1. Berapa besar biaya untuk menyelesaikan sebuah proyek jika waktu penyelesaiannya normal.
2. Jika waktu penyelesaian suatu proyek harus dipercepat maka berapa besar biaya yang harus dikeluarkan dan kegiatan mana saja yang harus dipercepat agar biaya percepatan total minimum.

Dengan demikian ada dua kondisi yang diobservasi oleh model CPM, yaitu :

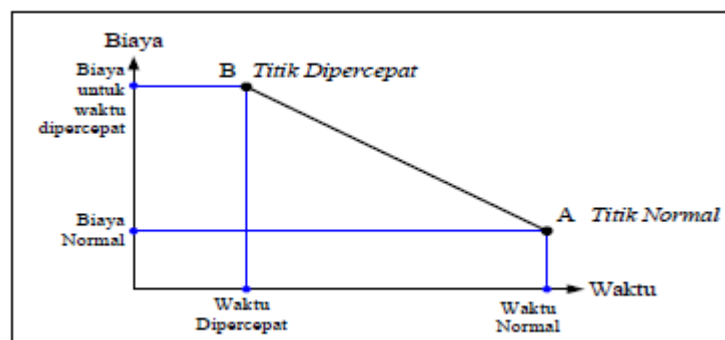
1. Kondisi penyelesaian proyek secara normal.
2. Kondisi penyelesaian proyek yang dipercepat.

Dua macam kondisi yang diobservasi di atas akan menurunkan empat macam parameter, yaitu :

- a. Waktu normal merupakan waktu yang diperlukan bagi sebuah proyek untuk melakukan rangkaian kegiatan sampai selesai tanpa ada pertimbangan terhadap penggunaan sumber daya.
- b. Biaya normal merupakan biaya langsung yang dikeluarkan selama penyelesaian kegiatan-kegiatan proyek sesuai dengan waktu normalnya.
- c. Waktu dipercepat atau lebih dikenal dengan *crash time* merupakan waktu paling singkat untuk menyelesaikan seluruh kegiatan yang secara teknis pelaksanaannya masing mungkin dilakukan.

- d. Biaya untuk waktu dipercepat atau *crash cost* merupakan biaya langsung yang dikeluarkan untuk menyelesaikan kegiatan dengan waktu yang dipercepat.

Biaya dan waktu penyelesaian suatu kegiatan normal, maka biaya langsung yang terlibat dalam penyelesaian dikategorikan sebagai biaya normal, sedangkan jika percepatan terhadap suatu kegiatan dikehendaki maka diperlukan tambahan biaya langsung sebagai biaya percepatan. Waktu untuk menyelesaikan kegiatan yang lebih cepat dari waktu normal tersebut dinamakan waktu cepat dan biaya yang berkaitan dengan percepatan kegiatan tersebut dinamakan biaya cepat. Istilah normal disini semata-mata digunakan untuk membedakan kondisi normal dari kondisi yang tidak normal, yaitu waktu yang lebih cepat atau biaya yang lebih besar. Hubungan antara kedua kondisi itu dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Gambar 2.12 Hubungan Waktu dan Biaya Normal dan *Crash*

2.4.2 Mempercepat Waktu Penyelesaian

Percepatan waktu penyelesaian dari suatu pelaksanaan proyek mengacu pada percepatan dari kegiatan-kegiatan yang ada dalam menyelesaikan proyek lebih cepat. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan proyek ditentukan oleh lintasan kritis, maka untuk memperpendek waktu dari jadwal penyelesaian proyek harus memfokuskan pada kegiatan-kegiatan yang berada pada lintasan kritis. Tujuan pokok untuk mempercepat waktu penyelesaian adalah

memperpendek waktu penyelesaian proyek dengan kenaikan biaya yang seminimal mungkin. Proses mempercepat waktu penyelesaian proyek dinamakan *crash program*. Akan tetapi, terdapat batas waktu percepatan (*crash time*) yaitu suatu batas dimana dilakukan pengurangan waktu melewati batas waktu ini akan tidak efektif lagi.

Prosedur menggunakan *crash schedule*, tentu saja biayanya akan jauh lebih besar dibandingkan dengan *normal schedule*. Langkah *crash schedule* ini dipilih kegiatan-kegiatan kritis dengan tingkat kemiringan terkecil untuk mempercepat pelaksanaannya. Langkah ini dilakukan sampai seluruh kegiatan mencapai nilai *crash time*-nya. Perhitungan yang dilakukan untuk menentukan sudut kemiringan (waktu dan biaya suatu kegiatan) atau lebih dikenal dengan *slope* adalah :

$$\text{Slope Biaya} = \frac{\text{Biaya Dipercepat} - \text{Biaya Normal}}{\text{Waktu Normal} - \text{Waktu Dipercepat}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Setelah hubungan biaya dengan waktu ini ditentukan, diselesaikan aktivitas – aktivitas proyek dalam waktu normalnya. Kemudian tentukan lintasan kritis dan biaya langsungnya. Langkah selanjutnya yaitu mempertimbangkan pengurangan waktu. Karena pengurangan waktu ini hanya akan efektif jika waktu dari aktivitas-aktivitas kritis dikurangi, maka yang perlu diperhatikan adalah aktivitas – aktivitas kritis itu saja. Agar diperoleh pengurangan waktu dan biaya sekecil mungkin, maka harus menekan sebanyak mungkin aktivitas-aktivitas kritis yang mempunyai kemiringan garis biaya waktu terkecil. Banyaknya aktivitas yang dapat ditekan ini dibatasi oleh *crash time* masing-masing. Namun batasan-batasan lain harus juga dipertimbangkan sebelum menetapkan jumlah aktivitas yang pasti dapat dipersingkat. Sebagai hasil penekanan satu aktivitas ini adalah jadwal baru yang mungkin mempunyai lintasan kritis baru juga. Ongkos jadwal

baru ini tentunya lebih besar dari jadwal sebelumnya. Berdasarkan jadwal baru ini dipilih aktivitas – aktivitas kritis dengan kemiringan terkecil untuk dipercepat pelaksanaannya. Prosedur ini diulangi hingga seluruh aktivitas kritis berada pada *crash time* masing-masing.

Sistematika dari proses penyusunan jaringan kerja (*network*) pada metode CPM adalah sebagai berikut :

1. Mengkaji dan mengidentifikasi lingkup proyek, menguraikan, memecahkannya menjadi kegiatan-kegiatan atau kelompok kegiatan yang merupakan komponen proyek.
2. Penyusunan suatu *network* diagram yang menunjukkan hubungan antar kegiatan yang sesuai dengan proyek tersebut.
3. Perhitungan lama waktu yang dibutuhkan untuk setiap lintasan (*path*) yang terdapat dalam *network*.
4. Melakukan percepatan waktu proyek untuk mendapatkan biaya yang Minimum.