

## BAB II

### LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan teori-teori atau konsep yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan penelitian tentang Penerapan Metode PERT dan CPM (Studi Pada Perusahaan BAJA SAKTI Construction).

#### 2.1. Pengertian Proyek

Menurut Heizer dan Render (2014:96), proyek dapat didefinisikan sebagai sederatan tugas yang diarahkan pada suatu hasil *output* utama.

Menurut Olateju (2011) dalam Khan (2014:206) mengemukakan bahwa proyek umumnya digambarkan sebagai latihan yang dapat dilakukan untuk menghasilkan satu produk sejenis, layanan atau efek. Untuk mengatur kegiatan atau tugas ini dikenal sebagai manajemen proyek. Setiap proyek adalah unik dengan caranya sendiri dan bersifat sementara yaitu berakhir pada waktu tertentu.

Proyek meliputi tugas-tugas tertentu yang dirancang secara khusus dengan hasil dan waktu yang telah ditentukan terlebih dahulu dan dengan keterbatasan sumber daya. Proyek memiliki ciri sebagai berikut:

1. Bersifat dinamis
2. Berlangsung hanya dalam kurun waktu terbatas (siklus proyek relatif pendek)
3. Intensitas kegiatan berbeda-beda
4. Kegiatan harus diselesaikan sesuai dengan dana dan waktu yang ditentukan

5. Menyangkut berbagai kegiatan yang memerlukan bermacam-macam klasifikasi tenaga
6. Diperlukan jalur komunikasi dan tanggung jawab vertikal maupun horizontal agar efektif dalam pengelolaannya (Herjanto, 2007:352).

Dalam Meredith dan Mantel (2010:10) dikatakan bahwa proyek merupakan sub tugas yang cukup kompleks, yang memerlukan koordinasi dan kontrol dalam hal waktu, pendahulu (*precedence*), biaya dan kinerja.

Menurut Sumayang (2003:149), Proyek adalah satu rangkaian aktivitas yang dilaksanakan satu kali dalam jadwal waktu yang pasti dan terperinci. Kegiatan yang dilakukan satu kali dan menghasilkan satu produk yang unik yang menyebabkan arti perencanaan dan penjadwalan sangat penting pada proyek, dimana terperinci semua aktivitas, tahapan dan kerangka waktu pekerjaan.

Berdasarkan pendapat para ahli diatas, maka penulis menarik kesimpulan bahwa proyek adalah sederetan tugas yang diarahkan pada suatu hasil produk atau layanan yang dirancang dan dilaksanakan satu kali dalam jadwal waktu yang pasti dan terperinci dengan alokasi sumber daya tertentu serta memerlukan koordinasi dan kontrol untuk mendapatkan hasil proyek yang sudah ditentukan.

## 2.2. Macam – Macam Proyek

Menurut Soeharto (1999:5-6) dilihat dari komponen kegiatan utamanya macam proyek yang dapat dikelompokkan sebagai berikut:

### 1. Proyek *engineering-konstruksi*

Komponen kegiatan utama jenis proyek ini terdiri dari pengkajian kelayakan, desain *engineering*, pengadaan dan konstruksi. Contoh proyek macam ini adalah pembangunan gedung, jembatan, pelabuhan, jalan raya, fasilitas industri.

### 2. Proyek *engineering-manufaktur*

Proyek ini dimaksudkan untuk menghasilkan produk baru. Jadi, produk tersebut adalah hasil usaha kegiatan proyek. Dengan kata lain, proyek manufaktur merupakan proses untuk menghasilkan produk baru. Kegiatan utamanya meliputi desain-*engineering*, pengembangan produk (*product development*), pengadaan, manufaktur, perakitan, uji coba fungsi dan operasi produk yang dihasilkan. Contoh untuk ini adalah pembuatan ketel uap, generator listrik, mesin pabrik, kendaraan. Bila kegiatan manufaktur dilakukan berulang, rutin, dan menghasilkan produk yang sama terdahulu, maka kegiatan ini tidak lagi diklasifikasikan sebagai proyek.

### 3. Proyek penelitian dan pengembangan

Proyek penelitian dan pengembangan (*research and development*) bertujuan melakukan penelitian dan pengembangan dalam rangka menghasilkan suatu produk tertentu. Dalam mengejar hasil akhir, proyek ini seringkali menempuh proses yang berubah-ubah, demikian pula dengan lingkup kerjanya. Agar tidak

melebihi anggaran atau jadwal secara substansial maka perlu diberikan batasan yang ketat perihal masalah tersebut.

#### 4. Proyek pelayanan manajemen

Banyak perusahaan memerlukan proyek semacam ini. Di antaranya:

1. Merancang sistem informasi manajemen, meliputi perangkat lunak ataupun perangkat keras.
2. Merancang program efisiensi dan penghematan.
3. Melakukan diverifikasi, penggabungan dan pengambilalihan.

Proyek tersebut tidak membuahkan hasil dalam bentuk fisik, tetapi laporan akhir.

#### 5. Proyek kapital

Berbagai badan usaha atau pemerintah memiliki kriteria tertentu untuk proyek kapital. Hal ini berkaitan dengan penggunaan dana kapital (istilah akuntansi) untuk proyek kapital. Proyek kapital umumnya meliputi pembebasan tanah, penyiapan lahan, pembeian material dan peralatan (mesin-mesin), manufaktur (pabrikasi), dan konstruksi pembangunan fasilitas produksi.

#### 6. Proyek radio-telekomunikasi

Proyek diatas dimaksudkan untuk membangun jaringan telekomunikasi yang dapat menjangkau area yang luas dan biaya yang relatif tidak terlalu mahal.

Komponen utama kegiatannya adalah:

1. *Site Survey*, untuk menentukan titik-titik yang akan dihubungkan dengan lokasi "*repeater*"
2. Penentuan "*frequency band*"

3. Desain *engineering* sistem
4. Manufaktur/pabrikasi peralatan telekomunikasi
5. Transpor ke site
6. Instalasi *repeater* dan peralatan.

Berbeda dengan proyek-proyek yang mendirikan instalasi industri yang terkonsentrasi disatu atau banyak lokasi, proyek radio telekomunikasi umumnya terdiri dari banyak lokasi dan terpancar di seantero wilayah yang berjauhan. Oleh karena itu, aspek logistik dan koordinasi seringkali harus mendapatkan perhatian utama.

#### 7. Proyek konservasi *bio-diversity*

Proyek ini berkaitan dengan usaha pelestarian lingkungan. Salah satu pendekatan yang terkenal ialah aplikasi sistem IPAS (*Intergreted Protected Area System*), yaitu menentukan daerah yang dilindungi atau "*protected area*", "*zona buffer*" dan "*adjacent area*". Aspek yang dijangkau sistem IPAS sangat luas, meliputi sosial, ekonomi, ekosistem, kependudukan dan lain-lain. Komponen utama kegiatannya terdiri dari:

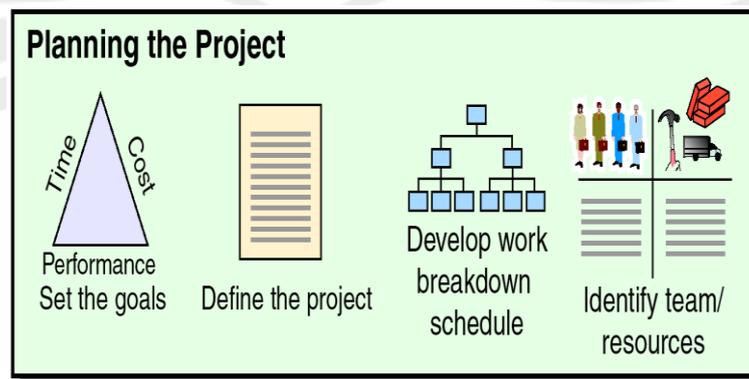
1. Menyusun dan melaksanakan program penyuluhan dan menyadarkan penduduk yang daerah pemukimannya akan terkena proyek (tidak harus memindahkan mereka), bahwa proyek berusaha melestarikan lingkungan dan menaikkan taraf hidup mereka.
2. Mengadakan survei "*biofisik*" (*biophysical*) dan sosio-ekonomi.
3. Menentukan batas-batas "*protected area*", "*zona buffer*" dan "*adjacent area*" (*zoning delineation*, dan demarkasi).

4. Membangun “zona buffer” dan “adjacent area” dengan cara penghijauan, “*argo forestry*”, konservasi tanah, dan “*community development*” seperti pembuatan jalan.

### 2.3. Tahapan Kegiatan Proyek

#### 1. Perencanaan Proyek

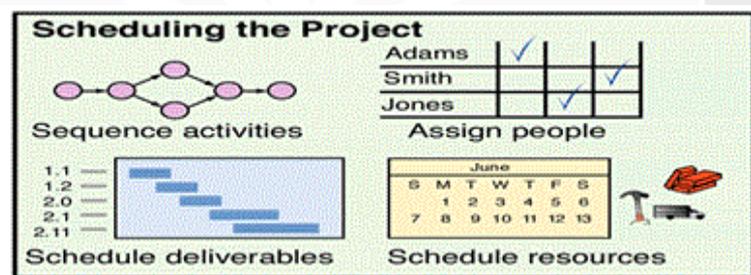
Tahapan ini mencakup penentuan sasaran, pendefinisian proyek, dan pengorganisasian tim. Penentuan sasaran harus memperhatikan kinerja, biaya dan waktu untuk menyelesaikan suatu proyek, sehingga sasaran dapat tercapai. Pendefinisian proyek, proyek yang ingin dilakukan harus jelas penjabarannya. Perencanaan juga menetapkan pengorganisasian tim, dimana perusahaan merancang struktur organisasi untuk memudahkan pembagian tugas tim sesuai dengan keahliannya dan memudahkan untuk menentukan alokasi sumber daya yang dibutuhkan untuk setiap kegiatan. Hal tersebut digambarkan pada Gambar 2.1 yaitu:



Gambar 2.1 Perencanaan Proyek (Heizer dan Render, 2008)

## 2. Penjadwalan Proyek

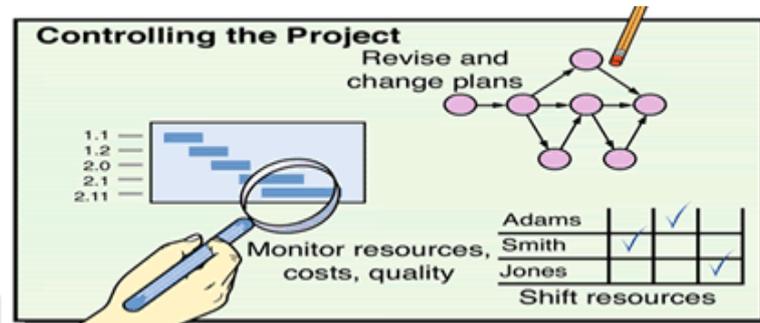
Menurut Xu dan Zhang (2012:253), penjadwalan proyek adalah proses pengambilan keputusan yang kompleks yang melibatkan berbagai jenis sumber daya dan kegiatan yang diperlukan untuk dioptimalkan. Tahapan ini menghubungkan orang, uang, dan bahan untuk aktivitas khusus dan menghubungkan setiap aktivitas satu dengan aktivitas lain. Penjadwalan proyek meliputi pengurutan dan pembagian waktu untuk seluruh aktivitas proyek. Manajer memutuskan berapa lama tiap kegiatan memerlukan waktu dan menghitung berapa banyak orang serta bahan yang diperlukan pada tiap tahap produksi. Tahapan ini digambarkan pada Gambar 2.2 yaitu:



Gambar 2.2 Penjadwalan Proyek (Heizer dan Render, 2008)

## 3. Pengendalian Proyek

Pengendalian proyek besar melibatkan pengawasan ketat pada sumber daya, biaya, kualitas, dan anggaran. Pengendalian juga berarti penggunaan *loop* umpan balik untuk merevisi atau mengubah rencana proyek dan menggeser atau mengelola kembali sumber daya agar dapat memenuhi kebutuhan waktu dan biaya. Hal ini dilihat pada Gambar 2.3 yaitu:



Gambar 2.3 Pengendalian Proyek (Heizer dan Render, 2008)

#### 2.4. Metode *Program Evaluation And Review Technique*—PERT

Menurut Ervianto (2004:36), PERT dikembangkan sejak tahun 1958 oleh US Navy dalam proyek pengembangan *Polaris Missile System*. Teknik ini mampu mereduksi waktu selama dua tahun dalam pengembangan sistem senjata tersebut dan sejak itu mulai digunakan secara luas.

Menurut Heizer dan Render (2014:101), PERT merupakan teknik manajemen proyek yang menggunakan tiga perkiraan waktu untuk setiap aktivitas. PERT dapat membantu para manajer melakukan penjadwalan, pemantauan, serta pengendalian proyek – proyek besar dan kompleks.

Menurut Levin dan Kirkpatrick (1977:11), PERT merupakan suatu metode yang bertujuan sebanyak mungkin mengurangi adanya penundaan, maupun gangguan dan konflik produksi; mengkoordinasikan dan mensinkronisasikan berbagai bagian sebagai suatu keseluruhan pekerjaan; dan mempercepat selesainya proyek. PERT merupakan metode untuk menentukan jadwal dan anggaran dari sumber-sumber, sehingga suatu pekerjaan yang sudah ditentukan terlebih dahulu dapat diselesaikan tepat pada waktunya. PERT merupakan suatu

fasilitas komunikasi dalam hal bahwa PERT dapat melaporkan kepada manajer, perkembangan yang terjadi, baik yang bersifat menguntungkan maupun tidak. PERT dapat menjaga agar para manajer mengetahui dan mendapat keterangan ini secara teratur. Lebih dari itu semua, PERT merupakan suatu pendekatan yang baik sekali untuk mencapai penyelesaian proyek tepat pada waktunya.

Dalam metode PERT diketahui ada tiga buah estimasi durasi setiap kegiatan, yaitu:

1. *Optimistic estimate* ( $t_0$ ) adalah durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan jika segala sesuatunya berjalan dengan baik. Dapat digambarkan di sini jika seseorang melakukan suatu kegiatan berulang sebanyak 100 kali, maka dapat dipastikan durasi yang dibutuhkan.
2. *Pessimistic estimate* ( $t_p$ ) adalah durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan jika segala sesuatunya dalam kondisi buruk (tidak mendukung)
3. *Most likely estimate* ( $t_m$ ) adalah durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan diantara *optimistic estimate* dan *pessimistic estimate* atau dikenal dengan *median duration* (Ervianto, 2004:37).

Untuk menghitung waktu aktivitas yang diperkirakan- $t$  (*expected activity time*) dapat menggunakan rumus berikut:

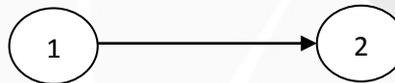
$$t = \frac{t_0 + 4t_m + t_p}{6}$$

#### **2.4.1. Dasar-Dasar PERT**

Menurut Levin dan Kirkpatrick (1977:19), ada dua konsep yang harus diperhatikan sehubungan dengan PERT:

1. *Event*: Suatu *event* (kejadian) adalah suatu keadaan yang terjadi pada saat tertentu.
2. *Aktivitas*: Suatu aktivitas adalah pekerjaan yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu kejadian.

Dalam jaringan PERT, kejadian biasanya dilukiskan dalam bentuk **lingkaran**, dan aktivitas-aktivitas dilukiskan dalam bentuk **tanda panah** yang menghubungkan dua buah lingkaran.



Gambar 2.4 Dua *Event* Yang Dihubungkan Oleh Satu Aktivitas

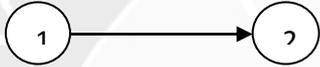
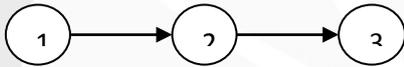
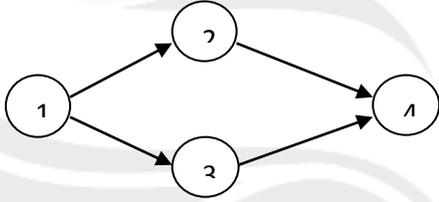
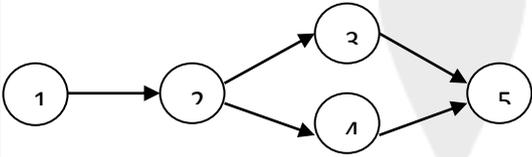
Tiap-tiap *event* menggambarkan titik waktu tertentu, dimana *event* 1 menggambarkan titik waktu “pekerjaan dimulai” dan *event* 2 menggambarkan titik waktu “pekerjaan selesai”. Tanda panah atau aktivitas yang menghubungkan kedua *event* ini menggambarkan pekerjaan yang sesungguhnya dikerjakan, tanda panah menggambarkan waktu, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk merencanakan dan melaksanakan pekerjaan yang sebenarnya. Dengan demikian suatu *event* dalam PERT adalah suatu keadaan yang terjadi seketika itu juga pada titik waktu tertentu, tetapi keadaan itu sendiri tidak membutuhkan waktu atau sumber-sumber. Sedangkan aktivitas adalah bagian tertentu dari suatu proyek kerja, yang membutuhkan waktu dan sumber untuk menyelesaikan.

Di dalam PERT terdapat istilah **jaringan** yang menunjukkan bahwa jika beberapa *event* dan aktivitas digabungkan dan kemudian hasilnya digambarkan dalam sebuah diagram maka diagram tersebut akan berbentuk jaringan. Jaringan

akan memiliki beberapa cabang tergantung pada rumitnya proyek yang digambarkan.

Berikut ini adalah Tabel 2.1 yang menunjukkan beberapa jaringan PERT yang sederhana dengan masing-masing *event* dan aktivitas-aktivitasnya dinyatakan dalam terminologi PERT yang tepat.

Tabel 2.1 Terminologi PERT Yang Tepat

	EVENT	AKTIVITAS
	1 2	1 – 2
	1 2 3	1 – 2 2 – 3
	1 2 3 4	1 – 2 1 – 3 3 – 4 2 – 4
	1 2 3 4 5	1 – 2 2 – 3 2 – 4 3 – 5 4 – 5

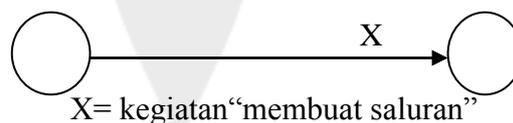
Sumber: Levin dan Kirkpatrick (1977:21)

## 2.5. *Critical Path Method*–CPM

Menurut Heizer dan Render (2008:93), CPM (*Critical Path Method*) yaitu teknik manajemen proyek yang menggunakan hanya satu faktor waktu per kegiatan. CPM dikembangkan tahun 1957 oleh J.E. Kelly dari Remington Rand dan M.R. Walker dari duPont untuk membantu pembangunan dan pemeliharaan pabrik kimia di duPont.

Menurut Levin dan Kirkpatrick (1977:133), Metode Jalur Kritis (*Critical Path Method*–CPM) yakni metode untuk merencanakan dan mengendalikan proyek-proyek, merupakan sistem yang paling banyak dipergunakan diantara semua sistem lain yang memakai prinsip pembentukan jaringan. CPM adalah suatu teknik perencanaan dan pengendalian yang dipergunakan dalam proyek yang mempunyai data biaya dari masa lampau (*past cost data*). CPM dipergunakan dengan tujuan agar biaya penyelesaian suatu proyek dapat ditekan serendah mungkin dalam arti yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dipersempit, dan biaya yang dikeluarkan untuk mempercepat selesainya pekerjaan itu ditekan serendah mungkin (Levin dan Kirkpatrick, 1977:8).

Dalam jaringan CPM menggunakan pendekatan *activity on arrow* (AOA), yang menggunakan anak panah sebagai simbol dari kegiatan.



Gambar 2.5 Anak Panah Sebagai Simbol Kegiatan

## 2.6. Kerangka Kerja PERT Dan CPM

Menurut Heizer dan Render (2014:101), PERT dan CPM mengikuti enam langkah dasar sebagai berikut:

1. Menetapkan proyek dan menyiapkan struktur penguraian kerjanya.
2. Membangun hubungan antara aktivitas-aktivitasnya. Memutuskan aktivitas yang harus dilakukan lebih dahulu dan aktivitas yang harus mengikuti aktivitas lain.
3. Menggambarkan jaringan yang menghubungkan keseluruhan aktivitas.
4. Menetapkan perkiraan waktu dan/atau biaya untuk setiap aktivitas.
5. Menghitung jalur waktu terpanjang melalui jaringan. Hal ini disebut jalur kritis.
6. Menggunakan jaringan untuk membantu perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian proyek.

Langkah kelima-menentukan jalur kritis adalah bagian utama dalam pengendalian proyek. Aktivitas pada jalur kritis merepresentasikan tugas-tugas yang akan menunda keseluruhan proyek, kecuali mereka dapat diselesaikan secara tepat waktu. Manajer mempunyai keleluasaan untuk menghitung tugas-tugas penting dengan mengidentifikasi aktivitas yang nonkritis dan melakukan perencanaan ulang, penjadwalan ulang, serta pengalokasian ulang dari sumber daya manusia dan keuangan.

Meskipun PERT dan CPM berbeda pada beberapa hal dalam terminologi dan konstruksi jaringan, tujuan keduanya sama. Analisis yang digunakan pada kedua teknik ini sangat mirip. Perbedaan utamanya adalah PERT menggunakan tiga

perkiraan waktu untuk setiap aktivitas. Perkiraan waktu ini digunakan untuk menghitung nilai yang diperkirakan dan penyimpangan standar untuk aktivitas tersebut. CPM membuat asumsi bahwa waktu aktivitas diketahui dengan pasti sehingga hanya diperlukan satu faktor waktu untuk setiap aktivitas.

## 2.7. Jaringan Kerja (*Network*)

Jaringan kerja merupakan metode yang dianggap mampu menyuguhkan teknik dasar dalam menentukan urutan dan kurun waktu kegiatan unsur proyek, dan pada giliran selanjutnya dapat dipakai memperkirakan waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan (Soeharto, 1999:238).

Simbol dan notasi yang dipakai dalam menggambarkan jaringan kerja adalah sebagai berikut (Herjanto, 2007:361-363):

### 1. Anak panah

Anak panah menggambarkan kegiatan (*activity*). Arah anak panah menunjukkan arah kegiatan, sehingga dapat diketahui kegiatan yang mendahului (*preceding activity*) dan kegiatan yang mengikuti (*succeeding activity*). Suatu aktivitas baru dapat dimulai jika *preceding event* sudah selesai dikerjakan.

### 2. Lingkaran

Lingkaran (*node*) menggambarkan peristiwa (*event*). Setiap kegiatan selalu dimulai dengan suatu peristiwa dan diakhiri dengan suatu peristiwa juga, yaitu peristiwa mulainya kegiatan dan peristiwa selesainya kegiatan itu.

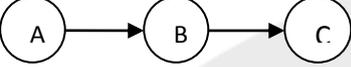
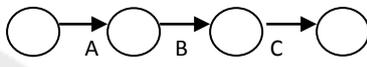
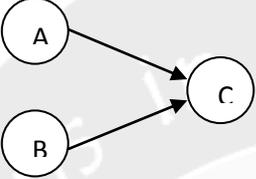
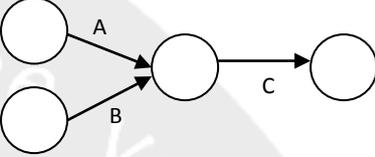
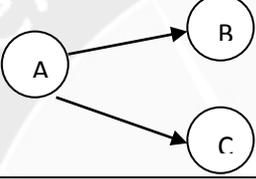
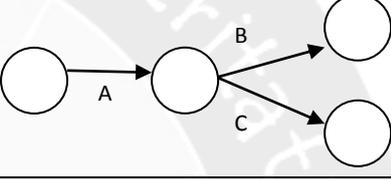
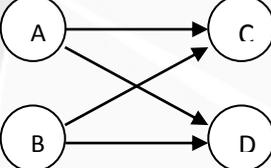
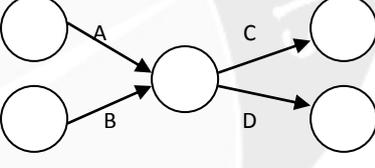
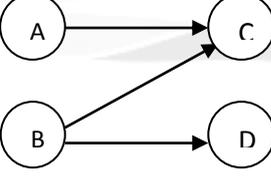
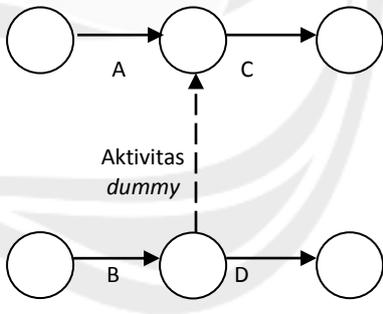
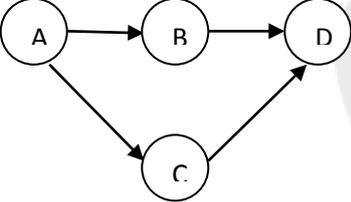
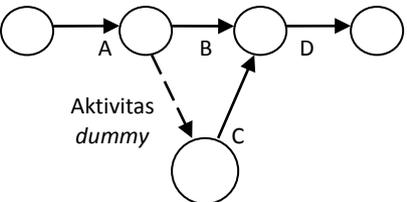
### 3. Anak panah terputus-putus (*dummy*)

*Dummy* menunjukkan suatu kegiatan semu, yang diperlukan untuk menggambarkan adanya hubungan diantara dua kegiatan. Mengingat *dummy* merupakan kegiatan semu maka lama kegiatan *dummy* adalah nol.

Dalam Heizer dan Render (2008:94-95), ada dua pendekatan untuk menggambar jaringan proyek: aktivitas pada titik (*activity on node-AON*) dan aktivitas pada panah (*activity on arrow-AOA*). Berdasarkan kesepakatan untuk AON, *titik* menunjukkan aktivitas. Pada AOA, *panah* menunjukkan aktivitas. Aktivitas memerlukan waktu dan sumber daya. Perbedaan mendasar antara AON dan AOA adalah titik pada diagram AON mewakili aktivitas. Pada jaringan AOA, titik mewakili waktu mulai dan selesainya suatu aktivitas yang disebut *kejadian*. Artinya, titik pada AOA tidak menghabiskan waktu maupun sumber daya.

Berdasarkan pernyataan diatas, dibawah ini adalah ilustrasi dari perbandingan dua pendekatan yang mengilustrasikan jaringan kerja sebagai berikut:

Tabel 2.2 Perbandingan Pemakaian Jaringan AON dan AOA

	Activity on Node (AON)	Arti Aktivitas	Activity on Arrow (AOA)
(a)		A datang sebelum B, yang datang sebelum C	
(b)		A dan B harus selesai sebelum C dapat dimulai	
		B dan C tidak dapat dimulai sebelum A selesai	
(d)		C dan D tidak dapat dimulai sebelum A dan B selesai.	
(e)		C tidak dapat dimulai sampai A dan B selesai; D tidak dapat dimulai sebelum B selesai. Aktivitas <i>dummy</i> dimasukkan di dalam AOA.	
(f)		B dan C tidak dapat dimulai sebelum A selesai. D tidak dapat dimulai sebelum B dan C selesai. Aktivitas <i>dummy</i> sekali lagi dimasukkan di dalam AOA.	

Sumber: Heizer dan Render (2008:95)

## 2.8. Jalur Kritis (*Critical Path*)

Menurut Adegoke (2011:289), Jalur kritis adalah rantai kegiatan melalui jaringan dan berisi kegiatan yang tidak bisa ditunda. Jalur kritis mempunyai kemungkinan siklus waktu terkecil untuk proses tersebut. Jalur kritis akan memberikan perkiraan proses siklus waktu. Sedangkan menurut Heizer dan Render (2014:105), Jalur kritis adalah jalur waktu *terpanjang* yang terdapat diseluruh jaringan.

Dalam melakukan analisis jalur kritis menurut Heizer dan Render (2014:105-109), digunakan proses *two-pass* yang terdiri atas *forward pass* dan *backward pass* untuk menentukan jadwal waktu suatu aktivitas. ES dan EF ditentukan selama *forward pass*. LS dan LF ditentukan selama *backward pass*. ES (*earliest start*) adalah waktu paling awal suatu aktivitas dapat dimulai dengan asumsi semua pendahulunya sudah selesai. EF (*earliest finish*) adalah waktu paling awal suatu aktivitas dapat selesai. LS (*late start*) adalah waktu terakhir suatu aktivitas dapat dimulai sehingga tidak menunda waktu penyelesaian keseluruhan proyek. LF (*late finish*) adalah waktu terakhir suatu aktivitas dapat selesai sehingga tidak menunda waktu penyelesaian keseluruhan proyek.

### 1. Forward Pass

Aturan Waktu Mulai Paling Awal. Sebelum suatu aktivitas dapat dimulai, *semua* pendahulu langsungnya harus diselesaikan.

- (a) Jika suatu aktivitas hanya mempunyai satu pendahulu langsung, ES-nya sama dengan EF dari pendahulunya.

- (b) Jika suatu aktivitas mempunyai beberapa pendahulu langsung, ES-nya adalah nilai maksimum dari semua EF pendahulunya, yaitu:

$$ES = \text{Max} \{EF \text{ semua pendahulu langsung}\}$$

Aturan Selesai Paling Awal. Waktu selesai paling awal (EF) dari suatu aktivitas adalah jumlah dari waktu mulai paling awal (ES) dan waktu aktivitas itu sendiri, yaitu:

$$EF = ES + \text{Waktu aktivitas}$$

## 2. Backward Pass

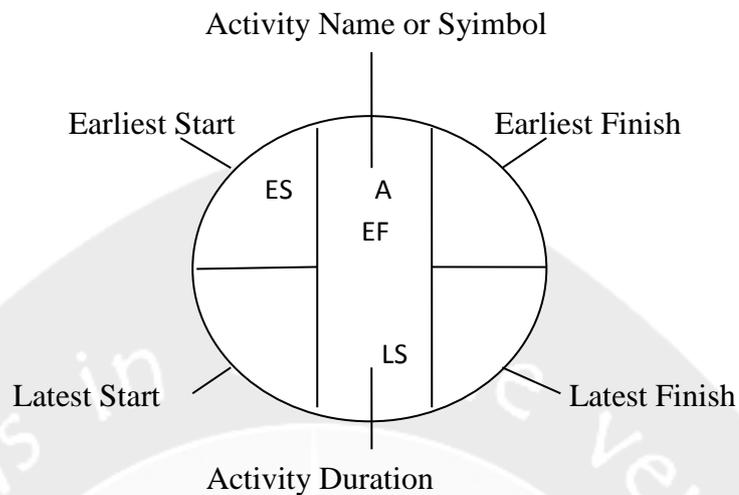
Aturan Waktu Selesai Paling Lambat. Sekali lagi, aturan ini didasarkan pada kenyataan bahwa sebelum suatu aktivitas dapat dimulai, seluruh pendahulu langsungnya harus diselesaikan.

- (a) Jika suatu aktivitas adalah pendahulu langsung dari hanya satu aktivitas, LF-nya sama dengan LS dari aktivitas yang secara langsung mengikutinya.
- (b) Jika suatu aktivitas adalah pendahulu langsung dari lebih dari satu aktivitas, maka LF adalah minimum dari seluruh nilai LS dari aktivitas-aktivitas yang secara langsung mengikutinya, yaitu:

$$LF = \text{Min} \{LS \text{ dari seluruh aktivitas yang langsung mengikutinya}\}$$

Aturan Waktu Mulai Paling Lambat. Waktu mulai paling lambat (LS) dari suatu aktivitas adalah selisih dari waktu selesai paling lambat (LF) dan waktu aktivitasnya yaitu:

$$LS = LF - \text{Waktu aktivitas}$$



Sumber: Heizer dan Render (2014:105)

Gambar 2.6

Notasi yang Digunakan pada Titik Forward dan Backward Pass

Setelah menghitung waktu paling awal dan waktu paling lambat dari semua aktivitas, maka menemukan jumlah waktu longgar (*slack time*) yang dimiliki oleh setiap aktivitas menjadi mudah. *Slack* adalah waktu luang yang dimiliki sebuah aktivitas untuk dapat diundur pelaksanaannya tanpa menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan.

$$Slack = LS - ES \quad \text{atau} \quad Slack = LF - EF$$

Aktivitas dengan  $slack = 0$  disebut sebagai *aktivitas kritis* (*critical activities*) dan berada pada jalur kritis. Jalur Kritis (*critical path*) adalah jalur yang tidak terputus melalui jaringan proyek yang:

1. Mulai pada aktivitas pertama proyek.
2. Berhenti pada aktivitas terakhir proyek.
3. Hanya terdiri atas aktivitas-aktivitas kritis.

## 2.9. Percepatan Proyek (*Project Crashing*)

Sering dijumpai dalam menyusun *schedule* ditekankan pada penyelesaian pekerjaan secepat mungkin. Hal ini dilakukan dengan berbagai pertimbangan dan alasan. Pada situasi apa pun, beberapa atau semua aktivitas yang ada harus dipercepat untuk menyelesaikan proyek dalam batas waktu yang diinginkan. Proses dimana kita memperpendek jangka waktu proyek dengan biaya terendah yang mungkin disebut *crashing* proyek (Heizer dan Render, 2014:115). Mempersingkat sebuah aktivitas dengan menambah sumber daya lebih (contoh: peralatan, karyawan) pada aktivitas tersebut.

Menurut Ervianto (2004:56), *Crashing* adalah suatu proses yang disengaja, sistematis, dan analitik dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis. Proses *crashing* dengan cara melakukan perkiraan dari variabel *cost* dalam menentukan pengurangan durasi yang maksimal dan paling ekonomis dari suatu kegiatan yang masih mungkin untuk direduksi.

Menurut Heizer dan Render (2014:116), *Crashing* proyek melibatkan empat langkah berikut:

1. Hitung biaya *crash* per minggu (atau satuan waktu lain) untuk setiap aktivitas dalam jaringan. Jika biaya *crash* bersifat linier menurut waktu, maka rumus berikut dapat digunakan.

$$\text{Biaya crash per periode} = \frac{(\text{biaya crash} - \text{biaya normal})}{(\text{waktu normal} - \text{waktu crash})}$$

2. Dengan menggunakan waktu aktivitas sekarang, temukan jalur kritis pada jaringan proyek. Kenali aktivitas kritisnya.

3. Jika hanya ada satu jalur kritis, pilihlah aktivitas pada jalur kritis yang (a) masih dapat dipersingkat dan (b) mempunyai biaya *crash* terkecil per periode.

Aktivitas *crash* ini satu periode.

Jika terdapat lebih dari satu jalur kritis, maka pilih satu aktivitas dari setiap jalur kritis sedemikian hingga (a) setiap aktivitas yang dipilih masih dapat dipersingkat dan (b) biaya *crash* total per periode dari *semua* aktivitas yang dipilih merupakan biaya terkecil. *Crash* setiap aktivitas sebanyak satu periode.

Perhatikan bahwa aktivitas yang sama mungkin terjadi pada lebih dari satu jalur kritis.

4. Perbarui semua waktu aktivitas jika batas waktu yang diinginkan telah tercapai berhenti.

## **2.10. Penelitian Terdahulu**

Metode PERT dan CPM bermanfaat untuk mengendalikan proyek yang besar dan kompleks, namun metode ini juga mempunyai keterbatasan, salah satunya aktivitas proyek harus didefinisikan dengan jelas dan hubungannya harus bebas serta stabil. Pelaksana proyek bisa memahami status aktivitas, mengetahui aktivitas yang kritis dan aktivitas yang mempunyai *slack* serta bisa melakukan *crash* yang paling baik.

Penelitian ini merujuk pada hasil penelitian terdahulu yang menerapkan metode PERT dan CPM. Menurut Li *et al.* (2012) pada contoh kasus proyek dengan pendekatan AON efisien untuk memecahkan masalah *project crashing*. Penyelesaian proyek dengan waktu normal 21 hari, dengan melakukan *project*

*crashing* waktu proyek menjadi 17 hari dan total *crash cost* \$250. Haga dan Marold (2005) juga berkesimpulan bahwa Metode PERT yang diusulkan untuk monitoring dan kontrol secara signifikan mengurangi total (*crash + over-run*) biaya rata-rata untuk proyek yang dikerjakan.

Beberapa hasil penelitian terdahulu menyimpulkan bahwa metode PERT dan CPM sangat membantu dalam penyelesaian suatu proyek. Menurut Adedeji dan Bello (2011), analisis jalur kritis cocok untuk formulasi, penjadwalan, dan mengelola berbagai tonggak atau kegiatan disemua pekerjaan konstruksi, karena menyediakan jadwal yang dibangun secara empiris. CPM memberikan gambaran visual melalui pengembangan model jaringan yang menampilkan bagaimana semua fungsi perencanaan mengikat bersama. Yair *et al.* (2008) berkesimpulan bahwa PERT membantu untuk meminimalkan anggaran proyek dan durasi jalur kritis. Kumanan dan Chetty (2006), pada studi kasus pada Industri Rekayasa dalam proyek R&D memiliki 20 aktivitas, dan 12 minggu waktu penyelesaian. Setelah menerapkan metode PERT dan CPM, penyalasain proyek cukup dengan waktu 8 minggu. Sedangkan menurut Bandyopadhyay (2002), penggunaan CPM dan PERT untuk pendaftaran atau pelaksanaan QS-9000 di Metro City Auto Part telah sukses besar. CPM/PERT memberikan jaringan yang efektif dari rencana, membantu mengidentifikasi dan mempercepat kegiatan kritis, dan memperkirakan sumber daya berharga untuk setiap kegiatan tepat pada waktunya. Menurut Lu dan AbouRizk (2000), CPM/PERT terbukti metode yang sederhana dan kuat. Memberikan kemudahan manajemen proyek untuk menilai skenario alternatif dengan mengubah estimasi durasi.

Dalam penelitian lainnya, penerapan metode PERT dan CPM belum maksimal dan sulit diterapkan untuk penyelesaian proyek tertentu. Menurut Mukherjee dan Basu (2011), dalam contoh ilustrasi numerik metode PERT dan CPM, belum dapat menghitung total waktu penyelesaian interval dan jalur kritis dikarenakan beberapa faktor yang tak terkendali. Lee dan Arditi (2006), membandingkan metode PERT dan DES, berkesimpulan bahwa PERT konservatif secara sistematis meremehkan kemungkinan penyelesaian proyek dalam waktu tertentu, DES memungkinkan pengguna untuk mencapai hasil yang lebih realistis. Selain itu, dalam penelitian Ahuja dan Thiruvengadam (2004), berkesimpulan bahwa penjadwalan proyek deterministik untuk proyek-proyek konstruksi sulit karena ketidakpastian dalam proses konstruksi. Optimasi waktu-biaya, komponen integral dari penjadwalan proyek, memerlukan analisis berbagai kombinasi waktu-biaya. Ringkasnya, penelitian terdahulu terdapat pada Tabel 2.3 yaitu:

Tabel 2.3 Ringkasan Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Teknik Analisis	Hasil Penelitian
Li, Shoa, dan Zelbst (2012)	Project Crashing Using Excel Solver: A Simple AON Network Approach	AON Network Approach	Pendekatan AON efisien untuk memecahkan masalah <i>project crashing</i> . Menggunakan konsep jalur kritis yang konvensional untuk menentukan waktu penyelesaian proyek dan untuk menentukan struktur jaringan di Excel. Pada contoh kasus, proyek memiliki waktu normal 21

			hari, dengan melakukan <i>project crashing</i> waktu proyek menjadi 17 hari dan total <i>crash cost</i> \$250.
Adedeji dan Bello (2011)	Construction Procedure of A Straw Bale Walled Building- A Review	CPM	Analisis jalur kritis cocok untuk formulasi, penjadwalan, dan mengelola berbagai tonggak atau kegiatan disemua pekerjaan konstruksi, karena menyediakan jadwal yang dibangun secara empiris. CPM memberikan gambaran visual melalui pengembangan model jaringan yang menampilkan bagaimana semua fungsi perencanaan mengikat bersama.
Muhkerjee dan Basu (2011)	Solution of Interval PERT/CPM Network Problems by A Simplified Tabular Method	PERT/CPM, tabular method	<i>A numerical example illustrates the method. Tabular method</i> menghitung dengan cepat dan mudah untuk jalur kritis dan durasi aktivitas total interval tanpa komputasi parameter jaringan lainnya seperti <i>interval total float, interval latest start and finish times</i> . Dengan PERT/CPM Total waktu penyelesaian interval dan jalur kritis belum dapat dihitung karena beberapa faktor yang tak terkendali.
Yair et al (2008)	Time-Cost Optimization Model For Deterministic Network Projects	PERT-Cost Project	PERT membantu untuk meminimalkan anggaran proyek dan durasi jalur kritis.
Kumanan dan	Estimating	PERT,	Studi Kasus pada Industri

Chetty (2006)	Product Development Cycle Time Using Petri Nets	CPM, Petri nets (PNs)	Rekayasa dalam proyek R&D memiliki 20 aktivitas, dan 12 minggu waktu penyelesaian. Setelah menerapkan metode PERT, CPM penyalasain proyek cukup 8 minggu. <i>Petri nets</i> adalah software berbasis PERT PROMAN yang dikembangkan untuk mengelola proyek yang kompleks. PNs digunakan untuk estimasi realistik.
Lee dan Arditi (2006)	Automated Statistical Analysis in Stochastic Project Scheduling Simulation	CPM, PERT, DES	DES dianggap perbaikan pada PERT, karena meningkatkan akurasi prediksi, sementara tetap mempertahankan efisiensi lingkungan pemodelan CPM. Sementara PERT konservatif secara sistematis meremehkan kemungkinan menyelesaikan proyek dalam waktu tertentu, DES memungkinkan pengguna untuk mencapai hasil yang lebih realistik. Tapi DES tidak selalu menghasilkan jangka waktu proyek yang lebih konservatif dibandingkan PERT.
Haga dan Marold (2005)	Monitoring and Control of PERT Networks	PERT	Metode PERT yang diusulkan untuk monitoring dan kontrol secara signifikan mengurangi total ( <i>crash + over-run</i> ) biaya rata-rata.
Ahuja dan Thiruvengadam (2004)	Project Scheduling And Monitoring: Current Research	CPM/PERT	Penjadwalan proyek deterministik untuk proyek-proyek konstruksi sulit karena ketidakpastian dalam proses konstruksi.

	Status		Optimasi waktu-biaya, komponen integral dari penjadwalan proyek, memerlukan analisis berbagai kombinasi waktu-biaya.
Bandyopadhyay (2002)	The CPM/PERT Project Scheduling Approach to QS-9000 Registration: A Case Study at a United States Auto Parts Campony	CPM/PERT	Penggunaan CPM/PERT untuk pendaftaran/pelaksanaan QS-9000 di Metro City Auto Part telah sukses besar. Pendekatan ini telah memberikan jaringan yang efektif dari rencana, membantu mengidentifikasi dan mempercepat kegiatan kritis, dan memperkirakan sumber daya berharga untuk setiap kegiatan tepat pada waktunya.
Lu dan AbouRizk (2000)	Simplified CPM/PERT Simulation Model	CPM/PERT	Membandingkan model simulasi CPM/PERT dengan dua pendekatan, yaitu <i>discrete event modeling approach</i> dan <i>simplified critical activity identification method</i> yang diterapkan pada sebuah skenario proyek kontraktor. Dimana hasilnya, CPM/PERT terbukti metode yang sederhana dan kuat. Memberikan kemudahan manajemen proyek untuk menilai skenario alternatif dengan mengubah estimasi durasi.