

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 TINJAUAN UMUM

Proyek konstruksi adalah sebuah kegiatan yang pelaksanaannya membutuhkan sumber daya tertentu yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang sebaik-baiknya, dimana untuk mencapai hasil pekerjaan yang baik tersebut dibutuhkan berbagai macam elemen pendukung yang saling berkaitan dalam pelaksanaan pekerjaan (Soeharto, 1995). Pada sebuah pelaksanaan proyek, salah satu elemen yang sangat penting adalah perencanaan proyek. Dalam sebuah perencanaan proyek tersebut terdapat gambaran atas target dan kualitas pekerjaan yang harus kita selesaikan dalam waktu tertentu. Selain itu perencanaan proyek memiliki fungsi sebagai alat komunikasi bagi seluruh pihak yang terkait dengan pelaksanaan, dasar dalam pengalokasian sumber daya dan tolak ukur dalam pengendalian.

Proyek adalah suatu kegiatan sementara yang memiliki tujuan dan sasaran yang jelas, berlangsung dalam jangka waktu terbatas, dengan alokasi sumber daya tertentu (Widiasanti, 2013). Tetapi pada saat pelaksanaan tidak pernah dijumpai suatu proyek berjalan sesuai dengan perencanaan proyek. Beberapa kegiatan yang sering tidak sesuai dengan perencanaan proyek yang sering dijumpai di lapangan adalah masalah tentang anggaran, waktu pelaksanaan, dan metode pelaksanaan (terutama untuk proyek yang besar dan kompleks). Hal ini disebabkan antara lain pada waktu penyusunan perencanaan dasar belum cukup tersedia data dan informasi yang memadai, sehingga bahan perencanaan sebagian besar didasarkan atas asumsi keadaan yang akan datang.

Dari uraian diatas dapat dikatakan bahwa manajemen proyek sangat penting diterapkan dalam sebuah proyek konstruksi. Manajemen proyek adalah semua usaha atau kegiatan perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan

koordinasi suatu proyek untuk menjamin pelaksanaan proyek secara tepat waktu, tepat biaya dan tepat mutu (Ervianto, 2002).

Santosa (2009) menjelaskan hubungan waktu dan biaya pada keadaan normal dan *crash* sehingga umur proyek dapat dipersingkat dengan penambahan sumber daya tenaga kerja, peralatan ataupun modal untuk kegiatan-kegiatan tertentu (*crashing*).

Dengan pengaturan penjadwalan yang efektif serta efisien maka pekerjaan tepat waktu dan sesuai dengan kualitas yang telah direncanakan. Penjadwalan ini diperlukan ketika ada beberapa pekerjaan yang tidak dapat dilakukan secara bersamaan. Sumber daya yang ada akan terpakai secara optimal dan efisien jika penjadwalan dilakukan dengan baik.

3.2 BIAYA DAN WAKTU

Biaya dan waktu merupakan hal yang sangat terkait erat dengan proses konstruksi. Berjalannya sebuah proyek konstruksi ditentukan oleh biaya. Sedangkan waktu adalah batasan terhadap suatu proses konstruksi itu sendiri. Sering kita temui pada sebuah proyek biaya dan waktu tidak sesuai rencana. Hal tersebut bisa disebabkan oleh banyak faktor. Kedua hal tersebut saling berkaitan, seperti jika waktu pekerjaan melebihi target pada perencanaan maka biaya akan ikut membengkak melebihi rencana.

3.2.1 Biaya

Biaya adalah jumlah segala usaha dan pengeluaran yang dilakukan dalam mengembangkan, memproduksi dan mengimplementasikan produk. Penghasil produk selalu memikirkan akibat dari adanya biaya terhadap kualitas, realibilitas, dan *maintainability* karena ini akan berpengaruh terhadap biaya bagi pemakai.

Biaya pengembangan merupakan komponen yang cukup besar dari total biaya. Sedangkan perhatian terhadap biaya produksi amat diperlukan karena sering mengandung sejumlah biaya yang tidak perlu (*unnecessary cost*).

Menurut Humpreys (1991) dalam Budiarmo (2008) estimasi biaya untuk modal proyek terdiri dari dua komponen biaya utama, yaitu:

1. Biaya langsung (*direct cost*) adalah biaya yang timbul dan berhubungan langsung dengan aktivitas proyek yang sedang berjalan. Biaya langsung meliputi.
 - a. Biaya bahan dan material

Biaya bahan dan material perlu dihitung dengan cermat sesuai dengan rencana serta mempertimbangkan beberapa faktor seperti kerusakan material, sehingga material tidak banyak terbuang saat pekerjaan selesai dan tidak menghambat jika material kurang saat pelaksanaan proyek. Termasuk didalamnya adalah biaya fabrikasi material dan pemasangan. Biaya bahan dan material ini juga dipengaruhi oleh lokasi, biaya transportasi, dan kelangkaan bahan.
 - b. Biaya upah

Biaya upah tenaga kerja bervariasi tergantung terhadap keahlian dan standar gaji dimana lokasi tersebut berada. Untuk tenaga kerja dari luar daerah lokasi proyek maka harus mempertimbangkan biaya *mess* dan transportasi tenaga kerja.
 - c. Biaya alat

Biaya alat ini harus mempertimbangkan efisiensi kerja alat. Seperti jumlah alat yang digunakan, pertimbangan untuk membeli atau menyewa alat tersebut, dan jika sewa harus mempertimbangkan waktu efektif alat bekerja.
 - d. Biaya subkontrak

Biaya yang disediakan kepada sub-kontraktor untuk melaksanakan bagian khusus dari proyek yang tidak dilakukan sendiri oleh kontraktor utama.
2. Biaya tidak langsung (*indirect cost*) adalah biaya yang diperlukan untuk setiap kegiatan proyek, tetapi tidak berhubungan langsung dengan kegiatan yang bersangkutan dan dihitung pada awal proyek sampai akhir proyek. Bila pelaksanaan akhir proyek mundur dari waktu yang sudah direncanakan maka biaya tidak langsung ini akan menjadi besar sedangkan jumlah pekerjaan dan nilai kontrak tetap, sehingga keuntungan kontraktor akan berkurang bahkan

untuk kondisi tertentu akan mengalami kerugian. Biaya tidak langsung tersebut meliputi:

a. *Biaya Overhead*

Biaya yang termasuk *overhead* adalah komponen biaya yang meliputi pengeluaran operasi perusahaan yang dibebankan pada proyek (menyewa kantor, rekening listrik, air, telepon) dan pengeluaran untuk pajak, asuransi, yang jaminan dan ijin-ijin usaha serta biaya rapat lapangan (*site meeting*).

b. *Biaya tak terduga (contingence)*

Kontingensi adalah cadangan biaya dari suatu perkiraan biaya atau anggaran untuk dialokasikan pada butir-butir yang belum ditentukan, yang menurut pengalaman dan statistik menunjukkan selalu diperlukan. Makin jauh proyek berjalan, makin banyak masukan data dan informasi, sehingga masalah yang belum menentu pun akan banyak, demikian halnya dengan kontingensi. Pada umumnya biaya ini diperlukan antara 0,5% - 5% dari total proyek.

Perkiraan biaya memegang peranan yang sangat penting dalam penyelenggaraan suatu proyek. Segala sesuatu mengenai penyelenggaraan kegiatan proyek mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian akan dihitung dalam nilai uang. Maka pengalaman dan ketelitian akan sangat penting dalam perhitungan penyusunan perkiraan biaya proyek (Soeharto, 1995).

3.2.2 Waktu

Setiap proyek konstruksi selalu dimulai dengan proses perencanaan, dimana perencanaan itu sendiri dapat didefinisikan sebagai asumsi untuk masa yang akan datang dan perumusan kegiatan-kegiatan yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan yang ditetapkan berdasarkan asumsi tersebut (Ervianto, 2002). Agar proses ini berjalan dengan baik maka ditentukan terlebih dahulu sasaran utamanya dan perencanaan mencakup penentuan berbagai cara yang memungkinkan kemudian menentukan salah satu cara yang tepat dengan mempertimbangkan semua kendala yang mungkin timbul.

Pengaturan waktu dan penjadwalan dari kegiatan-kegiatan yang terlibat didalamnya diperlukan agar suatu proyek dapat berjalan dengan lancar serta efektif. Hal ini juga diperlukan agar pimpinan proyek dapat mengetahui dengan jelas rencana kerja yang akan dilaksanakan, sehingga kontinuitas proyek dapat dipelihara. Selain itu juga disebutkan beberapa tujuan dari pembuatan jadwal, antara lain :

1. Sebagai pedoman pelaksanaan guna memudahkan pekerjaan agar dapat berjalan lancar dan mencapai sasaran yang telah ditetapkan.
2. Menentukan lamanya target waktu yang diminta oleh pemilik agar penyelesaian proyek dapat terpenuhi.
3. Memperkirakan alokasi sumber daya yang harus disediakan setiap kali diperlukan agar proyek dapat berjalan lancar dan efektif.
4. Sebagai alat pengendali proyek
5. Mengontrol kemajuan pekerjaan sehingga bila ada keterlambatan di dalam pelaksanaan pekerjaan, dapat diketahui untuk mengetahui tindakan penanggulangan.
6. Mengetahui urutan dari masing-masing pekerjaan.

3.2.2.1 Durasi Normal Kegiatan

Durasi normal kegiatan adalah jangka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kegiatan dengan tingkat produktivitas kerja yang normal, yaitu sesuai dengan sumber daya dan kemampuan yang ada pada saat itu. Menurut Soeharto (1995), untuk menentukan durasi ada banyak faktor yang harus diperhatikan, antara lain :

1. Jenis Kegiatan

Setiap kegiatan mempunyai karakteristik sendiri sehingga harus ditangani secara tersendiri pula. Semakin sulit penanganannya maka semakin lama durasi yang dibutuhkan

2. Metode yang digunakan

Penggunaan sumber daya (tenaga kerja, material dan peralatan) tergantung pada metode pelaksanaan yang berbeda dapat menghasilkan durasi kegiatan yang berbeda pula

3. Situasi dan kondisi lapangan dimaksudkan untuk mengetahui hambatan atau kemudahan-kemudahan yang terdapat di lapangan. Misalnya medan proyek yang berat, terpencil atau pada ketinggian yang lebih tinggi akan memperlambat pelaksanaan kegiatan
4. Lokasi sumber daya
Semakin dekat lokasi sumber daya dengan lokasi proyek akan memperlancar pelaksanaan suatu kegiatan sehingga waktu pelaksanaan lebih singkat
5. Faktor cuaca yang akan berpengaruh terhadap prestasi kerja. Iklim dan cuaca yang jelek akan memperlambat penyelesaian kegiatan.
6. Dana material yang tersedia
Durasi kegiatan akan lebih lama bila dana yang masuk ke dalam kas perusahaan tersendat-sendat. Begitu juga akan mengakibatkan tersendatnya material yang masuk
7. Macam dan volume pekerjaan yang akan dilaksanakan. Volume pekerjaan yang lebih besar membutuhkan durasi yang lebih lama. Volume ini dapat dihitung dari dokumen rencana kerja dan syarat-syarat yang diberikan oleh pemilik proyek
8. Sosial dan politis
Termasuk dalam bagian ini adalah peraturan pemerintah dibidang tenaga kerja
9. Sumber daya yang dimiliki oleh pelaksana seperti tenaga kerja, kemampuan dan keterampilan tenaga kerja serta kapasitas alat-alat kerja. Yang perlu ditinjau disini adalah produktivitas tenaga kerja dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya, seperti: kualitas dan kuantitas tenaga kerja, efisiensi tenaga kerja, jam kerja, kondisi lingkungan, jam kerja, kondisi lingkungan, dan lain-lain.

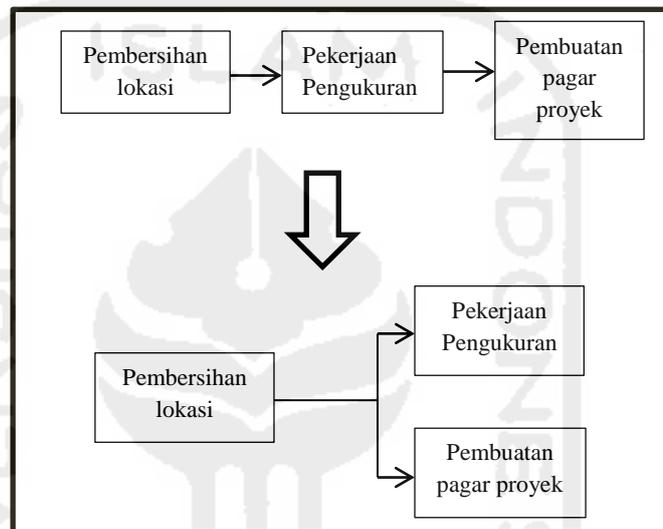
3.2.2.2 Durasi Kegiatan Dipercepat (*Crashed*)

Pada saat perencanaan proyek, durasi kegiatan direncanakan dengan durasi yang tersedia (sumber daya normal). Terdapat beberapa cara yang bisa digunakan jika ingin mempercepat proyek, yaitu (Soeharto, 1995) :

1. Perubahan logika kegiatan

a. Kegiatan seri dijadikan paralel

Diambil potongan suatu jaringan sebagai berikut :

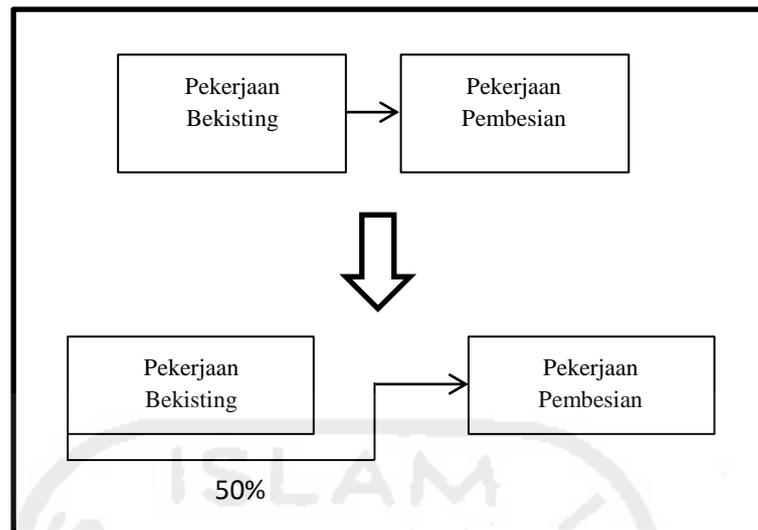


Gambar 3.1. Kegiatan Seri dijadikan Paralel

Dari kegiatan diatas dapat dilihat bahwa kegiatan pembuatan pagar proyek dilakukan setelah kegiatan pengukuran telah selesai. Namun, sebenarnya kedua kegiatan ini dapat dilakukan secara bersamaan, selama sumber daya yang dimiliki oleh proyek memadai. Sehingga waktu penyelesaian untuk potongan jaringan kegiatan ini dipersingkat menjadi seperti gambar berikut

b. Kegiatan seri dijadikan *overlap*

Sebagai contoh, pekerjaan pelat lantai pada suatu bangunan gedung terdiri dari pekerjaan bekisting dan pembesian. Semula kedua pekerjaan ini dilakukan secara seri, yaitu pekerjaan bekisting kemudian diikuti oleh kegiatan pembesian.



Gambar 3.2. Kegiatan Seri dijadikan Overlap

Bila ternyata pekerjaan pelat lantai tersebut terbagi atas beberapa lokasi kegiatan, maka kegiatan ini dapat dilakukan secara *overlap* sehingga waktu penyelesaian bisa dipersingkat. Artinya, disaat kegiatan bekisting sudah dilaksanakan 50%, kegiatan pembesian sudah bisa dilakukan. Sekali lagi, hal ini memungkinkan selama sumber daya yang dimiliki proyek memadai.

2. Penambahan Sumberdaya

Penambahan Sumberdaya dilakukan dengan cara :

a. Penambahan jam kerja

Kerja lembur dapat dilakukan dengan cara menambah jam kerja setiap hari, tanpa menambah jumlah tenaga kerja. Kerja lembur mengandung risiko yang cukup tinggi dan pekerjaan akan sangat berat. Berdasarkan hal tersebut, kerja lembur harus mendapat tambahan yang lebih besar dari upah kerja normal, biasanya 1,5 kali sampai 2 kali upah kerja normal. Selain itu juga perlu disediakan peralatan tambahan lainnya, seperti lampu, keamanan kerja, fasilitas kesehatan dan peningkatan pengawasan kualitas akibat menurunnya kemampuan kerja para tenaga kerja.

Durasi pekerjaan yang dipercepat (D_c) dapat dihitung dengan rumus

$$D_c = \frac{D_n \times h}{h + (h_0 \times e)} \quad (3.1)$$

Keterangan :

D_n = Durasi Normal

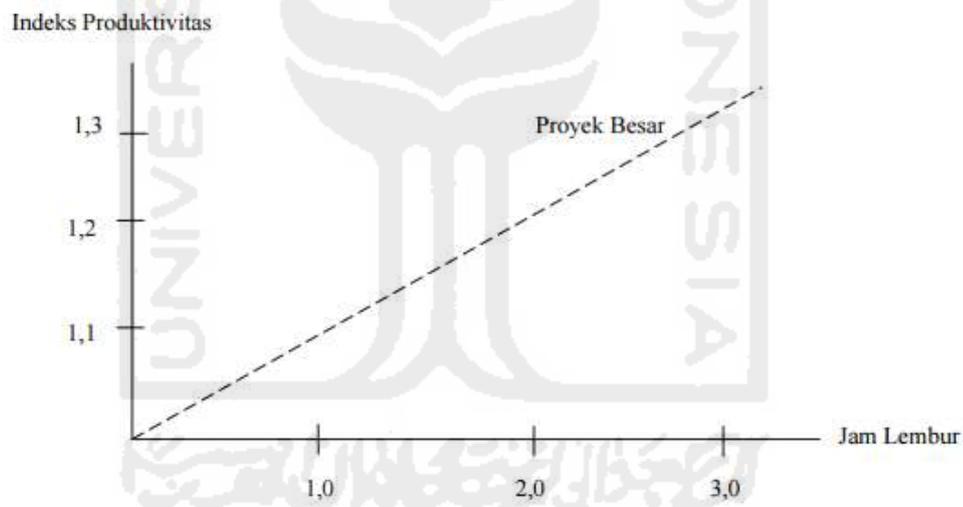
D_c = Durasi Crash

H = Jam kerja normal

h_0 = Jam kerja lembur

e = efisiensi lembur

Untuk menentukan nilai indeks produktivitas lembur dapat dilihat dari Gambar 3.5. Dalam penelitian ini menggunakan penambahan jam lembur selama 3 jam sehingga nilai indeks produktivitas yang didapat adalah 1,31.



Gambar 3.3 Indeks Produktivitas Kerja Lembur (Sumber: Soeharto, 1995)

b. Pembagian giliran kerja

Membuat giliran kerja hampir sama dengan perubahan jam kerja. Namun disini terjadi penambahan jumlah pekerja, karena unit pekerja giliran pagi sampai sore, berbeda dengan unit pekerja giliran sore malam. Dengan demikian, produktivitas kerja dianggap hampir sama. Untuk mempertahankan produktivitas ini tetap sama, maka perlu di usahakan hal-hal sebagai berikut :

1. Giliran kerja dirotasikan secara tetap
2. Diusahakan suatu upaya agar seorang pekerja dapat bekerja sama dengan pekerja lain menghasilkan produktivitas tinggi.

c. Penambahan tenaga kerja

Penambahan tenaga kerja dimaksudkan sebagai penambahan jumlah pekerja dalam satuan unit kerja (*work package*) tanpa menambah jam kerjanya. Penambahan tenaga kerja yang optimum akan meningkatkan produktivitas kerja, namun penambahan yang terlalu banyak justru menurunkan produktivitas kerja karena berbagai macam hal, antara lain: terlalu sempitnya lahan untuk bekerja, kesulitan pengawasan dan lain-lain. Untuk itu perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Daya tampung lokasi untuk menampung tenaga kerja
2. Kemudahan dan keleluasaan untuk melaksanakan pekerjaan
3. Pengawasan terhadap tenaga kerja
4. Keamanan kerja

d. Penambahan/penggantian peralatan

Penambahan dan penggantian peralatan kerja dimaksudkan untuk menambah produktivitas kerja, menambah ketelitian kerja dan mengurangi jumlah tenaga kerja manusia. Namun ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain :

1. Penambahan operator dan mekanik peralatan
2. Daya tampung tempat, biaya dan waktu yang diperlukan untuk mobilisasi dan demobilisasi

e. Penggantian/perbaikan metode kerja

Penggantian atau perbaikan metode kerja dilakukan bila metode yang dilakukan sudah tidak efisien lagi. Misalnya perubahan dari pelaksanaan produksi manual ke produksi dengan pabrikasi, dan sebagainya. Namun penggantian metode kerja kadang kala juga berarti merubah logika jaringan kegiatan atau bahkan jenis kegiatannya sendiri.

- f. Peningkatan produktivitas kerja bisa dilakukan dengan mengkonsentrasikan pelaksanaan pekerjaan yang dianggap khusus, kritis atau tingkat kegagalan tinggi. Konsentrasi ini berarti penambahan tenaga kerja atau peralatan pada kegiatan ini. Hal yang perlu diperhatikan adalah :
1. Pemindahan tenaga kerja ke pekerjaan baru pada mulanya akan menurunkan produktivitasnya, karena ada proses penyesuaian dan pembelajaran.
 2. Keterlambatan kegiatan ini belum melebihi float yang dimilikinya
 3. Penambahan tenaga kerja atau peralatan ke kegiatan ini harus memperhatikan jumlah optimumnya
- g. Kombinasi dari alternatif yang ada
- Dalam pelaksanaannya, peningkatan produktivitas sumber daya dapat dilakukan dengan mengkombinasikan alternatif-alternatif yang ada sehingga menghasilkan suatu cara yang paling tepat dan efisien.

3.3 PENJADWALAN PROYEK

Penjadwalan proyek merupakan hal yang sangat penting dalam suatu proses pelaksanaan konstruksi, supaya aktivitas-aktivitas yang dikerjakan sesuai dengan tahapan dan durasi yang telah direncanakan. Selain itu, penjadwalan ini berfungsi untuk mengevaluasi *progress* dari pekerjaan tersebut.

Dalam sebuah pekerjaan konstruksi, optimasi memiliki peran yang sangat penting dalam pelaksanaan proyek. Optimasi tersebut bertujuan untuk menciptakan sebuah situasi dan kondisi yang efektif bagi sumber daya yang ada sehingga pelaksanaannya sesuai dengan jadwal dan rencana yang telah dibuat. Pada umumnya kegiatan optimasi dalam sebuah proyek dapat dikategorikan ke dalam tiga bagian, yaitu:

1. Optimasi sumber daya
2. Optimasi biaya
3. Optimasi waktu

Ketiga bagian optimasi tersebut saling terkait satu dengan yang lainnya, baik dalam tahap perencanaan dan juga penjadwalan. Untuk melakukan optimasi terdapat beberapa macam metode, salah satu metode yang umum digunakan yaitu metode *least cost scheduling*.

3.4 JARINGAN KERJA

Network planning (Jaringan Kerja) pada prinsipnya adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan yang digambarkan atau divisualisasikan dalam diagram *network*. Dengan demikian dapat dikemukakan bagian-bagian pekerjaan yang harus didahulukan, sehingga dapat dijadikan dasar untuk melakukan pekerjaan selanjutnya dan dapat dilihat pula bahwa suatu pekerjaan belum dapat dimulai apabila kegiatan sebelumnya belum selesai dikerjakan. Manfaat jaringan kerja adalah sebagai berikut:

1. Merupakan dasar dalam perhitungan penyelesaian waktu pelaksanaan proyek
2. Merupakan dasar dalam penjadwalan tenaga kerja dan kelompok
3. Alat komunikasi antara seluruh manajer dan kelompok
4. Alat perhitungan waktu apabila terjadi penundaan proyek
5. Dasar dalam menggambarkan *cash flow* dari satu proyek
6. Alat untuk mengidentifikasi kegiatan yang kritis sehingga tidak terjadi keterlambatan dalam penyelesaian

3.4.1. *Gantt Chart/bar Chart*

Bar chart adalah suatu bagan balok yang disusun secara grafis yang menguraikan suatu proyek yang terdiri dari sejumlah kegiatan yang telah dirumuskan dengan baik, dimana penyelesaian pekerjaan merupakan titik akhirnya (Widiasanti, 2013).

Kegiatan digambarkan dengan balok horizontal dengan panjang balok menyatakan lama kegiatan dalam skala waktu yang dipilih. Bagan balok terdiri dari sumbu y yang menyatakan kegiatan atau paket kerja dari lingkup proyek dan digambarkan sebagai balok, sedangkan sumbu x menyatakan satuan waktu dalam hari, minggu, atau bulan sebagai durasinya. Di sini, waktu mulai dan waktu akhir

masing-masing pekerjaan adalah ujung kiri dan ujung kanan dari balok-balok yang bersangkutan.

Pada bagan balok juga dapat ditentukan tonggak kemajuan sebagai bagian target yang harus diperhatikan guna kelancaran produktivitas proyek secara keseluruhan. Sedangkan untuk proses *updating*, bagan balok dapat diperpendek atau diperpanjang yang menunjukkan bahwa durasi kegiatan akan bertambah atau berkurang sesuai kebutuhan dalam proses perbaikan jadwal. Format bagan balok ini sangat informatif mudah dibaca, dan efektif untuk komunikasi dengan berbagai pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi, serta dapat dibuat dengan mudah dan sederhana baik dengan manual maupun dengan menggunakan komputer.

Tabel 3.1 Contoh Bentuk *Bar Chart*
Sumber : Wideasanti & Lenggogeni (2013)

No.	Kegiatan	Durasi	Waktu (Minggu)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	A	2	■	■										
2	B	3	■	■	■									
3	C	3			■	■	■							
4	D	3			■	■	■							
5	E	4				■	■	■	■					
6	F	3							■	■	■			
7	G	2								■	■			
8	H	3									■	■	■	
9	I	2											■	■

■ Kegiatan kritis

■ Kegiatan nonkritis

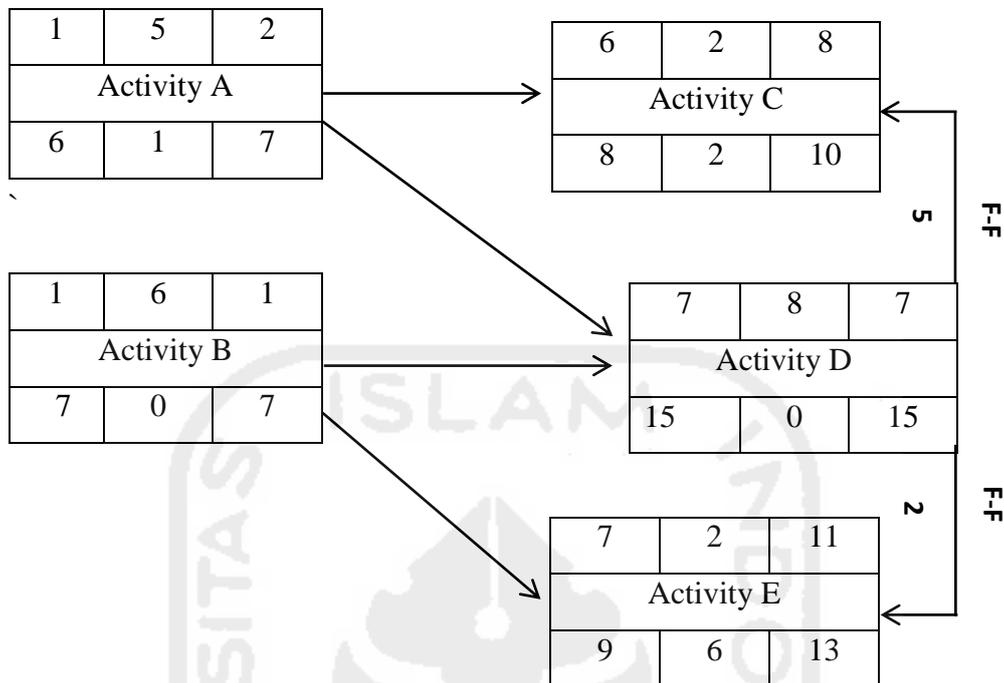
3.4.2. *Precedence Diagram Method (PDM)*

Precedence Diagram Method (PDM) merupakan jaringan kerja yang berisi mengenai waktu kegiatan (durasi), identitas kegiatan (nomor dan nama kegiatan), serta waktu mulai dan waktu selesai kegiatan (*Early Start, Early Finish, Late Start, Late Finish, dst*). Disamping bentuk AOA (*activity on arrow*) juga dikenal bentuk AON (*activity on node*) atau kegiatan berada di *node*. Metode Diagram Preseden (PDM) adalah jaringan kerja yang termasuk klasifikasi AON. Di sini kegiatan dituliskan di dalam *node* yang berbentuk segi empat, sedangkan anak panah hanya sebagai petunjuk hubungan ketergantungan antara kegiatan-kegiatan yang bersangkutan (Abdurrahman, 2014).

Kelebihan *Precedence Diagram Method* dibandingkan dengan *Arrow Diagram* adalah:

1. Tidak diperlukan kegiatan fiktif / *dummy* sehingga pembuatan jaringan lebih sederhana.
2. Hubungan *overlapping* yang berbeda dapat dibuat tanpa menambah jumlah kegiatan.

Dalam *Arrow Diagram Method (ADM)*, *dummy* diperlukan untuk menunjukkan hubungan ketergantungan, sedangkan di dalam PDM tidak diperlukan. Untuk proyek dengan rangkaian kegiatan yang tumpang tindih dan berulang-ulang memerlukan garis *dummy* yang banyak, sehingga tidak praktis dan kompleks. Sedangkan pada metode PDM akan menghasilkan diagram yang relatif sederhana, karena PDM mengenal adanya konstrain antara kegiatan yaitu SS (*start to start*), SF (*start to finish*), FS (*finish to start*) dan FF (*finish to finish*), yang memungkinkan menggambarkan kegiatan tumpang tindih yang lebih sederhana.

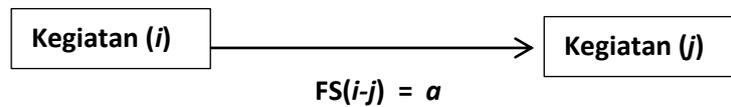


Gambar 3.5 Contoh PDM
(Sumber : Abdurrahman, 2014)

PDM tidak terbatas pada aturan dasar jaringan kerja CPM (kegiatan boleh mulai setelah kegiatan yang mendahuluinya selesai), maka hubungan antar kegiatan berkembang menjadi beberapa kemungkinan berupa konstrain. Konstrain menunjukkan hubungan antar 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 dan ujung akhir atau selesai.

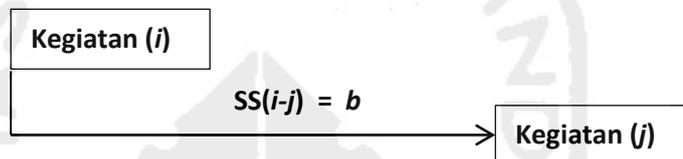
1. Konstrain Selesai ke Mulai/*Finish to Start* (FS)

Konstrain ini memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan dengan selesainya kegiatan terdahulu. Dirumuskan sebagai $FS(i-j)=a$ yang berarti kegiatan (*j*) mulai *a* hari setelah kegiatan yang mendahuluinya (*i*) selesai.

Gambar 3.6 Konstrain *Finish to Start*

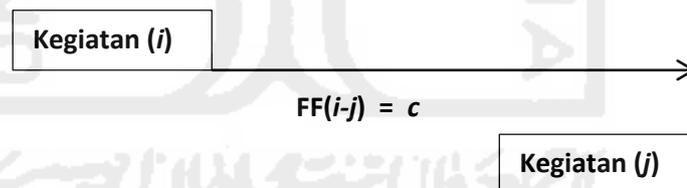
2. Konstrain Mulai ke Mulai/*Start ke Start* (SS)

Konstrain ini memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan terdahulu. Dirumuskan sebagai $SS(i-j)=b$ yang berarti kegiatan (j) mulai setelah b hari kegiatan yang terdahulu (i) mulai.

Gambar 3.7 Konstrain *Start to Start*

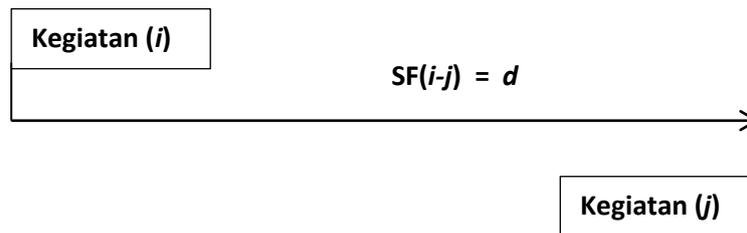
3. Konstrain Selesai ke Selesai/*Finish to Finish* (FF)

Konstrain ini merupakan penjelasan hubungan antara suatu kegiatan dengan selesainya kegiatan terdahulu. Dirumuskan sebagai $FF(i-j)=c$ yang berarti kegiatan (j) mulai setelah c hari kegiatan yang terdahulu (i) selesai.

Gambar 3.8 Konstrain *Finish to Finish*

4. Konstrain Mulai ke Selesai/*Start to Finish* (SF)

Konstrain ini memberikan penjelasan hubungan antara selesainya suatu kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu. Dirumuskan sebagai $SF(i-j)=d$ yang berarti kegiatan (j) selesai setelah d hari kegiatan yang (i) terdahulu mulai.



Gambar 3.9 Konstrain *Start to Finish*

3.5 **CRITICAL PATH (LINTASAN KRITIS)**

Menurut Levin dan Kirkpatrick (1972), metode jalur kritis (*Critical Path Method* – CPM), yakni metode untuk merencanakan dan mengawasi proyek-proyek merupakan system yang paling banyak dipergunakan diantara semua system lain yang memakai prinsip pembentukan jaringan. CPM merupakan analisa jaringan kerja yang berusaha mengoptimalkan biaya total proyek melalui pengurangan atau percepatan waktu penyelesaian total proyek yang bersangkutan.

3.6 **HUBUNGAN ANTARA BIAYA DAN WAKTU**

Biaya bagian terbesar yang dikeluarkan untuk terwujudnya suatu proyek dikeluarkan pada tahap pelaksanaan (Barrie dan Paulson, 1990). Ada suatu hubungan antara waktu pelaksanaan proyek dengan biaya yang diperlukan untuk melaksanakan proyek. Dengan adanya dua tipe dari biaya maka dapat dicari nilai optimal waktu pengerjaan proyek dengan biaya minimum.

Ketergantungan antara biaya yang dikeluarkan terhadap waktu pelaksanaan proyek sehingga memerlukan penjadwalan kegiatan-kegiatan secara optimum, oleh sebab itu biaya yang dikeluarkan menjadi minimum.

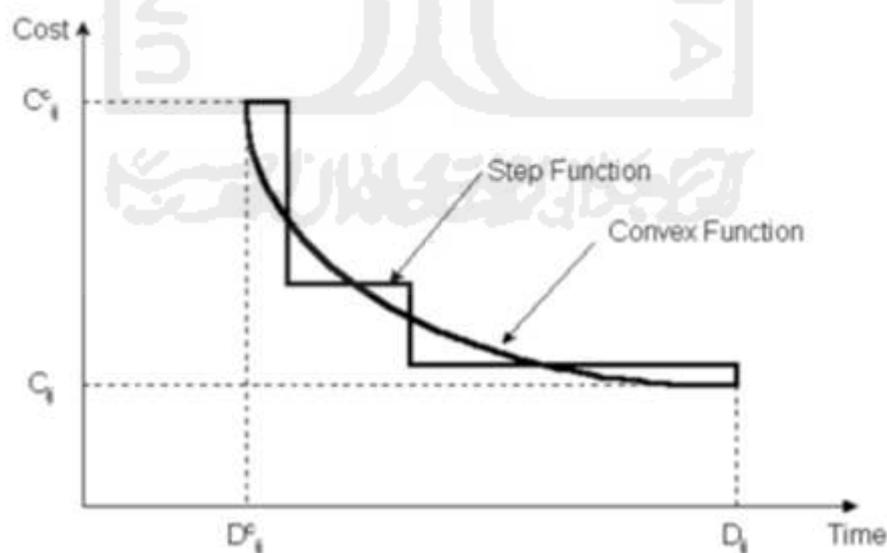
3.6.1 **Proses Mempercepat Kurun Waktu**

Menurut Shtub dan Bard (1994), *Crashing* adalah suatu cara mempersingkat waktu dari aktifitas pekerjaan dengan menambah sumber daya dan biaya langsung. Pada saat *crashing* harus ditetapkan aktifitas mana dan berapa besar biaya aktifitas tersebut.

Dalam rangka percepatan waktu, tiap-tiap pekerjaan membutuhkan informasi berikut ini :

1. Penaksiran biaya yang dibutuhkan masing-masing pekerjaan dalam situasi normal.
2. Penyelesaian waktu proyek dalam kondisi percepatan, yaitu waktu paling singkat yang dapat dilakukan dibawah kondisi percepatan.
3. Penaksiran biaya pekerjaan dalam kondisi percepatan.

Hendrickson (1998) menyatakan bahwa pelaksanaan konstruksi yang dipercepat akan menghasilkan biaya yang besar, dan kualitas yang lebih rendah. Alasan mengapa biaya bertambah bila durasi dikurangi adalah pada kerja lembur. Dengan menjadwalkan kerja pada hari libur dan malam hari, waktu penyelesaian sesuai dengan hari kalender akan berkurang. Akan tetapi upah lembur yang besarnya lebih dari upah biasa harus dibayarkan, sehingga biaya akan bertambah. Selain itu, kerja lembur rentan terhadap kecelakaan dan masalah kualitas yang harus dikoreksi sehingga biaya tidak langsung akan bertambah. Pada umumnya, tidak diharapkan adanya hubungan linear antara durasi dan biaya langsung, tapi fungsi parabola (*convex function*) seperti kurva nonlinear atau fungsi bertingkat (*step function*).



Gambar 3.10 Ilustrasi *Non-linear Time/Cost Trade Offs* Untuk Suatu Kegiatan
Sumber : Hendrickson,1998

3.6.2 Perkiraan Waktu – Biaya Pelaksanaan

Suatu proyek konstruksi pada umumnya secara fisik semakin banyak alat dan jumlah tenaga kerja yang dipakai maka semakin cepat pula waktu pelaksanaan dari proyek tersebut. Demikian pula halnya apabila dilakukan penambahan jam kerja (mempertinggi produktifitas jam kerja) akan mempercepat waktu penyelesaian proyek tersebut.

Akan tetapi penambahan jumlah peralatan yang dipakai serta jumlah tenaga kerja yang banyak tetap ada batasnya yaitu tergantung pada luas daerah kerja yang ada disamping itu, waktu pelaksanaan yang paling singkat tidaklah menjamin kualitas mengingat adanya biaya tambahan yang harus dikeluarkan. Oleh karena itu perlu kiranya waktu konstruksi paling ekonomis (optimum), sehingga pada kondisi ini biaya konstruksi total yang dikeluarkan menjadi paling minimal.

Untuk mencari hubungan waktu dan biaya pelaksanaan yang optimal dari suatu proyek konstruksi pada prakteknya tidaklah begitu mudah. Akan tetapi secara teoritis pemecahan dari keadaan di atas pasti diantara dua keadaan ekstrim sebagai berikut (Soeharto,1995):

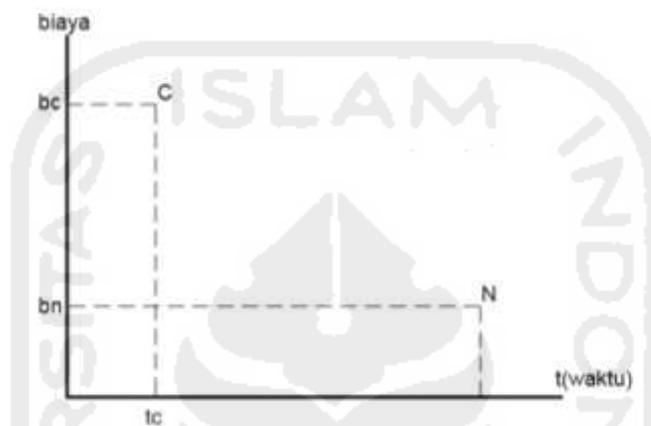
1. Perkiraan dengan biaya termurah (*The Least Cost Solution*)
2. Perkiraan dengan waktu tersingkat (*The Last Time Solution*)

Perkiraan dengan waktu tersingkat adalah suatu kegiatan dimana semua kegiatan diselesaikan dalam waktu yang singkat dengan biaya minimum. Untuk mendapatkan waktu yang sesingkat mungkin, sebagian besar kegiatan kegiatan dalam pelaksanaan proyek harus dipercepat waktu pengerjaannya. Tetapi hal ini tidaklah berarti bahwa seluruh aktifitas yang ada pada proyek harus dipercepat untuk mendapatkan pemecahana waktu yang tersingkat.

Untuk kasus dimana semua kegiatan yang terlibat pada proyek dipercepat waktu konstruksinya, hal ini disebut *All Crashed Solution*. Solusi ini memerlukan biaya yang selalu lebih besar jika dibandingkan terhadap pemecahan dengan waktu yang tersingkat. Membandingkan kedua hal ini, maka keadaan *All Crashed Solution* merupakan kondisi yang tidak ekonomis.

Hal terpenting yang diperlukan untuk mencari hubungan antara waktu dan biaya konstruksi paling ekonomis adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara biaya langsung dengan waktu penyelesaian (kegiatan).

Dua keadaan perkiraan yang sudah disebutkan diatas yaitu perkiraan dengan biaya termurah dan perkiraan waktu yang tersingkat, jika digambarkan pada susunan sumbu salib, maka akan didapatkan dua titik keadaan.



Gambar 3.11 Kurva Perkiraan Biaya Langsung-Waktu Kegiatan
(Sumber: Budiarmo, 2008)

Titik N menunjukkan keadaan perkiraan normal, yaitu kegiatan diselesaikan dalam waktu normal dan biaya normal. Keadaan ini menunjukkan tidak ada penambahan alokasi sumber daya dari luar untuk mempercepat kegiatan.

Sedangkan titik C menunjukkan keadaan perkiraan crash program, yaitu aktifitas atau kegiatan diselesaikan dalam waktu yang tersingkat yang dapat dicapai. Pada keadaan crash program ini diperlukan alokasi sumber daya dari luar secara maksimal. Dari kedua keadaan ekstrim seperti terlihat pada gambar dimuka, ditarik suatu bentuk garis singgung antara titik normal dan titik crash program tersebut.

3.7 METODE LEAST COST SCHEDULING

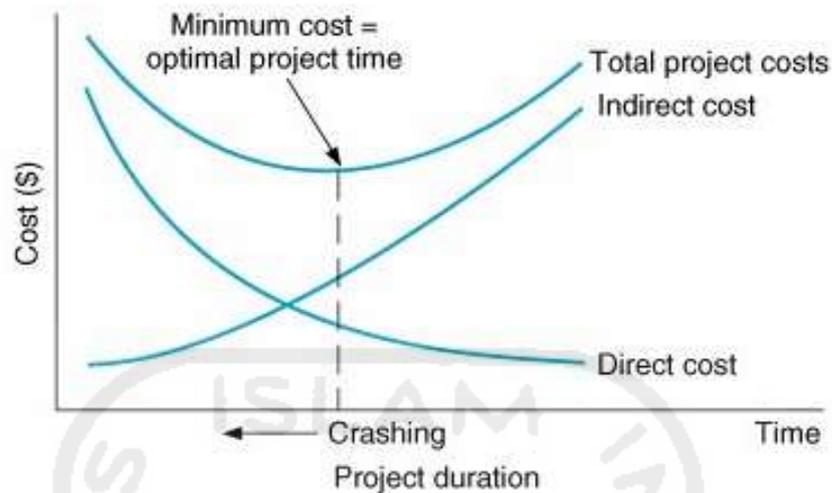
Least Cost Scheduling dipakai sebagai bahan pertimbangan pengambilan keputusan dalam melakukan percepatan waktu dan suatu proyek untuk mendapatkan total biaya percepatan yang minimal (Soeharto,1995). Pada

prinsipnya teori *Least Cost Scheduling* dipakai untuk menentukan kondisi optimal biaya dan waktu dalam proses pelaksanaan suatu proyek dimana proses tersebut menuntut untuk dilakukannya percepatan terhadap proyek itu. Dalam kondisi normal (tidak perlu percepatan), proyek akan mempunyai waktu maksimum dan biaya yang minimum, sedangkan pada kondisi dibutuhkan percepatan durasi pelaksanaan maka akan diperoleh waktu minimum dengan biaya yang maksimum yang dapat diterima.

Untuk mempercepat durasi proyek, maka yang harus dipercepat adalah kegiatan-kegiatan yang ada pada lintasan kritis. Percepatan tersebut dapat dilakukan dengan berbagai cara misalnya menambah tenaga kerja, melakukan kerja lembur, menambah peralatan, merubah metode pelaksanaan dan lain-lain. Dengan melakukan percepatan durasi kegiatan maka akan mengakibatkan tambahan biaya, sebagai contoh adalah bila ingin mempercepat tercapainya karakteristik kuat tekan beton yang disarankan dengan menggunakan bahan *additive* beton, maka kuat tekan beton yang disarankan dapat dicapai dalam waktu 14 hari yang biasanya dalam waktu 28 hari. Tambahan biaya akan terjadi untuk penggunaan *additive*, penambahan tenaga kerja, penambahan alat dan sebagainya.

Untuk menganalisa lebih lanjut hubungan antara waktu dan biaya suatu kegiatan, dipakai definisi berikut :

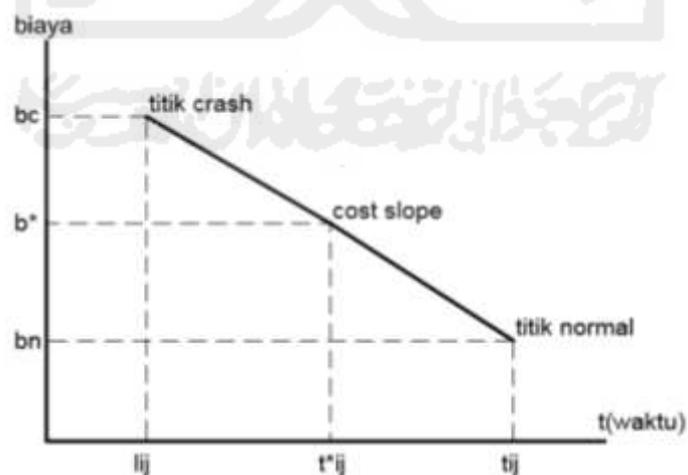
1. Kurun waktu normal (*Normal Time*) Merupakan kurun waktu yang diperlukan untuk melakukan kegiatan sampai selesai, dengan cara yang efisien tetapi diluar pertimbangan adanya kerja lembur dan usaha-usaha khusus lainnya, seperti menyewa peralatan yang lebih canggih.
2. Kurun waktu dipercepat (*Crash Time*) Merupakan waktu tercepat untuk menyelesaikan kegiatan yang secara teknis masih mungkin dilakukan. Dalam hal ini dianggap sumber daya bukan merupakan hambatan.
3. Biaya normal (*Normal Cost*) Merupakan biaya langsung yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan dengan kurun waktu normal.
4. Biaya untuk waktu dipercepat (*Crash Cost*) Merupakan jumlah biaya langsung untuk menyelesaikan kegiatan dengan kurun waktu yang sudah dipercepat.



Gambar 3.12 Kurva Perbandingan Biaya Langsung-Biaya Tidak Langsung
(Sumber: Budiarmo, 2008)

Dengan terjadinya penambahan biaya jika durasinya dipercepat, sehingga menimbulkan *cost slope* untuk setiap kegiatan dipercepat. Biaya yang meningkat ini termasuk pada biaya langsung, sedangkan dengan bertambah singkatnya waktu pelaksanaan konstruksi, maka biaya tak langsung akan semakin rendah.

Berdasarkan uraian di atas selanjutnya dibuat kurva pendekatan waktu-biaya langsung suatu kegiatan dan diambil dengan notasi-notasi sebagai berikut.



Gambar 3.13 Kurva Hubungan Waktu-Biaya Normal & Dipersingkat Suatu Kegiatan (Sumber : Dannyanti, 2010)

Suatu kegiatan atau aktifitas (i,j) dapat diselesaikan dalam waktu normal $k_{i,j}$ dan biaya normal bn . Aktifitas (i,j) ini dapat pula diselesaikan dalam waktu yang lebih cepat $l_{i,j}$ dengan biaya yang lebih tinggi yaitu bc .

bc = biaya langsung dari kegiatan (i,j) yang diselesaikan dalam waktu yang tercepat.

bn = biaya langsung dari kegiatan (i,j) yang diselesaikan dalam waktu normal.

l_{ij} = waktu paling cepat untuk menyelesaikan kegiatan (i,j).

k_{ij} = waktu normal untuk menyelesaikan kegiatan (i,j).

t_{ij} = waktu optimal untuk menyelesaikan kegiatan (i,j) yang dibatasi k_{ij} dan l_{ij} , dimana $l_{ij} < t_{ij} < k_{ij}$.

$$\text{Cost Slope} = \frac{(bn-bc)}{k_{ij}-l_{ij}} \quad (3.1)$$

Untuk melakukan *crashing* harus dilakukan secara selektif kegiatan-kegiatan mana yang dilakukan *crash* agar pertambahan biayanya minimal (minimal cost). Pertambahan biaya minimal ditunjukkan oleh *cost slope* paling kecil.

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

1. Waktu mulai paling awal dan akhir harus sama ($ES = LS$)
2. Waktu selesai paling awal dan akhir harus sama ($EF = LF$)
3. Kurun waktu kegiatan adalah sama dengan perbedaan waktu selesai paling akhir dengan waktu mulai paling awal ($LF-ES=D$)

Menurut Shtub dan F Brand (1994), *crashing* adalah suatu cara mempersingkat waktu dari aktifitas pekerjaan dengan menambah sumber daya dan biaya langsung. Pada saat *crashing* harus ditetapkan aktifitas mana dan berapa besar biaya aktifitas tersebut. Dalam rangka percepatan waktu kita membutuhkan informasi berikut ini untuk tiap-tiap pekerjaan:

1. Biaya yang dibutuhkan masing-masing pekerjaan dalam situasi normal

2. Penyelesaian waktu proyek dalam kondisi percepatan, yaitu waktu paling singkat yang dapat dilakukan dibawah kondisi percepatan
3. Biaya pekerjaan dalam kondisi percepatan

Metode ini pada dasarnya mengkaji hubungan antara waktu selesainya suatu bagian pekerjaan dengan biaya proyek. Tujuan utama dari *least cost scheduling* atau sering disebut juga *minimum cost project scheduling* menurut Dregar (1992) adalah:

1. Meyakinkan klien
2. Meningkatkan cara pencapaian mutu
3. Mencapai batas waktu yang telah ditentukan
4. Mengendalikan pengeluaran biaya
5. Mengembangkan *minimum cost scheduling* sesuai dengan permintaan klien dan komitmen proyek.

Dalam metode *least cost scheduling* hubungan antara waktu dan kegiatan dengan biaya langsung dan titik langsung yang akan terjadi dihubungkan sehingga pada akhirnya dengan mengurangi atau menambah waktu pelaksanaan proyek (dengan mengurangi durasi dari kegiatan kritis) akan didapat harga pelaksanaan proyek yang paling rendah.

Least cost scheduling adalah prosedur yang didasarkan pada sifat-sifat deterministik yang akan menghasilkan durasi proyek yang paling singkat dengan biaya paling minimum yang masih memungkinkan.

Pada metode ini jaringan kerja PDM (*precedence diagram method*) dapat digunakan untuk menganalisis masalah tersebut, yaitu dengan memperkirakan:

1. Jadwal yang ekonomis bagi suatu proyek, yang didasarkan atas biaya langsung untuk mempersingkat waktu penyelesaian komponen-komponennya.
2. Jadwal yang optimal dengan memperhatikan biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*)

Berdasarkan definisi-definisi tersebut maka diterapkan prosedur *least cost scheduling*:

1. Menghitung waktu penyelesaian proyek memakai jaringan kerja dengan memakai kurun waktu normal
2. Menghitung biaya normal masing-masing kegiatan
3. Menentukan biaya dipercepat masing-masing kegiatan
4. Menghitung slope biaya masing-masing kegiatan
5. Mempersingkat kurun waktu kegiatan, dimulai dari kegiatan kritis yang mempunyai slope biaya terendah
6. Bila dalam proses mempercepat waktu proyek terbentuk jalur kritis baru, maka percepatan kegiatan-kegiatan kritis yang mempunyai kombinasi slope biaya terendah
7. Meneruskan mempersingkat waktu kegiatan sampai titik proyek dipercepat
8. Membuat tabulasi biaya versus waktu yang kemudian digambarkan kedalam grafik
9. Menghitung biaya tidak langsung dan kemudian digambarkan kedalam grafik
10. Menjumlahkan biaya langsung dan biaya tidak langsung untuk mendapatkan biaya total
11. Memeriksa grafik biaya total untuk mencapai waktu yang optimal yaitu kurun waktu penyelesaian dengan biaya terendah