

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penjadwalan Proyek

Suatu proyek yang akan dilaksanakan harus terjadwal terlebih dahulu, sehingga kita dapat mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek tersebut, termasuk kegiatan-kegiatan yang ada di dalamnya. Untuk itu pengelola proyek selalu ingin mencari metode yang dapat meningkatkan kualitas perencanaan dan pengendalian untuk menghadapi jumlah kegiatan dan kompleksitas proyek yang cenderung bertambah.

Penjadwalan merupakan tahapan menerjemahkan suatu perencanaan ke dalam suatu diagram-diagram yang sesuai dengan skala waktu. Penjadwalan menentukan kapan kegiatan-kegiatan akan dimulai, ditunda dan diselesaikan, sehingga pengendalian sumber-sumber daya akan disesuaikan waktunya menurut kebutuhan yang telah ditentukan. Dalam perencanaan proyek, penjadwalan adalah sangat penting dalam memproyeksi keperluan tenaga kerja, material, dan peralatan.

Fungsi penjadwalan dalam suatu proyek konstruksi antara lain :

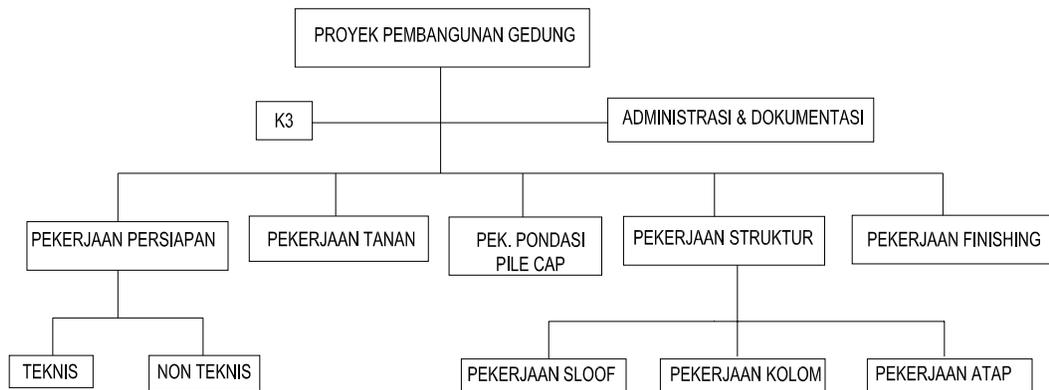
- Menentukan durasi total yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek
- Menentukan waktu pelaksanaan dari masing-masing kegiatan
- Menentukan kegiatan-kegiatan yang tidak boleh terlambat atau tertunda pelaksanaannya dan jalur kritis
- Menentukan kemajuan pelaksanaan proyek
- Sebagai dasar perhitungan *cashflow* proyek
- Sebagai dasar bagi penjadwalan sumberdaya proyek lain, seperti tenaga, material dan peralatan
- Sebagai alat pengendalian proyek

(Modul Ajar Manajemen Konstruksi I, 2002)

2.2. Identifikasi Kelompok Kegiatan

Dalam hal ini menggunakan metode *Work Breakdown Structure* (WBS), yaitu pengelompokan (*breakdown*) kegiatan atau pekerjaan suatu proyek menjadi berbagai kelompok kegiatan atau pekerjaan yang lebih rinci dan disusun dalam bentuk struktur hirarki kegiatan.

Contoh WBS pada proyek gedung :



Gambar 2.1 WBS Proyek Gedung

2.3. Critical Path Method (CPM)

Critical Path Method (CPM) banyak digunakan di kalangan industri atau proyek-proyek konstruksi. CPM adalah suatu metode dengan menggunakan diagram anak panah untuk menentukan lintasan kritis, sehingga disebut juga metode lintasan kritis. Lintasan kritis ini memiliki rangkaian komponen-komponen kegiatan, dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek yang tercepat.

Makna lintasan kritis ini penting bagi pelaksa proyek, karena pada jalur ini terletak kegiatan-kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat, akan mengakibatkan keterlambatan proyek secara keseluruhan. Kadang-kadang dijumpai lebih dari satu jalur kritis dalam jaringan kerja.

2.3.1. Prosedur Perhitungan

2.3.1.1. Hitungan Maju

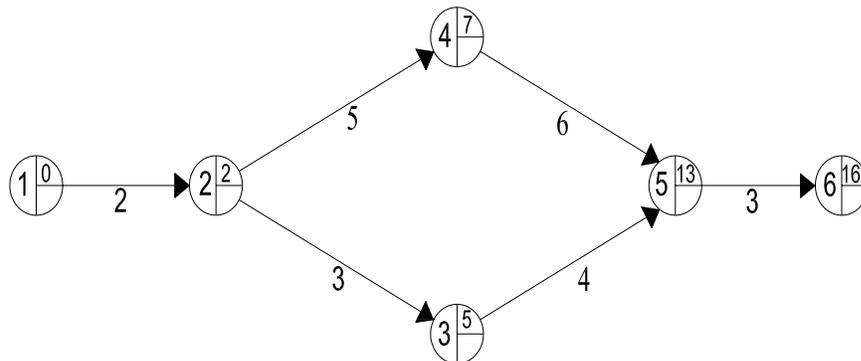
Dalam mengidentifikasi jalur kritis dipakai suatu cara yang disebut hitungan maju, perhitungan maju ini untuk menghitung EET (*Earliest Event Time*). EET itu sendiri adalah peristiwa paling awal atau waktu yang cepat dari event.

$$EET = (EET + d) \max$$

Prosedur menghitung EET :

- Tentukan nomor dari peristiwa dari kiri ke kanan, mulai dari peristiwa nomor 1 berturut-turut sampai nomor maksimal.
- Tentukan nilai EET untuk peristiwa nomor 1 (paling kiri) sama dengan nol.
- Dapat dihitung nilai EET berikutnya dengan rumus diatas.

Contoh :



Gambar 2.2 Perhitungan EET

Peristiwa 1 menandai dimulainya proyek, berarti waktu paling awal peristiwa terjadi adalah 0 atau $EET_1 = 0$, selanjutnya untuk hitungan maju adalah seperti berikut ini. Waktu selesai paling awal suatu kegiatan adalah sama dengan waktu mulai paling awal, ditambah kurun waktu kegiatan yang bersangkutan. Jadi untuk kegiatan 1-2

$$EET_2 = EET_1 + D = 0 + 2 = 2$$

Untuk kegiatan 2-3

$$EET_3 = EET_2 + D = 2 + 3 = 5$$

Untuk kegiatan 2-4

$$EET_4 = EET_2 + D = 2 + 5 = 7$$

Untuk kegiatan 3-5

$$EET_5 = EET_3 + D = 5 + 4 = 9$$

Untuk kegiatan 4-5

$$EET_6 = EET_4 + D = 7 + 6 = 13$$

Kemudian pada kegiatan 5-6 dimana sebelumnya didahului oleh 2 kegiatan, yaitu kegiatan 3-5 & 4-5, dimana dasar jaringan kerja menyatakan bahwa suatu kegiatan baru dapat dimulai bila kegiatannya yang mendahuluinya telah selesai, maka untuk waktu mulai paling awal kegiatan 5-6 adalah sama dengan waktu selesai paling awal yang terbesar dari kegiatan sebelumnya, yaitu 13.

Jadi untuk kegiatan 5-6

$$EET_7 = EET_4 + D = 13 + 3 = 16$$

Tabel 2.1 Hasil perhitungan EET

Kegiatan		Kurun waktu	Paling awal	
i	j		Mulai	selesai
1	2	2	0	2
2	3	3	2	5
2	4	5	2	7
3	5	4	5	9
4	5	6	7	13
5	6	3	13	16

2.3.1.2. Hitung Mundur

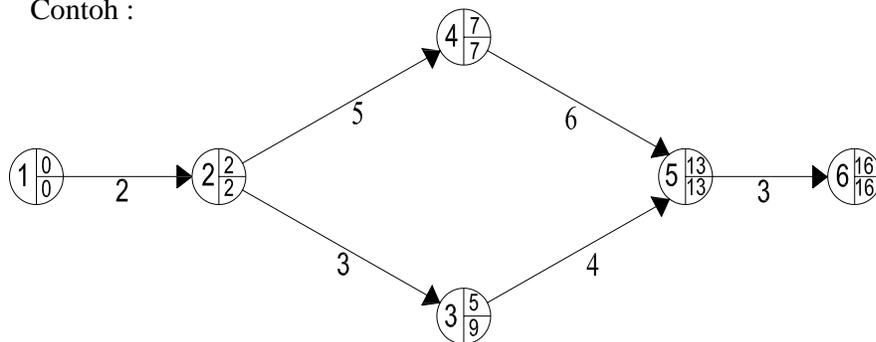
Perhitungan mundur dimaksudkan untuk mengetahui waktu paling akhir dapat memulai dan mengakhiri masing-masing kegiatan, tanpa menunda waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan, yang telah dihasilkan dari hitungan maju. Perhitungan mundur ini untuk menghitung LET (*Latest Event Time*). LET adalah peristiwa paling akhir atau waktu paling lambat dari event.

$$\text{LET} = (\text{LET} + d) \text{ min}$$

Prosedur perhitungan LET :

- Tentukan nilai LET peristiwa terakhir (paling kanan) sesuai dengan nilai EET kegiatan terakhir.
- Dapat dihitung nilai LET dari kanan ke kiri dengan rumus diatas.
- Bila terdapat lebih dari satu kegiatan (termasuk dummy) maka dipilih LET yang minimum.

Contoh :



Gambar 2.3 Perhitungan LET

Pada perhitungan maju didapat waktu penyelesaian proyek adalah 16 hari ($\text{LET}_7 = 16$), maka hari ke-16 harus merupakan waktu paling akhir dari kegiatan proyek. Jadi untuk kegiatan 5-6.

$$\text{LET}_6 = \text{LET}_7 - D = 16 - 3 = 13$$

Untuk kegiatan 4-5

$$\text{LET}_5 = \text{LET}_6 - D = 13 - 6 = 7$$

Untuk kegiatan 3-5

$$\text{LET}_4 = \text{LET}_6 - D = 13 - 4 = 9$$

Untuk kegiatan 2-4

$$\text{LET}_3 = \text{LET}_5 - D = 7 - 5 = 2$$

Untuk kegiatan 2-3

$$\text{LET}_2 = \text{LET}_4 - D = 9 - 3 = 6$$

Pada peristiwa 2 terdapat kegiatan yang memecah menjadi dua maka waktu selesai paling akhir kegiatan tersebut adalah sama dengan waktu mulai paling akhir kegiatan berikutnya yang terkecil, jadi untuk kegiatan 1-2 :

$$LET_1 = LET_3 - D = 2 - 2 = 0$$

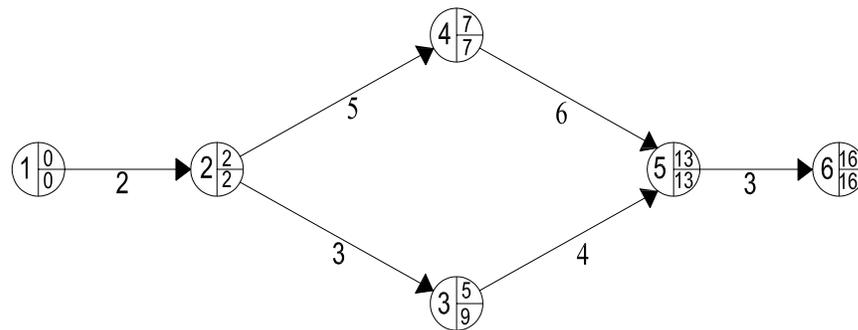
Tabel 2.2 Hasil perhitungan LET

Kegiatan		Kurun waktu	Paling awal		Paling akhir	
i	j		Mulai	selesai	Mulai	selesai
1	2	2	0	2	0	2
2	3	3	2	5	6	9
2	4	5	2	7	2	7
3	5	4	5	9	9	13
4	5	6	7	13	7	13
5	6	3	13	16	13	16

(Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional, Ir. Iman Soeharto,1997)

2.3.2. Jalur Kritis dan Float

Pada contoh diatas setelah didapat waktu penyelesaian proyek paling cepat adalah 16 hari maka dapat diketahui jalur kritis yang menghubungkan kegiatan-kegiatan kritis, dimana terdiri dari urutan kegiatan yang mengikuti jalur 1-2-4-5-6.



Jalur kritis : 1 - 2 - 4 - 5 - 6

Gambar 2.4 Jalur kritis

🚧 Float Total (TF = Total Float)

Float total adalah jumlah waktu yang diperkenankan untuk suatu kegiatan boleh ditunda atau terlambat, tanpa mempengaruhi jadwal penyelesaian proyek secara keseluruhan. Nilai *Total Float* (TF) adalah :

$$TF = LET - d - EET$$

atau float total sama dengan waktu selesai paling akhir dikurangi waktu selesai paling awal atau waktu mulai paling akhir dikurangi waktu mulai paling awal dari kegiatan tersebut.

Contoh perhitungan TF pada contoh proyek diatas

Kegiatan		Kurun waktu	Paling awal		Paling akhir		Total Float (TF)
i	j		Mulai	selesai	Mulai	selesai	
1	2	2	0	2	0	2	0
2	3	3	2	5	6	9	4
2	4	5	2	7	2	7	0
3	5	4	5	9	9	13	4
4	5	6	7	13	7	13	0
5	6	3	13	16	13	16	0

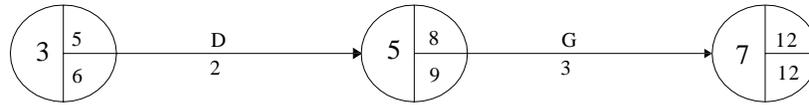
Tabel 2.3 perhitungan TF

🚧 Free Float (FF)

Adalah jumlah waktu yang diperkenankan untuk suatu kegiatan boleh ditunda atau terlambat, tanpa mempengaruhi atau menyebabkan keterlambatan pada kegiatan berikutnya. Nilai *Free Float* (FF) dapat dihitung :

$$FF = EET \text{ berikut}(j) - d - EET \text{ awal}(i)$$

Contoh :



$$FF = EET_j - d - EET_i = 8 - 2 - 5 = 1$$

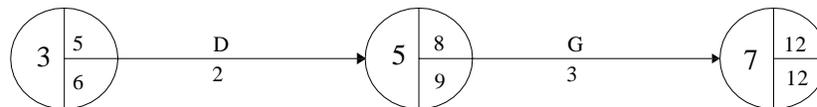
Nilai $FF = 1$, berarti kegiatan D boleh ditunda pelaksanaannya maksimum 1 minggu tanpa menyebabkan keterlambatan pada kegiatan berikutnya (kegiatan G).

🚧 **Inferent Float (IF)**

Adalah suatu kegiatan yang boleh digeser atau dijadwalkan lagi yang merupakan selisih dari *Total Float* (TF) dengan *Free Float* (FF), sedikitpun tidak sampai mempengaruhi penyelesaian proyek secara keseluruhan.

$$IF = TF - FF$$

Contoh :



$$IF = TF - FF = 2 - 1 = 1$$

Nilai $IF = 1$, berarti kegiatan D boleh mengalami penundaan lagi sebesar maksimum 1 minggu lagi (sampai nilai $FF = 0$).

2.4. **PRECEDENCE DIAGRAM METHOD (PDM)**

2.4.1. **Kegiatan, Peristiwa dan Atribut**

Precedence Diagram Method (PDM) adalah jaringan kerja yang termasuk klasifikasi *Activity on Node* (AON). Kegiatan dan peristiwa pada PDM ditulis pada node yang berbentuk segi empat, sedangkan anak panah hanya sebagai petunjuk hubungan antara kegiatan-kegiatan yang bersangkutan. Adapun peristiwa yang merupakan ujung-ujung kegiatan. Setiap node mempunyai dua

peristiwa yaitu peristiwa awal dan akhir. Ruangan dalam node dibagi menjadi kompartemen- kompartemen kecil yang berisi keterangan spesifikasi dari kegiatan dan peristiwa yang bersangkutan dan dinamakan atribut. Beberapa atribut yang sering dicantumkan di antaranya adalah kurun waktu kegiatan (D), identifikasi kegiatan (nomor dan nama), mulai dan selesainya kegiatan (ES,LS,EF,LF dan lain-lain).

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

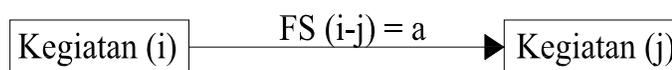
Gambar 2.5 Denah yang Lazim Pada Node PDM

Konstrain, Lead dan Lag

Konstrain menunjukkan hubungan antara kegiatan dengan satu garis dari node terdahulu ke node berikutnya. Satu konstrain hanya dapat menghubungkan dua node. Karena setiap node memiliki dua ujung yaitu ujung awal atau mulai = (S) dan ujung akhir atau selesai = (F), maka ada 4 macam konstrain yaitu awal ke awal (SS), awal ke akhir (SF), akhir ke akhir (FF) dan akhir ke awal (FS). Pada garis konstrain dibubuhkan penjelasan mengenai waktu mendahului (*lead*) atau terlambat tertunda (*lag*). Bila kegiatan (i) mendahului (j) dan satuan waktu adalah hari, maka penjelasan lebih lanjut adalah sebagai berikut.

Konstrain Selesai ke Mulai – FS

Konstrain ini memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan dengan selesainya kegiatan terdahulu. Dirumuskan sebagai $FS(i-j) = a$ yang berarti kegiatan (j) mulai a hari, setelah kegiatan yang mendahuluinya (i) selesai. Jenis konstrain ini identik dengan kaidah utama jaringan kerja CPM, yaitu suatu kegiatan dapat mulai bila kegiatan yang mendahuluinya telah selesai.



Gambar 2.6 Konstrain FS

Konstrain Mulai ke Mulai – SS

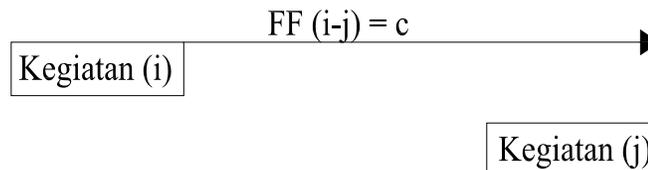
Memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu. Atau $SS(i-j) = b$ yang berarti suatu kegiatan (j) mulai setelah b hari kegiatan terdahulu (i) mulai. Konstrain semacam ini terjadi bila sebelum kegiatan terdahulu selesai 100% maka kegiatan (j) boleh mulai. Atau kegiatan (j) boleh mulai setelah bagian tertentu dari kegiatan (i) selesai. Besar angka b tidak boleh melebihi angka kurun waktu kegiatan terdahulu, karena per definisi b adalah sebagian dari kurun waktu kegiatan terdahulu. Jadi di sini terjadi kegiatan tumpang tindih.



Gambar 2.7 Konstrain SS

Konstrain Selesai ke Selesai – FF

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

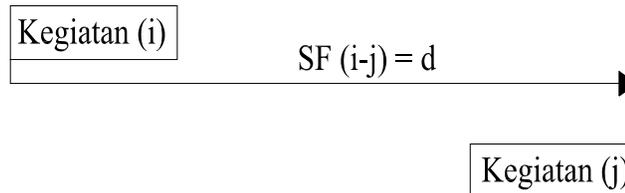


Gambar 2.8 Konstrain FF

Konstrain Mulai ke Selesai – SF

Menjelaskan hubungan antara selesainya kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu. Ditulis dengan $SF(i-j) = d$, yang berarti suatu kegiatan (j)

selesai setelah d hari kegiatan (i) terdahulu mulai. Jadi dalam hal ini sebagian dari porsi kegiatan terdahulu harus selesai sebelum bagian akhir kegiatan yang dimaksud boleh diselesaikan.



Gambar 2.9 Konstrain SF

Jadi dalam menyusun jaringan PDM, khususnya menentukan urutan ketergantungan, mengingat adanya bermacam konstrain di atas, maka lebih banyak faktor harus diperhatikan dibanding CPM.

(Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional, Ir. Iman Soeharto, 1997)

2.4.2. Identifikasi Jalur Kritis

Dengan adanya parameter yang bertambah banyak, perhitungan untuk mengidentifikasi kegiatan dan jalur kritis akan lebih kompleks karena semakin banyak faktor yang perlu diperhatikan. Untuk maksud tersebut, dikerjakan analisis serupa dengan metode AOA/CPM, dengan memperhatikan konstrain yang terkait.

2.4.3. Hitungan Maju

Berlaku dan ditujukan untuk hal-hal berikut :

- Menghasilkan ES, EF dan kurun waktu penyelesaian proyek.
 - Diambil angka ES terbesar bila lebih satu kegiatan bergabung
 - Notasi (i) bagi kegiatan terdahulu (*predecessor*) dan (j) kegiatan yang sedang ditinjau.
 - Waktu awal dianggap nol.
- a. Waktu mulai paling awal dari kegiatan yang sedang ditinjau $ES(j)$ adalah sama dengan angka terbesar dari jumlah angka kegiatan terdahulu $ES(i)$

atau $EF(i)$ ditambah konstrain yang bersangkutan. Karena terdapat empat konstrain, maka bila ditulis dengan rumus menjadi :

$$ES(j) = \left| \begin{array}{l} \text{Pilih angka terbesar dari} \\ \\ \\ \end{array} \right| \begin{array}{l} ES(i) + SS(i-j) \text{ atau} \\ ES(i) + SF(i-j) - D(j) \\ \text{atau} \\ EF(i) + FS(i-j) \text{ atau} \\ EF(i) + FF(i-j) - D(j) \end{array}$$

- b. Angka waktu selesai paling awal kegiatan yang sedang ditinjau $EF(j)$ adalah sama dengan angka waktu mulai paling awal kegiatan tersebut $ES(j)$, ditambah kurun waktu kegiatan yang bersangkutan $D(j)$. atau ditulis dengan rumus menjadi : $EF(j) = ES(j) + D(j)$.

2.4.4. Hitungan Mundur

Berlaku dan ditujukan untuk hal-hal berikut :

- Menentukan LS, LF dan kurun waktu float.
 - Bila lebih dari stu kegiatan bergabung diambil angka LS terkecil.
 - Notasi (i) bagi kegiatan yang sedang ditinjau sedangkan (j) adalah kegiatan berikutnya.
- a. Hitung $LF(i)$, waktu selesai paling akhir kegiatan (i) yang sedang ditinjau, yang merupakan angka terkecil dari jumlah kegiatan LS dan LF plus konstrain yang bersangkutan.

$$LF(i) = \left| \begin{array}{l} \text{Pilih angka terkecil dari} \\ \\ \\ \end{array} \right| \begin{array}{l} LF(j) - FF(i-j) \text{ atau} \\ LS(j) - FS(i-j) \text{ atau} \\ LF(j) - SF(i-j) + D(i) \\ \text{atau} \\ LS(j) - SS(i-j) + D(j) \end{array}$$

- b. Waktu mulai paling akhir kegiatan yang sedang ditinjau $LS(i)$, adalah sama dengan waktu selesai paling akhir kegiatan tersebut $LF(i)$, dikurangi kurun waktu yang bersangkutan. Atau $LS(i) = LF(i) - D(i)$.

(Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional, Ir. Iman Soeharto,1997)

2.4.5. Jalur dan Kegiatan Kritis

Jalur dan kegiatan kritis PDM mempunyai sifat sama seperti CPM/ AOA, yaitu :

- Waktu mulai paling awal dan akhir harus sama $ES = LS$
- Waktu selesai paling awal dan akhir harus sama $EF = LF$
- Kurun waktu kegiatan adalah sama dengan perbedaan waktu selesai paling akhir dengan waktu mulai paling awal $LF - ES = D$
- Bila hanya sebagian drikegiatan bersifat kritis, maka kegiatan tersebut secara utuh dianggap kritis.

2.5. *Line of Balance (LoB)*

2.5.1. Terminologi *Line of Balance*

🚧 Sejarah Perkembangan *Line of Balance (LoB)*

Teknik *Line of Balance* bermula dari Goodyear pada awal tahun 1940-an yang kemudian dikembangkan oleh Angkatan Laut Amerika Serikat pada kurun waktu 1950-an sebagai alat pengendali proyek di mana di dalamnya terdapat kejadian yang berulang / *repetitive* seperti pembangunan perumahan, konstruksi jalan, jaringan pipa dan gedung berlantai banyak yang memiliki kesamaan tiap lantainya.(Turban 1968, Johnston 1981, Lutz Dan Halpin 1992)

🚧 Konsep Dasar

Konsep dasar LoB diterapkan sebagai metode perencanaan dan penjadwalan. Konsep ini mengasumsikan bahwa tingkat produksi adalah seragam. Dengan kata lain, nilai produksi dari suatu aktivitas adalah linear dimana waktu direncanakan pada satu poros, pada umumnya horizontal, dan unit atau langkah-langkah dari suatu aktivitas pada poros yang vertikal. Nilai produksi dari suatu aktivitas adalah kemiringan dari fungsi waktu dan unit.

🚧 Karakteristik :

- Menunjukkan perulangan dasar dalam konstruksi
- Kemajuan proyek dapat terlihat dengan mudah

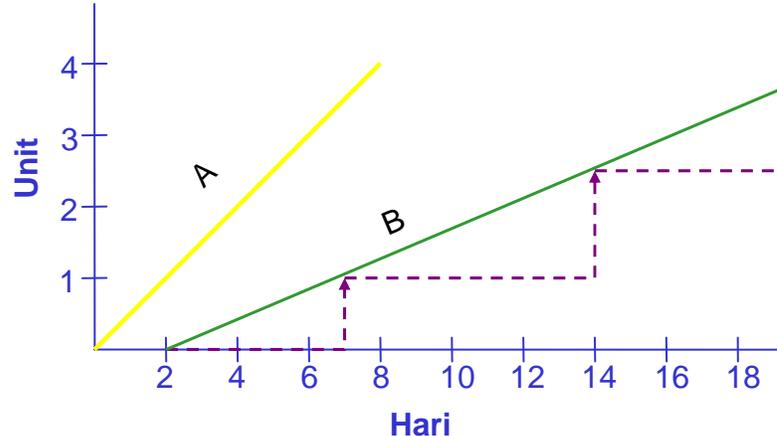
- Urutan dari beberapa pekerjaan yang berbeda dapat dengan mudah dimengerti
- Dapat dibuat dan disiapkan dalam periode yang lebih pendek daripada menggunakan metode lain

✚ Implementasi *Line of Balance*

- Dapat digunakan untuk aktivitas yang berlanjut daripada aktivitas yang sendiri.
- Gedung bertingkat yang pembangunannya bersifat repetitive
- Jalan raya

✚ Tingkat Produksi

Tingkat produksi dinyatakan melalui fungsi waktu dan fungsi kuantitas/unit pekerjaan yang dapat terselesaikan pada suatu kegiatan. Tingkat Produksi pada Grafik *Line of Balance* dapat ditunjukkan melalui kemiringan (*slope*) grafik. Semakin besar sudut kemiringan grafik maka semakin tinggi tingkat produksinya. Gambar di bawah ini menjelaskan hubungan di atas:



Gambar 2.10 Tingkat Produksi pada Grafik LoB

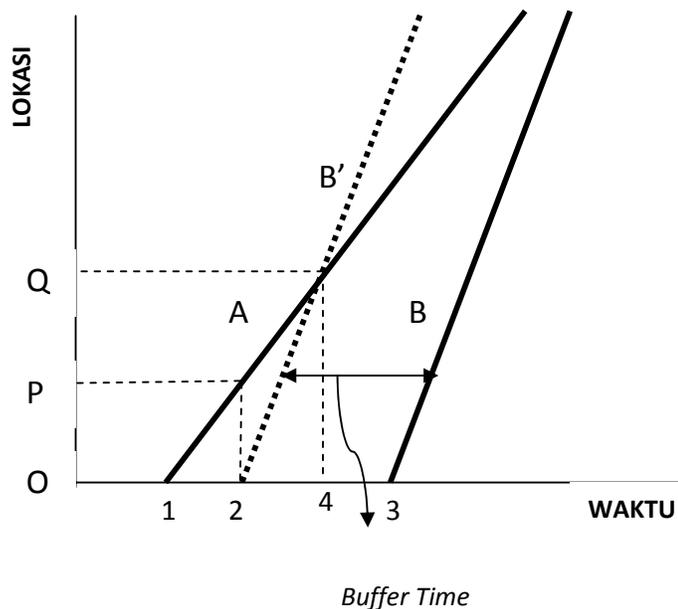
Keterangan :

- Sudut kemiringan Grafik A lebih Besar daripada sudut kemiringan Grafik B. Pekerjaan A membutuhkan 8 hari untuk menyelesaikan 4 unit rumah. Hal ini berarti tingkat produksi pekerjaan A adalah 0.5 unit/hari. Pekerjaan B membutuhkan 20 hari untuk menyelesaikan 4 unit rumah. Hal ini berarti tingkat produksi pekerjaan B adalah 0.2 unit/hari.

- Tingkat produksi suatu kegiatan juga sangat bergantung pada kompleksitas, kendala dan ketersediaan sumber daya.

✚ **Buffer Time (Waktu Penyangga)**

Ketika kemajuan aktifitas konstruksi berlanjut dalam sebuah rangkaian waktu, ruang kosong antara aktivitas diperlukan. Ruang kosong inilah yang disebut Buffer Time (Waktu Penyangga). *Buffer Time* merupakan perkiraan besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mengantisipasi adanya keterlambatan pada suatu kegiatan yang dapat mengganggu atau menghambat proyek secara keseluruhan. Selain itu waktu penyangga juga berfungsi untuk mengantisipasi adanya pekerjaan yang mengalami *overlapping* atau pekerjaan berikutnya (*successor*) mendahului pekerjaan sebelumnya (*predecessor*). Di bawah ini gambar yang menjelaskan fungsi dari *Buffer Time*



Gambar 2.11 *Buffer Time* pada Grafik LoB

Keterangan :

- Kegiatan A dimulai dari titik 1 pada lokasi Q. Pada saat di titik 2 pekerjaan A sudah berada di lokasi P. Apabila pekerjaan B (dalam grafik B') dimulai dari titik 2 maka pada saat di titik 4 dan lokasi Q pekerjaan A dan B akan mengalami *crash* atau benturan, dengan kata lain.

- Untuk menghindari terjadinya benturan maka perlu waktu antara sebesar 2-3.
Hal ini berarti pekerjaan B dimulai dari titik 3.