

# **BAB II**

## **LANDASAN TEORI**

---

**“PENGARUH PERCEPATAN WAKTU  
PENYELESAIAN TERHADAP PERUBAHAN BIAYA  
PROYEK DAN PERUBAHAN KEUNTUNGAN  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *CRITICAL  
PATH*”**

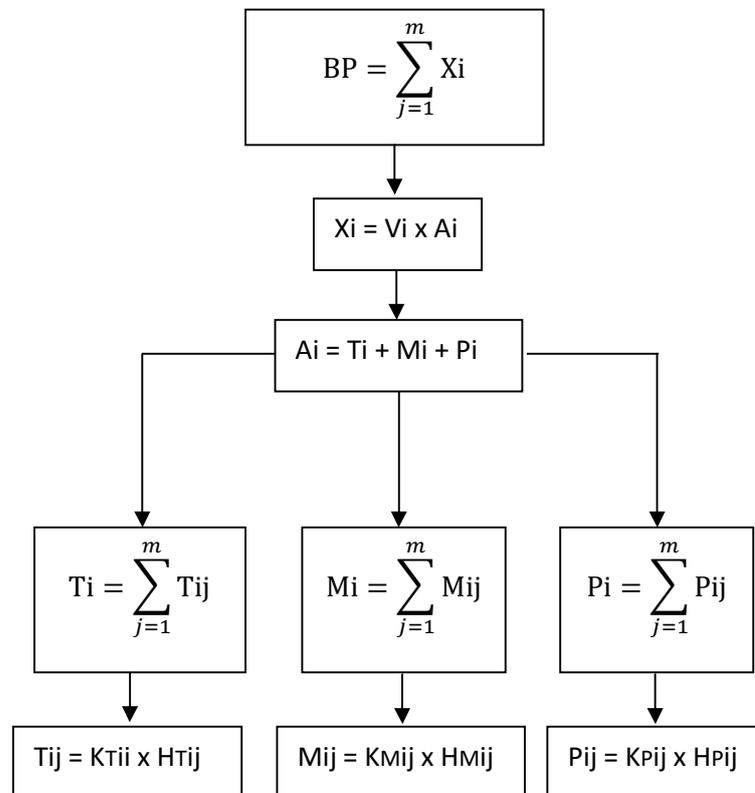


## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Biaya Proyek

Biaya proyek adalah biaya yang digunakan untuk menyelesaikan seluruh kegiatan proyek dan merupakan penjumlahan dari biaya-biaya yang digunakan untuk menyelesaikan seluruh item pekerjaan dan *fee-overhead* serta pajak. Diagram biaya proyek menunjukkan bagaimana biaya-biaya yang ada di dalam biaya proyek saling berhubungan dan mempengaruhi satu sama lain. Biaya proyek dapat diformulasikan sebagai berikut :



**Gambar 2.1 Diagram Biaya Proyek**

Keterangan Simbol :

- BP = Biaya Proyek
- Xi = Biaya Item Pekerjaan ke – i
- Vi = Volume Item Pekerjaan ke – i
- Ai = Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- Ti = Biaya Tenaga Kerja Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- Mi = Biaya Material Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i

- Pi = Biaya Peralatan Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- Tij = Biaya Unsur Tenaga Kerja ke – J Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- Mij = Biaya Unsur Material ke – J Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- Pij = Biaya Unsur Peralatan ke – J Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- Kpij = Koefisien Unsur Peralatan ke – J Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- KTij = Koefisien Unsur Tenaga Kerja ke – J Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- KMij = Koefisien Unsur Material ke – J Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- HTij = Harga Satuan Tenaga Kerja ke – J Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- HPij = Harga Satuan Peralatan ke – J Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- HMij = Harga Satuan Material ke – J Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i

Penjelasan diagram biaya proyek sebagai berikut:

Biaya proyek merupakan biaya yang digunakan untuk menyelesaikan seluruh kegiatan proyek dan merupakan penjumlahan dari biaya-biaya yang digunakan untuk menyelesaikan seluruh item pekerjaan dan fee-overhead serta pajak.

$$BP = \sum_{j=1}^m Xi + O + Tax \dots\dots\dots(2.1)$$

Biaya item pekerjaan adalah biaya yang digunakan untuk menyelesaikan masing-masing biaya item pekerjaan dan diperoleh dari hasil perkalian antara volume dan analisa harga satuan item pekerjaan.

$$Xi = Vi \times Ai \dots\dots\dots(2.2)$$

Kuantitas/volume perkerjaan (Vi) adalah banyaknya satuan pekerjaan yang harus diselesaikan untuk memenuhi seluruh atau sebagian fungsi bangunan.

Analisa harga satuan item pekerjaan merupakan perhitungan biaya tiap-tiap item pekerjaan berdasarkan penjumlahan seluruh biaya sumberdaya yang digunakan untuk satu satuan volume item pekerjaan.

$$Ai = Ti + Mi + Pi \dots\dots\dots(2.3)$$

Biaya tenaga kerja adalah biaya yang digunakan untuk membayar tenaga kerja dan diperoleh dari penjumlahan seluruh biaya unsur tenaga kerja yang digunakan untuk menyelesaikan satu satuan item pekerjaan yang bersangkutan.

$$Ti = \sum_{j=1}^m Tij \dots\dots\dots(2.4)$$

Biaya material adalah biaya yang digunakan untuk pengadaan material dan diperoleh dari penjumlahan seluruh biaya unsur material yang digunakan untuk menyelesaikan satu satuan item pekerjaan yang bersangkutan.

$$M_i = \sum_{j=1}^m M_{ij} \dots\dots\dots(2.5)$$

Biaya peralatan adalah biaya yang digunakan untuk membayar peralatan dan diperoleh dari penjumlahan seluruh biaya unsur peralatan yang digunakan untuk menyelesaikan satu satuan item pekerjaan yang bersangkutan.

$$P_i = \sum_{j=1}^m P_{ij} \dots\dots\dots(2.6)$$

Biaya unsur tenaga kerja adalah biaya yang digunakan untuk membayar unsur tenaga kerja yang bersangkutan dalam menyelesaikan satu satuan item pekerjaan dan diperoleh dari hasil perkalian antara koefisien dan harga satuannya.

$$T_{ij} = K_{Tij} \times H_{Tij} \dots\dots\dots(2.7)$$

Biaya unsur material adalah biaya yang digunakan untuk membayar unsur material yang bersangkutan dalam menyelesaikan satu satuan item pekerjaan dan diperoleh dari hasil perkalian antara koefisien dan harga satuannya.

$$M_{ij} = K_{Mij} \times H_{Mij} \dots\dots\dots(2.8)$$

Biaya unsur material adalah biaya yang digunakan untuk membayar unsur material yang bersangkutan dalam menyelesaikan satu satuan item pekerjaan dan diperoleh dari hasil perkalian antara koefisien dan harga satuannya.

$$P_{ij} = K_{Pij} \times H_{Pij} \dots\dots\dots(2.9)$$

Berdasarkan diagram 2.1 dan penjelasan di atas maka dapat diketahui bahwa yang harus dihitung dan diestimasi dalam biaya proyek adalah volume (V) item pekerjaan, Koefisien (K) dan harga satuan (H) untuk tiap sumberdaya yang digunakan dalam analisa harga satuan item pekerjaan.

**2.2. Volume Item Pekerjaan**

Volume item pekerjaan adalah banyaknya pekerjaan yang harus diselesaikan/dikerjakan untuk memenuhi fungsi atau sebagian fungsi bangunan. Satuan yang digunakan sebagai dasar pengukuran umum adalah m, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, kg, liter dan LS.

Volume item pekerjaan dapat dihitung berdasarkan gambar rencana ataupun kondisi eksisting di lapangan. Pengukuran dimensi dari gambar rencana dapat menggunakan nilai skala atau angka-angka yang tertera pada gambar sedangkan, pengukuran dimensi di lapangan dilakukan dengan mengukur objeknya secara langsung. Dan dengan berdasarkan volume inilah maka di dapat biaya proyek yang mana volume di kalikan dengan harga satuan masing-masing item pekerjaan.

**2.3. Koefisien atau Kuantitas**

Kuantitas atau koefisien adalah banyaknya sumberdaya yang digunakan untuk menyelesaikan satu satuan item pekerjaan.

**2.3.1. Koefisien atau Kuantitas Tenaga Kerja**

Koefisien tenaga kerja adalah jumlah penggunaan tenaga kerja untuk menyelesaikan satu satuan item pekerjaan. Untuk menyelesaikan satu satuan item pekerjaan ini diperlukan sekelompok tenaga kerja yang terdiri dari beberapa kualifikasi tenaga kerja misalnya mandor, pekerja, tukang, dan kepala tukang. Tiap-tiap kualifikasi tenaga kerja memberikan kontribusinya bagi penyelesaian tersebut. Walaupun kontribusinya kecil, koefisien harus diperhitungkan karena upahnya harus dibayar. Koefisien tenaga kerja dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$Ktk = \frac{1}{Q} \times Ntk \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

- Ktk = Koefisien Tenaga Kerja (jam, hari)
- Q = Produksi (m<sup>2</sup>/jam, m<sup>3</sup>/jam)
- Ntk = Jumlah Tenaga Kerja (orang)

**2.3.2. Koefisien atau Kuantitas Peralatan**

Koefisien peralatan adalah jumlah penggunaan waktu kerja peralatan untuk menyelesaikan satu satuan item pekerjaan. Koefisien peralatan dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$Kp = \frac{1}{Q} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

- Kp = Koefisien Peralatan (jam)
- Q = Produksi (m<sup>2</sup>/jam, m<sup>3</sup>/jam)

### 2.3.3. Koefisien atau Kuantitas Material

Koefisien material adalah banyaknya material yang digunakan untuk menyelesaikan satu satuan item pekerjaan. Koefisien material dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :  $Km = Kr + fa$  .....(2.12)

Keterangan :

- Km = Koefisien material
- Kr = Kebutuhan Rill Per-Satuan Item Pekerjaan
- Fa = Faktor yang Hilang dalam Analisa

### 2.4. Produksi

Produksi adalah banyaknya pekerjaan yang dapat dilakukan dalam satu satuan waktu tertentu, baik oleh kelompok tenaga kerja atau peralatan atau kedua-duanya secara bersamaan.

#### 2.4.1. Produksi Tenaga Kerja

Produksi tenaga kerja adalah banyaknya pekerjaan yang diselesaikan oleh tenaga kerja dalam satu satuan waktu tertentu.

$$Q_{TK} = \frac{1}{K_{tk}} \times N_{tk} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

- Q<sub>tk</sub> = Produksi Tenaga Kerja (m<sup>2</sup>/jam, m<sup>3</sup>/jam)
- K<sub>tk</sub> = Koefisien Tenaga Kerja (jam, hari)
- N<sub>tk</sub> = Jumlah Tenaga Kerja (orang)

#### 2.4.2. Produksi Peralatan

Produksi alat adalah banyaknya pekerjaan yang dapat diselesaikan oleh alat dalam satu satuan waktu tertentu.

$$Q = \frac{1}{K_p} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

- Q = Produksi (m<sup>2</sup>/jam, m<sup>3</sup>/jam)
- K<sub>p</sub> = Koefisien Peralatan (jam, hari)

Berdasarkan rumus 2.14 tersebut digunakan apabila koefisien sudah ada pada data Rencana Anggaran Biaya (RAB). Jika koefisien peralatan tidak diketahui maka produksi dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q = q \times \frac{1}{ws} \times E \times f \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

- Q = Produksi Alat dalam Satuan Jam (m<sup>2</sup>/jam, m<sup>3</sup>/jam)
- q = Kapasitas Alat ((m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>)
- Ws = Waktu Siklus (menit)
- E = Efisiensi
- F = Faktor Konversi Volume Tanah Yaitu : untuk Tanah Lepas f= 1,0 dan untuk Tanah Asli f= 0,8.

**2.4.3. Produksi Minimum (Q<sub>M</sub>)**

Produksi minimum adalah produksi terkecil dari kelompok tenaga kerja maupun peralatan dalam menyelesaikan pekerjaan dalam satu satuan waktu (jam/hari). Produksi minimum sangat menentukan besarnya kebutuhan material harian dan waktu penyelesaian masing-masing pekerjaan.

**2.5. Jumlah Tenaga Kerja dan Peralatan**

Jumlah tenaga Kerja adalah banyaknya tenaga kerja yang bekerja dalam suatu item pekerjaan, yang merupakan perbandingan angka koefisien masing-masing tenaga kerja.

$$Ntk = \frac{Ktk}{Km} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

- Ntk = Jumlah Tenaga Kerja
- Ktk = Koefisien Tenaga Kerja
- Km = Koefisien Mandor

Jumlah alat adalah banyaknya peralatan yang digunakan dalam satu item pekerjaan, yang merupakan perbandingan antara produksi minimum dari item pekerjaan dengan produksi alat yang ada pada item pekerjaan yang sama.

$$N_{alat} = \frac{Q_{min}}{Q_{alat}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

- N<sub>alat</sub> = Jumlah Alat
- Q<sub>min</sub> = Produksi Minimum (m<sup>3</sup>/jam)
- Q<sub>alat</sub> = Produksi Alat

**2.6. Waktu Penyelesaian Pekerjaan**

Waktu penyelesaian pekerjaan adalah jumlah waktu yang diperlukan dalam menyelesaikan satu satuan waktu pekerjaan atau waktu yang dibutuhkan oleh sekelompok tenaga kerja dan peralatan untuk menyelesaikan volume pekerjaan dari satu item pekerjaan.

Satuan waktu penyelesaian pekerjaan adalah hari, minggu dan bulan.

$$WP = \frac{V}{Q_m} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

- WP = Waktu Penyelesaian
- V = Volume Pekerjaan
- Q<sub>m</sub> = Produksi Minimum

**2.7. Analisa Harga Satuan**

Analisa harga satuan item pekerjaan merupakan perhitungan biaya tiap-tiap item pekerjaan berdasarkan penjumlahan seluruh biaya sumberdaya yang digunakan untuk satu satuan volume item pekerjaan. Satuan yang dipergunakan dalam menentukan analisa harga satuan pekerjaan adalah satuan untuk tiap kuantitas item pekerjaan (Rp/m<sup>3</sup>, Rp/m<sup>2</sup>, Rp/ltr, dan lain sebagainya)

$$A_i = T_i + M_i + P_i \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

- A<sub>i</sub> = Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- T<sub>i</sub> = Biaya Tenaga Kerja Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- M<sub>i</sub> = Biaya Material Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i
- P<sub>i</sub> = Biaya Peralatan Analisa Harga Satuan Item Pekerjaan ke – i

## **2.8. Metode *Critical Path* (CPM)**

Metode *critical path* merupakan salah satu model yang digunakan dalam penyelenggaraan proyek yang produknya berupa informasi mengenai kegiatan-kegiatan yang ada dalam *network* diagram proyek yang bersangkutan. Informasi tersebut mengenai sumber daya yang digunakan oleh kegiatan yang bersangkutan dan informasi mengenai jadwal pelaksanaan (Ali, 1992). Pengertian tersebut menyimpulkan bahwa metode CPM ini adalah suatu perencanaan dan pengendalian proyek yang menggambarkan hubungan ketergantungan antara setiap pekerjaan yang digambarkan dalam *network* diagram. Atau dengan kata lain CPM merupakan analisa jaringan kerja yang berusaha mengoptimalkan biaya total proyek melalui pengurangan atau percepatan waktu penyelesaian total proyek yang bersangkutan. Metode ini merupakan teknik perencanaan, penjadwalan serta pengendalian suatu proyek yang lebih menekankan pada biaya proyek.

Dalam metode CPM juga akan mendapatkan lintasan kritis yaitu lintasan yang menghubungkan kegiatan-kegiatan kritis, dimana kegiatan tersebut yang tidak boleh terlambat atau ditunda pelaksanaannya karena keterlambatan kegiatan kritis akan menyebabkan keterlambatan pada waktu total penyelesaian proyek.

Adapun keunggulan dari Metode *Critical Path* (CPM) antara lain:

1. Kegiatan pada jalur kritis akan menentukan jangka waktu pelaksanaan proyek.
2. Dengan *Network* Diagram akan menunjukkan keterkaitan hubungan antar kegiatan sehingga tiap-tiap unit kerja mengerti keikutsertaannya dalam penyelesaian proyek.
3. Waktu mulai dan akhir pekerjaan dapat diketahui secara jelas sehingga dapat mempermudah proses pengendalian lebih efektif.
4. Dengan *network* diagram dapat dibuat beberapa alternatif diagram yang mengaitkan dengan tingkat sumber daya dan perbedaan waktu penyelesaian
5. Dengan mempelajari hubungan durasi dan biaya maka waktu pelaksanaan efektif dapat ditentukan.

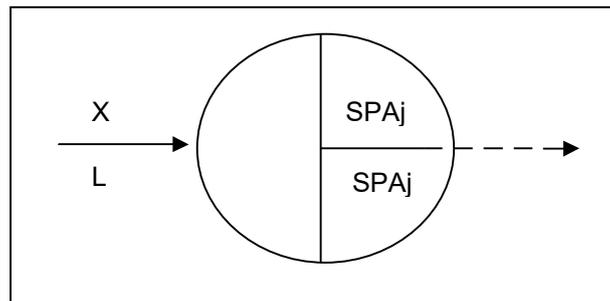
### **2.8.1. *Network* Diagram**

*Network* diagram adalah visualisasi proyek berdasarkan *Network Planning*. *Network* diagram merupakan jaringan kerja yang berisi lintasan-lintasan kegiatan, dan urutan-urutan peristiwa yang ada selama penyelenggaraan proyek. Dengan *network* diagram, dapat diketahui hubungan antara kegiatan, sehingga apabila satu kegiatan mengalami keterlambatan, dapat diketahui dengan cepat pengaruhnya pada kegiatan

lain. *Network* diagram ini juga dapat memperlihatkan mana saja yang kritis, sehingga dapat ditentukan skala prioritas penanganan proyek.

### 2.8.2. Simbol-Simbol yang digunakan dalam Network Diagram

Adapun simbol-simbol yang digunakan dalam penyusunan *network* yaitu anak panah, lingkaran dan anak panah putus-putus. Simbol-simbol tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 2.2 Simbol-Simbol dalam Network Diagram**

Keterangan gambar :

a. Anak panah

Anak panah melambangkan kegiatan. Nama kegiatan (X), dicantumkan di atas sedangkan, lama kegiatan (L) dicantumkan di bawah. Ekor anak panah melambangkan awal kegiatan sedangkan, kepala anak panah melambangkan akhir kegiatan. Satuan waktu yang digunakan secara umum adalah hari.

b. Lingkaran

Sebuah lingkaran melambangkan sebuah peristiwa dan sebaliknya. Nomor peristiwa di lambangkan dengan "j". SPAj, merupakan saat paling awal peristiwa j, mungkin terjadi. SPLj, merupakan saat paling lambat peristiwa j, mungkin terjadi.

c. Anak panah putus-putus

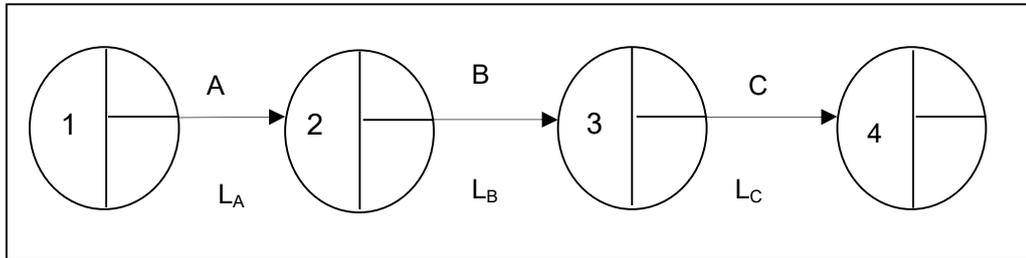
Anak panah putus-putus melambangkan hubungan antara dua peristiwa dan merupakan kegiatan semu (*dummy*) yang tidak membutuhkan waktu dan sumberdaya.

### 2.8.3. Hubungan antar Kegiatan

Untuk dasar menggambar sebuah *network* diagram, maka perlu diketahui hubungan antar kegiatan yang mungkin ada dalam suatu proyek. Hubungan antar kegiatan tersebut bisa dikategorikan menjadi dua yaitu hubungan seri dan hubungan paralel.

a. Hubungan seri

Antara dua kegiatan terdapat hubungan seri, bila sebuah kegiatan tidak dapat mulai dikerjakan jika kegiatan lainnya belum selesai dikerjakan.

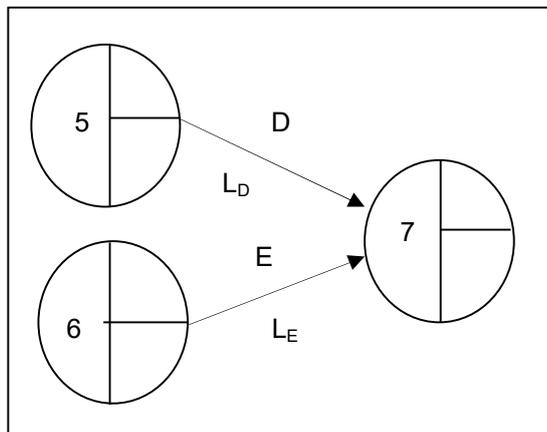


**Gambar 2.3 Hubungan Seri Kegiatan**

Dari gambar 2.3 di atas dapat dijelaskan bahwa kegiatan C tidak bisa mulai, bila peristiwa 3 belum terjadi, dan kegiatan B belum selesai. Bila kegiatan B selesai, maka peristiwa 3 terjadi, dan kegiatan C bisa dimulai. Dengan demikian kegiatan B dan C adalah seri langsung. Dan juga kegiatan C tidak bisa mulai, bila kegiatan A belum selesai. Bila kegiatan A selesai, belum tentu kegiatan C bisa dimulai. Dengan demikian maka kegiatan A dan C adalah seri tidak langsung.

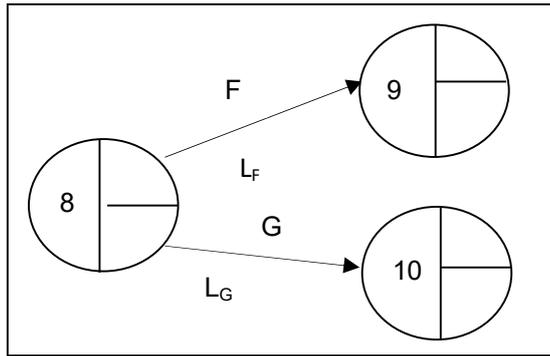
b. Hubungan Paralel

Antara dua kegiatan terdapat hubungan paralel, bila untuk memulai atau mengakhiri sebuah kegiatan, tidak perlu menunggu kegiatan lainnya mulai atau selesai.



**Gambar 2.4 Hubungan Paralel Kegiatan, Memiliki Satu Peristiwa Akhir Bersama**

Dari gambar 2.3 dapat dijelaskan bahwa peristiwa 7 adalah peristiwa terakhir bersama bagi kegiatan D dan E. Syarat terjadinya peristiwa 7 adalah, bila kegiatan D dan E selesai, baik secara bersamaan maupun tidak. Jadi untuk memulai atau menyelesaikan kegiatan D tidak perlu menunggu kegiatan E mulai atau selesai, dan sebaliknya. Dengan demikian, maka kegiatan D dan E adalah paralel.



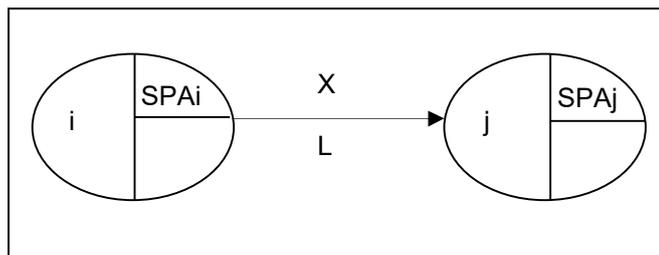
**Gambar 2.5 Hubungan Paralel Kegiatan, Memiliki Satu Peristiwa Awal Bersama**

Dari gambar 2.4 dapat dijelaskan bahwa peristiwa 8 adalah peristiwa awal bersama bagi F dan G. Syarat agar kegiatan F dan G bisa dimulai adalah terjadinya peristiwa 8. Jadi untuk memulai kegiatan F atau mengakhirinya, tidak perlu menunggu kegiatan G selesai atau mulai, dan sebaliknya. Dengan demikian, maka kegiatan F dan G adalah paralel.

#### 2.8.4. Analisa Waktu dalam *Network Diagram*

- a. Menghitung saat paling awal (SPA)

Saat Paling Awal (SPA) adalah saat awal suatu peristiwa mungkin terjadi dan tidak mungkin terjadi sebelumnya. Tujuan ditetapkannya saat paling awal suatu peristiwa adalah untuk mengetahui saat paling awal mulai melaksanakan kegiatan-kegiatan yang keluar dari peristiwa yang bersangkutan. Saat paling awal sebuah peristiwa



**Gambar 2.6 Saat Paling Awal (SPA)**

Keterangan :

- X = Kegiatan
- L = Lama Kegiatan X
- i = Peristiwa Kegiatan X
- jj = Peristiwa Akhir Kegiatan
- SPAi = Saat Paling Awal Peristiwa Awal
- SPAj = Saat Paling Awal Peristiwa Akhir

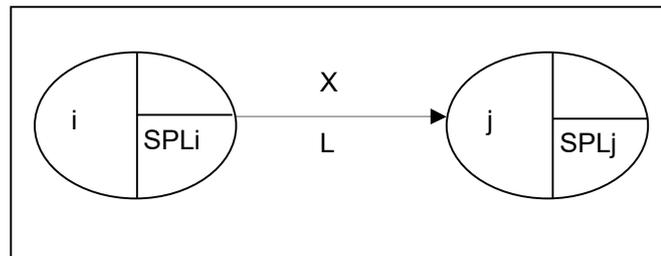
**Tabel 2.1 Saat Paling Awal**

Rumus	Pengunaan Rumus
$SPA_j = SPA_i + L$	Untuk sebuah kegiatan menuju ke sebuah peristiwa
$SPA_j = (SPA_{in} + L_n)$ Maks	Untuk beberapa kegiatan menuju ke sebuah peristiwa

Saat paling awal peristiwa (SPA) ditetapkan 0. Perhitungan selanjutnya dilakukan secara maju.

b. Menghitung saat Paling Lambat (SPL)

Saat Paling Lambat (SPL) adalah waktu terakhir (paling lambat) suatu peristiwa dapat diselesaikan. Manfaat ditetapkan saat paling lambat setiap kegiatan dalam jaringan kerja adalah untuk mengetahui paling lambat selesainya sebuah kegiatan yang menuju peristiwa yang bersangkutan agar proyek masih dapat selesai pada waktu yang direncanakan.



**Gambar 2.7 Saat Paling Lambat (SPL)**

Keterangan :

- X = Kegiatan
- L = Lama Kegiatan X
- i = Peristiwa Kegiatan X
- j = Peristiwa Akhir Kegiatan
- SPL<sub>i</sub> = Saat Paling Lambat Peristiwa Awal
- SPL<sub>j</sub> = Saat Paling Lambat Peristiwa Akhir

**Tabel 2.2 Saat Paling Lambat**

Rumus	Pengunaan Rumus
$SPL_i = SPL_j - L$	Untuk sebuah kegiatan menuju ke sebuah peristiwa
$SPL_i = (SPL_{jn} - L_n)$ Maks	Untuk beberapa kegiatan menuju ke sebuah peristiwa

Saat paling lambat peristiwa paling akhir adalah sama dengan saat paling awalnya. Perhitungan selanjutnya dilakukan secara mundur. Sebagai kontrol, maka SPL peristiwa terawal adalah sama dengan SPA-nya yaitu 0.

c. Umur Proyek

Umur proyek adalah jangka waktu pelaksanaan sebuah kegiatan dari peristiwa awal sampai peristiwa paling akhir. Umunya dalam *network* diagram saat paling awal

dan peristiwa terawal sama dengan nol. Jadi umur proyek akan sama dengan SPA dan peristiwa paling akhir. Sedangkan besarnya SPA peristiwa paling akhir sama dengan SPL peristiwa paling akhir.

### 2.8.5. Peristiwa Kritis, Pekerjaan Kritis dan Jalur Kritis

a. Peristiwa Kritis

Peristiwa kritis adalah peristiwa yang tidak mempunyai tenggang waktu kegiatan, atau peristiwa yang mempunyai SPA sama dengan SPL-nya.

b. Pekerjaan Kritis

Pekerjaan kritis adalah kegiatan atau pekerjaan yang paling sensitif terhadap keterlambatan. Suatu kegiatan di sebut kritis bila terletak diantara dua peristiwa kritis. Diantara dua peristiwa kritis belum tentu terdapat kegiatan kritis, oleh sebab itu ciri dari kegiatan kritis adalah sebagai berikut :

$$SPA_i = SPL_i, \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

$SPA_i$  = Saat Paling Awal Peristiwa Awal

$SPL_i$  = Saat Paling Awal Peristiwa Awal

$$SPA_j = SPL_j, \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

$SPA_j$  = Saat Paling Awal Peristiwa Akhir

$SPL_j$  = Saat Paling Awal Peristiwa Akhir

$$SPA_i + L = SPA_j, \text{ atau } SPL_i + L = SPL_j \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

$SPA_i$  = Saat Paling Awal Peristiwa Awal

$L$  = Lama Kegiatan

$SPA_j$  = Saat Paling Awal Peristiwa Akhir

$SPL_i$  = Saat Paling Lambat Peristiwa Awal

$SPL_j$  = Saat Paling Lambat Peristiwa Akhir

c. Jalur Kritis

Jalur kritis adalah jalur yang terdiri dari kegiatan-kegiatan kritis, peristiwa-peristiwa kritis dan *dummy* (jika ada), ketentuan sebuah jalur kritis yaitu umur jalur kritis sama dengan umur proyek dan jalur kritis adalah jalur yang paling lama masa pelaksanaannya dari semua jalur. Penentuan jalur kritis diperlukan untuk menentukan pekerjaan mana yang akan dipersingkat durasinya dengan peningkatan biaya terkecil dari biaya per unit waktu. Jalur kritis menunjukkan pekerjaan-pekerjaan kritis di dalam

proyek. Pemilihan aktivitas kritis tergantung pada identifikasi waktu normal dan *crash time* (waktu terpendek dari suatu aktivitas yang realistis dapat diselesaikan).

### 2.8.6. Macam-Macam Tegangan Waktu

Tenggang waktu kegiatan adalah jangka waktu yang menyatakan ukuran batas keterlambatan kegiatan. Dengan ukuran ini dapat diketahui pengaruh keterlambatan terhadap penyelenggaraan proyek dan terhadap biaya sumberdaya. Macam – macam tenggang waktu kegiatan :

a. *Total Float* (TF)

Jangka waktu antara saat paling lambat peristiwa akhir (SPLj) kegiatan yang bersangkutan, dengan saat selesainya kegiatan yang bersangkutan, bila kegiatan tersebut dimulai pada saat paling awal peristiwa awalnya (SPAi).

$$TF = SPLj - L - SPAi \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

- TF = *Total Float*
- SPLj = Saat Paling Lambat Peristiwa Akhir
- L = Lama Kegiatan X
- SPAi = Saat Paling Awal Peristiwa Awal

b. *Free Float* (FF)

Jangka waktu antara saat paling lambat peristiwa awal (SPAj) peristiwa akhir kegiatan yang bersangkutan, dengan saat selesainya kegiatan yang bersangkutan, bila kegiatan tersebut dimulai pada saat paling awal peristiwa awalnya (SPAi).

$$FF = SPAj - L - SPAi \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

- FF = *Free Float*
- SPAj = Saat Paling Awal Peristiwa Akhir
- L = Lama Kegiatan X
- SPAi = Saat Paling Awal Peristiwa Awal

c. *Independent Float* (IF)

Jangka waktu antara saat paling lambat peristiwa awal (SPAj) peristiwa akhir kegiatan yang bersangkutan, dengan saat selesainya kegiatan yang bersangkutan, bila kegiatan tersebut dimulai pada saat paling lambat peristiwa awalnya (SPLi).

$$IF = SPAj - L - SPLi \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

- IF = *Independent Float*

- SPAj = Saat Paling Awal Peristiwa Akhir
- L = Lama Kegiatan X
- SPLi = Saat Paling Lambat Peristiwa Awal

### 2.9. Mempercepat Waktu Proyek (*Crashing Project*)

Dalam suatu proyek yang dikehendaki selesai dalam jangka waktu yang telah ditentukan, dapat dilakukan percepatan durasi kegiatan dengan konsekuensi akan terjadi peningkatan biaya. Percepatan durasi pelaksanaan proyek dengan biaya serendah mungkin dinamakan *Crashing Project*. Pada CPM, untuk mempercepat waktu pengerjaan proyek maka diadakan percepatan durasi kegiatan pada jalur-jalur kritis, dengan syarat bahwa pengurangan waktu tidak akan menimbulkan jalur kritis baru. Salah satu cara untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek diantaranya dengan menambah waktu kerja dengan tenaga yang tersedia (kerja lembur).

Waktu kerja normal adalah 7 jam (dimulai pukul 08.00 dan selesai pukul 16.00 dengan satu jam istirahat), jam lembur dilakukan setelah jam kerja normal selesai. Dalam penelitian ini penambahan jam lembur bervariasi yaitu sebanyak 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam.

Adapun beberapa parameter yang harus dicari untuk mengetahui percepatan waktu proyek adalah sebagai berikut:

1. Produktivitas Harian = Volume/Durasi normal .....(2.26)
2. Produktivitas Tiap Jam = Produktivitas harian/jam kerja efektif (7 jam) .....(2.27)

### 2.10. Biaya Tambahan Tenaga Kerja (*Crash Cost*)

Dengan adanya penambahan waktu kerja, maka biaya untuk tenaga kerja akan bertambah dari biaya normal tenaga kerja. Berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor KEP. 102/MEN/VI/2004 pasal 11 ayat 1.a bahwa upah penambahan kerja bervariasi, untuk penambahan waktu kerja satu jam pertama, pekerja mendapatkan tambahan upah 1,5 kali upah perjam waktu normal, dan untuk penambahan waktu kerja berikutnya pekerja mendapatkan 2 kali upah perjam waktu normal.

Adapun perhitungan biaya tambahan pekerja dapat dirumuskan sebagai berikut, yaitu:

1. Normal ongkos pekerja perhari = Produktivitas harian X harga satuan upah pekerja .....(2.28)
2. Normal ongkos pekerja perjam = Produktivitas per jam X harga satuan upah

- pekerjaan .....(2.29)
3. Biaya Lembur pekerja = 1,5 X upah sejam normal untuk jam lembur pertama + 2 X n X upah sejam normal untuk jam lembur berikutnya .....(2.30)
- Dimana n = jumlah penambahan jam kerja
4. *Crash Cost* pekerja perhari = (7 jam X normal cost pekerja + n X biaya lembur Perjam) .....(2.31)

### 2.11. Keuntungan atau Laba

Keuntungan atau laba adalah selisih antara pendapatan dan pengeluaran dari suatu kegiatan atau proyek yang dikerjakan. Untuk menghitung keuntungan dan laba menggunakan persamaan berikut :

$$L = 10\% \times BP \text{ .....(2.32)}$$

$$L^* = (BP - BP^*) + L \text{ .....(2.33)}$$

Keterangan:

BP = Biaya Proyek awal

BP\* = Biaya Proyek Perubahan

L = Keuntungan Awal

L\* = Keuntungan Perubahan