

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Perencanaan Penjadwalan

3.1.1. Umum

Karena kompleksnya suatu proyek, para pengelola proyek selalu ingin meningkatkan kualitas perencanaan dan pengendalian. Banyak metode yang akhirnya ditemukan, mulai dari bagan balok (*bar chart*) sampai analisis jaringan kerja (*network diagram analysis*) yang sistematis.

3.1.2. Ruang Lingkup, Manfaat, dan Fungsi Perencanaan

Menurut Iman Soeharto (19097) Pada aspek perencanaan, baik manajemen proyek maupun klasik keduanya mengikuti hirarki perencanaan. Namun pada tahap operasional manajemen proyek perlu didukung oleh suatu metode perencanaan yang dapat menyusun secara cermat urutan pelaksanaan kegiatan maupun penggunaan sumber daya bagi kegiatan-kegiatan tersebut. Metode dan teknik yang dimaksud adalah :

- a. Analisis jaringan kerja, seperti metode jalur kritis (CPM), teknik pengkajian dan telaah proyek (PERT), dan metode preseden diagram (PDM).
- b. Metode penyusunan perkiraan biaya proyek, dilakukan dengan bertahap, sesuai dengan keperluan dan informasi yang tersedia pada waktu yang bersangkutan, yang dikenal dengan perkiraan biaya pendahuluan (*preliminary cost estimate*), perkiraan biaya proyek (*project budget*), dan perkiraan biaya definitif (*definitive estimate*).

Menurut Priyo (2001), perencanaan ialah proses kegiatan pemikiran, dugaan dan penentuan prioritas yang harus dilakukan secara nasional sebelum melaksanakan tindakan yang sebenarnya.

Manfaat dari perencanaan adalah :

- mengorganisir kegiatan-kegiatan yang terkait dalam proyek.
- menentukan pembagian tugas, waktu dan cara pelaksanaan tugas.
- memperkirakan jumlah sumberdaya yang dibutuhkan.
- mengalokasikan tanggung jawab pelaksanaan proyek.
- mempermudah komunikasi antara unsur-unsur yang terkait.
- memudahkan dalam pengendalian kemajuan proyek.
- mengantisipasi kondisi-kondisi yang tidak diharapkan, dalam perubahan rencana yang mungkin terjadi selama proyek berlangsung.

Perencanaan memiliki dua fungsi yaitu :

1. Fungsi pengorganisasian (tahap permulaan)

Menurut Iman Soeharto (1997), pengorganisasian adalah mengatur unsur-unsur sumber daya perusahaan yang terdiri dari tenaga kerja, tenaga ahli, material, dana dan lain-lain dalam suatu gerak langkah yang sinkron untuk mencapai tujuan organisasi dengan efektif dan efisien. Untuk maksud tersebut diperlukan sarana, yaitu organisasi.

Unsur-unsur pelaksana pembangunan yang akan terlibat dalam pengorganisasian adalah :

a. Pemberi tugas/principal (*owner, employer, client, bouwheer*)

Orang/badan yang memberikan/menyuruh memberikan pekerjaan bangunan. Pemberi tugas dapat berupa perseorangan, badan instansi/lembaga baik pemerintah maupun swasta.

b. Perencana (*designer, architect*)

Orang atau badan yang membuat perencanaan lengkap dari suatu pekerjaan bangunan. Perencanaan dapat berupa perseorangan atau perseorangan yang berbadan hukum, atau badan hukum yang bergerak dalam bidang perencanaan pekerjaan bangunan.

c. Kontraktor/pemborong (*contractor, aannemer*)

Orang atau badan hukum yang menerima dan menyelenggarakan pekerjaan bangunan menurut biaya yang telah tersedia dan melaksanakan sesuai dengan peraturan dan syarat-syarat serta gambar rencana yang telah ditetapkan. Kontraktor dapat berupa badan/perusahaan yang bersifat perseorangan yang berbadan hukum atau badan hukum yang bergerak dalam bidang pelaksanaan pekerjaan bangunan.

2. Fungsi Pengendalian (tahap Pelaksanaan)

Menurut Soehendradjati dalam Harahap (2003), seluruh kegiatan pelaksanaan harus menuju kepada arah tujuan yang hendak dicapai dan tetap dalam arah kebijaksanaan yang telah ditetapkan. Dalam rangka pelaksanaan ini unsur-unsur dalam siklus manajemen adalah unsur pimpinan dan pengendalian, kedua unsur ini merupakan alat untuk menjamin bahwa pelaksanaannya diarahkan kepada tujuannya.

- a. Pimpinan, akan bertanggung jawab secara keseluruhan terhadap gerak organisasi menuju sasaran-sasaran yang telah ditetapkan, dimana pemimpin harus mampu mempengaruhi dan menggerakkan orang bawahnya bekerja sama dalam hubungan usaha bersama untuk mencapai sasaran-sasaran dan tujuan.
- b. Pengendalian, merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan proses kepemimpinan, adalah kegiatan untuk menjamin persesuaian hasil karya dengan rencana yang telah ditetapkan, termasuk tindakan koreksi terhadap kesalahan dan penyimpangan. Dengan dilakukan pengendalian, maka setiap saat dari proses pelaksanaan dapat dipantau hasilnya, apakah sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. Obyek pengendalian dalam suatu proyek dapat berupa tenaga kerja, material, biaya, waktu dan administrasi.
- c. Koordinasi, adalah suatu proses yang menghubungkan rangkaian kegiatan, bertujuan untuk menyerasikan tiap langkah dan kegiatan dalam organisasi agar tercapai gerak yang cepat untuk mencapai sasaran dan tujuan. Koordinasi yang baik memerlukan saling pengertian antara semua anggota organisasi tentang tugas, wewenang, cara kerja dan tanggung jawab masing-masing dan mempunyai peranan menghubungkan bagian-bagian /unit-unit maupun pimpinan dan pelaksana/petugas.

3.2. Penjadwalan

Penjadwalan merupakan penterjemah suatu perencanaan kedalam suatu diagram-diagram yang sesuai dengan waktu. Penjadwalan menentukan waktu aktifitas pelaksanaan proyek itu dimulai, ditunda, dan diselesaikan sehingga biaya

pelaksanaan dan pemakaian sumber daya dapat disesuaikan dengan waktu menurut kebutuhan yang diperlukan. Dalam pelaksanaan proyek konstruksi diusahakan mendapat waktu penyelesaian yang paling pendek dan biaya pelaksanaan proyek seminim mungkin. Sehingga dalam usaha memperpendek waktu penyelesaian proyek benar-benar menilai dan melihat aktivitas-aktivitas pengerjaan proyek yang telah disusun dan diurutkan secara bersambung. Aktivitas pengerjaan suatu proyek biasanya disusun didalam suatu diagram (*network planning*). Di dalam diagram *network* terdapat beberapa lintasan kritis.

Untuk menggambarkan dan merencanakan penjadwalan secara grafis dari aktivitas pelaksanaan proyek, dibagi menjadi beberapa metode antara lain :

1. Diagram balok.
2. Diagram garis.
3. Diagram panah.
4. Diagram precedence.
5. Diagram skala waktu.

Dari kelima metode penjadwalan diatas yang sering digunakan adalah diagram balok dan diagram anak panah.

3.2.1. Diagram Balok

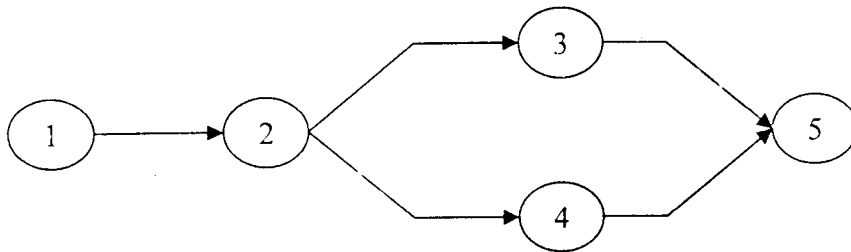
Diagram balok digambarkan seperti tabel dimana baris dan tabel tersebut berisi jenis aktivitas yang direncanakan dan kolom dari tabel tersebut menyatakan skala waktu. Pelaksanaan suatu aktivitas digambarkan sebagai garis tebal horizontal, dimana awal dari garis tebal menyatakan waktu dimulainya, dari garis tebal menyatakan waktu selesainya, dan garis tebal tersebut menyatakan lamanya aktivitas tersebut.

	Aktivitas	Jan	Feb	Mar	Apr	
1	Galian tanah	▬				
2	Galian tanah sloof		▬			
3	Urugan tanah kembali			▬		
4	Perataan tanah galian				▬	
5	Urugan pasir bawah		▬			

Diagram balok mempunyai bentuk garis yang sederhana sehingga mudah dimengerti oleh semua tingkatan manajemen. Oleh karena itu umumnya diagram balok dapat diterima secara luas.

3.2.2. Diagram Panah

Didalam diagram ini aktivitas digambarkan dalam jaringan kerja. Diagram jaringan kerja tersebut berisi lintasan-lintasan kegiatan dan urutan-urutan peristiwa yang ada selama penyelenggaraan proyek. Dengan diagram panah jaringan kerja dapat dilihat hubungan antar kegiatan, seperti hubungan akhir-awal sehingga apabila terdapat keterlambatan pada sebuah kegiatan memungkinkan untuk terjadinya keterlambatan untuk dimulainya kegiatan yang lainnya.



Dengan menggunakan diagram panah ini, kemudian ditetapkan lamanya proyek, kapan saat mulai dan kapan saat berakhirnya masing-masing aktivitas sehingga membentuk jaringan kerja.

3.2.3 PDM (*Precedence Diagram Method*)

PDM adalah jaringan kerja yang termasuk klasifikasi AON, di mana kegiatan ditulis dalam node dan anak panah sebagai petunjuk hubungan antara kegiatan-kegiatan yang bersangkutan. Dalam PDM diperkenankan adanya hubungan tumpang tindih (*overlapping*) yaitu suatu pekerjaan berikutnya bisa dikerjakan tanpa harus menunggu pekerjaan terdahulu (*predecessor*) selesai, sehingga dalam PDM tidak mengenal istilah kegiatan semu antara dua kegiatan yang tidak membutuhkan waktu dan sumberdaya (*dummy*).

Dalam PDM, kotak (*node*) menandai suatu kegiatan sehingga harus dicantumkan identitas kegiatan dan kurun waktu (durasi), sedangkan peristiwa merupakan ujung setiap kegiatan. Setiap node mempunyai dua peristiwa yaitu peristiwa awal dan akhir. Ruang dalam node dibagi menjadi bagian-bagian kecil yang berisi keterangan dari kegiatan antara lain, kurun waktu kegiatan (D).

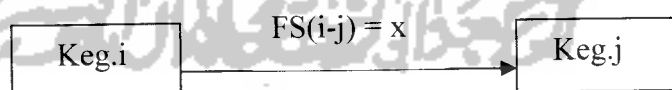
identitas kegiatan (nomor dan nama), mulai dan selesainya kegiatan (*Earlist Start-ES, Latest Start-LS, Earlist Finish-EF, Latest Finish-LF*).

Berbeda dengan CPM maupun Pert yang hanya mengenal satu pembatasan (*constraint*) antar kegiatan yaitu *Finish to Start* (suatu pekerjaan bisa dilaksanakan apabila pekerjaan sebelumnya telah selesai dilaksanakan), pada PDM mengenal lebih dari satu pembatasan (*constraint*) antar kegiatan yaitu SS, SF, FS, FF. Oleh karena itu dalam PDM diperbolehkan suatu kegiatan dimulai sebelum kegiatan yang mendahuluinya selesai 100% (tumpang tindih).

Pada PDM dikenal empat macam pembatasan (*constraint*), yaitu :

1. Konstrains selesai ke mulai (FS).

Konstrains ini memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan dengan selesainya kegiatan terdahulu. Selang waktu menunggu berikutnya disebut *lag* (terlambat tertunda). Dirumuskan sebagai $FS(i-j) = 0$ yang berarti kegiatan (j) dimulai setelah kegiatan yang mendahuluinya (i) selesai. Dan jika $FS(i-j) = x$ hari berarti aktivitas j boleh dimulai setelah x hari selesainya aktivitas (i).

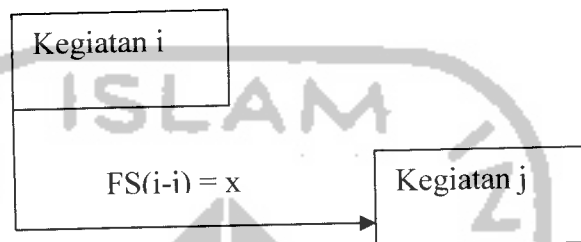


Gambar 3.3. Konstrain FS

2. Konstrains Mulai ke Mulai (SS)

Memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu. Selang waktu antara kedua aktivitas disebut *lead* (mendahului). Atau $SS(i-j) = 0$ yang berarti suatu kegiatan (i-j) dapat dimulai

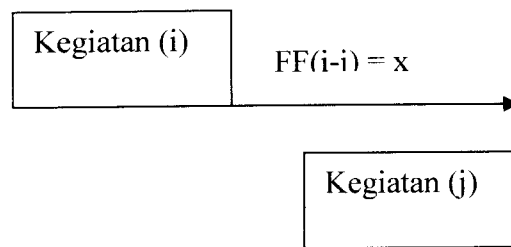
bersama-sama dan jika $SS(i-j) = x$ hari berarti aktivitas (j) boleh dimulai setelah aktivitas (i) berlansung x hari. . Konstrains semacam ini terjadi bila sebelum kegiatan terdahulu selesai 100%, maka kegiatan (j) boleh mulai. Atau kegiatan (j) boleh mulai setelah bagian tertentu dari kegiatan (i) selesai. Jadi disini terjadi kegiatan tumpang tindih (*overlapping*).



Gambar.3.4. Konstrain SS

3. Konstrain Selesai ke Selesai (FF)

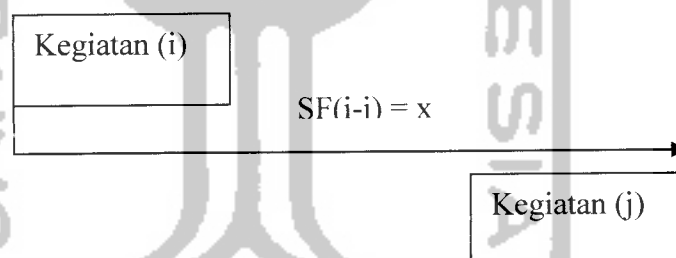
Memberikan penjelasan hubungan antara selesainya suatu kegiatan dengan selesainya kegiatan terdahulu. Selang waktu antara kedua kegiatan disebut *lag*. Atau $FF(i-j) = 0$ yang berarti kedua aktivitas (i-j) dapat selesai secara bersamaan, jika $FF(i-j) = x$ hari berarti aktivitas (j) selesai setelah x hari aktivitas (i) selesai dan jika $FF(i-j) = -x$ hari berarti aktivitas (j) selesai x hari lebih dahulu dari aktivitas (i). Konstrain ini mencegah selesainya suatu kegiatan mencapai 100%, sebelum kegiatan yang terdahulu telah sekian hari selesai. Dari Gambar sebagai contoh terlihat bahwa kegiatan (j) boleh mulai sembarangan waktu, tetapi pada waktu kegiatan (i) selesai, harus masih ada porsi kegiatan (j) yang belum selesai.



Gambar.3.5. Konstrain FF

4. Konstrain Mulai ke Selesai (SF)

Menjelaskan hubungan antara selesainya kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu. Selang waktu antara kedua kegiatan disebut *lead*. Dituliskan dengan $SF(i-j) = x$, yang berarti suatu kegiatan (j) selesai setelah x 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.3.6. Konstrain SF

Jadi dalam menyusun jaringan PDM khususnya dalam menentukan urutan ketergantungan, maka akan lebih banyak factor yang harus diperhatikan, antara lain :

- a. Kegiatan mana yang boleh dimulai sesudah kegiatan tertentu selesai dan berapa lama jarak waktu antaranya.
- b. Kegiatan mana yang harus dimulai sesudah kegiatan tertentu mulai dan berapa lama jarak waktu antaranya.

c. Kegiatan mana yang harus diselesaikan sesudah kegiatan tertentu selesai dan berapa lama jarak waktu antaranya.

d. Kegiatan mana yang harus diselesaikan sesudah kegiatan tertentu boleh dimulai dan berapa lama jarak waktu antaranya.

3.3. Identifikasi Jalur Kritis

Bertambahnya parameter yang digunakan akan menyebabkan perhitungan untuk mengidentifikasi kegiatan pada jalur kritis menjadi lebih kompleks. Untuk maksud tersebut, dalam analisis perlu memperhatikan hubungan kegiatan dan konstrain yang terkait.

3.3.1. Hitungan Maju

Hitungan maju atau hitungan kemuka ini pada dasarnya adalah untuk menghitung waktu mulai tercepat (*earlest start time*) dan waktu selesai tercepat (*earlest finish time*). Hitungan maju dimulai dari ujung kiri, merupakan peristiwa pertama menandai dimulainya proyek. Berlaku untuk hal-hal sebagai berikut :

- a. Menghasilkan ES, EF dan kurun waktu penyelesaian proyek.
- b. Diambil angka ES terbesar bila lebih dari satu kegiatan bergabung.
- c. Notasi (i) bagi kegiatan pendahulu dan (j) kegiatan selanjutnya.
- d. Waktu awal dianggap nol.
- e. 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 ada 4 konstrain maka terdapat rumus :

$$\begin{aligned}
 ES(j) &= ES(i) + SS(i-j) \text{ atau} \\
 &ES(i) + SF(i-j) - D(j) \text{ atau} \\
 &EF(i) + FS(i-j) \text{ atau} \\
 &EF(i) + FF(i-j) - D(j)
 \end{aligned}$$

- f. Waktu selesai paling awal kegiatan yang sedang ditinjau $EF(j)$, adalah sama dengan waktu paling awal kegiatan tersebut $ES(j)$ ditambah kurun waktu kegiatan yang bersangkutan $D(j)$ atau ditulis dengan rumus menjadi :

$$EF(j) = ES(j) + D(j)$$

3.3.2. Hitungan Mundur

Hitungan mundur atau hitungan kebelakang ini digunakan untuk menghitung waktu mulai paling lambat (*latest start time*) dan waktu selesai paling lambat (*latest finish time*). Berlaku untuk hal-hal berikut ini :

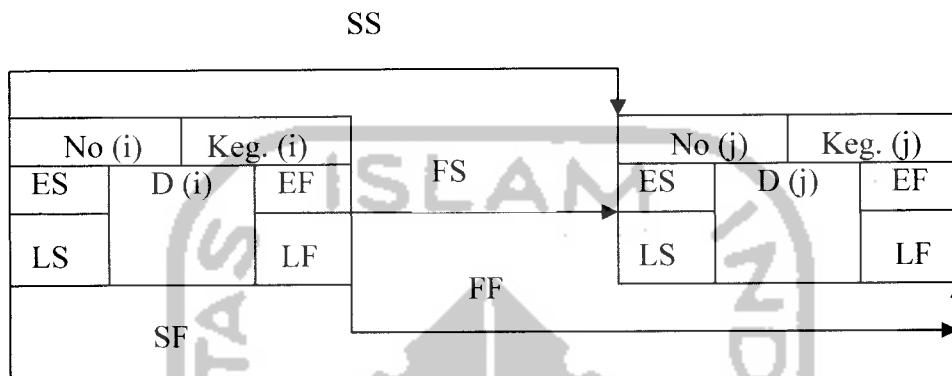
- Menentukan LS, LF dan kurun waktu float.
- Bila lebih dari satu kegiatan bergabung diambil angka LS terkecil.
- Notasi (i) bagi kegiatan yang ditinjau dan notasi (j) kegiatan berikutnya.
- Waktu selesai paling akhir dari kegiatan yang sedang ditinjau $LF(i)$ adalah sama dengan angka terkecil dari jumlah angka kegiatan LS dan LF ditambah konstrain yang bersangkutan.

$$\begin{aligned}
 LF(i) &= LF(j) - FF(i-j) \text{ atau} \\
 &LF(j) - SF(i-j) + D(i) \text{ atau} \\
 &LS(j) - FS(i-j) \text{ atau} \\
 &LS(j) - SS(i-j) + D(i)
 \end{aligned}$$

- e. Waktu mulai paling akhir kegiatan yang sedang ditinjau $LS(i)$, adalah sama dengan waktu selesai paling akhir kegiatan tersebut $LF(i)$ dikurangi kurun waktu kegiatan yang bersangkutan $D(i)$ atau ditulis dengan rumus :

$$LS(i) = LF(i) - D(i)$$

b.



Gambar.3.7. Menghitung ES, EF, LS, dan LF

3

3.3.3. Jalur Kegiatan Kritis

Jalur kegiatan kritis pada PDM mempunyai sifat, 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, $D = LF - ES$.
- Bila hanya sebagian dari ketiga syarat diatas terpenuhi, maka kegiatan tersebut secara utuh dianggap kritis.

3.3.4. Float

Tenggang waktu (*float*) adalah waktu yang diperkenankan untuk mengeser-geser kegiatan suatu proyek, tanpa mempengaruhi jadwal penyelesaian proyek secara keseluruhan. Ada dua macam tenggang waktu, yaitu :

- a. *Float* Total (TF) adalah jumlah penundaan maksimum yang dapat diberikan pada suatu kegiatan tanpa menghambat penyelesaian keseluruhan proyek.

Float total dapat dihitung dengan rumus :

$$TF = LF - EF = LS - ES$$

- b. *Float* Bebas (FF) adalah penundaan yang masih dapat diberikan pada suatu kegiatan tanpa mengakibatkan penundaan kegiatan berikutnya atau sama dengan waktu mulai paling awal (ES) dari kegiatan berikutnya dikurangi waktu selesai paling awal (FS) kegiatan dimaksud.

$$FF = ES(j) - FF(i)$$

3.4. Waktu Pelaksanaan Proyek

Ada dua faktor penentu waktu pelaksanaan proyek yaitu faktor teknis dan faktor non teknis, yang termasuk faktor-faktor teknis adalah volume pekerjaan, sumber daya, ruangan, jam kerja per hari kerja, sedangkan yang termasuk faktor-faktor non-teknis adalah banyaknya hari-hari hujan, dan cuaca yang tidak memungkinkan penyelenggaraan.

Dari kedua faktor diatas, maka durasi masing-masing aktifitas akan bervariasi menjadi beberapa kriteria dari waktu pelaksanaan proyek dalam tiga kondisi :

1. Durasi normal
2. Durasi lambat.
3. Durasi cepat.

3.5. Pengendalian Proyek

Menurut Priyo (2001), pengendalian adalah usaha yang sistematis untuk menentukan standar yang sesuai dengan sasaran perencanaan, merancang sistem informasi, membandingkan pelaksanaan dengan standar, menganalisis kemungkinan adanya penyimpangan antara pelaksanaan dan standar, kemudian mengambil tindakan pembetulan yang diperlukan agar sumber daya digunakan secara efektif dan efisien dalam rangka mencapai tujuan.

Pengendalian proyek memiliki 2 (dua) fungsi yang sangat penting :

1. Fungsi pemantauan dan motivasi performa

Dengan pemantauan yang baik terhadap semua kegiatan proyek akan memaksa unsur-unsur pelaksana untuk bekerja secara cakap dan jujur. Pemantauan yang baik ini akan menjadi motivasi utama untuk mencapai performa yang tinggi, misalnya dengan memberi penjelasan kepada para pekerja mengenai apa saja yang harus mereka lakukan untuk mencapai performa yang tinggi kemudian memberikan umpan balik terhadap performa yang telah dicapainya sehingga masing-masing mengetahui sampai dimana prestasi yang telah dicapai.

2. Fungsi Manajerial

Pada proyek-proyek yang kompleks dan mudah terjadi perubahan pemakaian pengendalian dan sistem informasi yang baik akan memudahkan manajer untuk segera mengetahui bagian-bagian pekerjaan yang mengalami kegagalan atau memiliki performa jelek. Dengan demikian dapat segera dilakukan usaha mengatasi atau meminimalkan kejanggalan tersebut.

Menurut Priyo (2001), pengendalian proyek yang berkaitan dengan CPM adalah pengendalian biaya dan waktu dan terdiri atas kegiatan *monitoring* dan *updating*, yaitu *monitoring* kemajuan pekerjaan dan membandingkan dengan rencana/jadwal, serta meng-*update* rencana/jadwal sisa pelaksanaan proyek. Pengendalian proyek disini difokuskan untuk memastikan agar tujuan proyek yang telah ditetapkan sebelumnya (terutama yang berkaitan dengan waktu dan biaya) dapat tercapai.

3.5.1. Pengendalian Biaya

Pengendalian biaya bertujuan menjamin agar biaya akhir proyek tidak melampaui rencana anggaran pelaksanaannya. Peluang terbesar untuk menekan proyek justru pada tahap studi kelayakan dan perencanaan. Pengendalian biaya secara teratur harus dilakukan sejak saat-saat pengembangan gagasan membentuk rancangan. Alat Bantu yang baik adalah rencana anggaran pelaksanaan yang mengkait mutu, volume harga satuan pekerjaan yang didapat. Terutama untuk komponen biaya-biaya utama yang menentukan, seperti pekerjaan tanah, lantai dan atap. Disamping itu, alat bantu yang penting lainnya dalam upaya pengendalian adalah estimasi biaya akhir, yang secara teratur bisa jadi harus direvisi agar dapat mencerminkan keadaan nyata pada saat tertentu. Apabila terdapat ketidak sesuaian antara estimasi dengan pembelanjaan anggaran proyek, harus segera diambil tindakan-tindakan koreksi seperlunya. Sedangkan alat bantu untuk mengendalikan agar estimasi tetap relevan adalah dengan mencermati riwayat pembiayaan untuk setiap pos pekerjaan. Dalam proses tersebut semua kejadian yang mempengaruhi biaya akhir dicatat dan selalu dipantau.

3.5.2. Pengendalian Waktu

Menurut Iman Soeharto (1995), obyek pengendalian amat ekstensif. Hendaknya dipilih jadwal pekerjaan yang bersifat kritis. Pertama-tama perencanaan penyusunan jadwal induk selanjutnya diperinci menjadi komponennya yang bersifat kritis yaitu, *milestone*. Jumlah *milestone* tergantung jenis proyek dan pertimbangan pengelola proyek. Masing-masing kegiatan seperti *engineering*, pengadaan material, dan konstruksi mempunyai kegiatan yang bersifat kritis dan dapat dijadikan *milestone*.

3.6. Hubungan Antara Waktu dan Biaya

Salah satu unsur perencanaan proyek adalah menyusun perkiraan biaya atau anggaran. Biaya proyek adalah semua biaya yang mempunyai keterlibatan baik secara langsung maupun tidak langsung pada harga total proyek. Menurut Iman Soeharto (1995), ada dua macam biaya proyek :

1. Biaya langsung (*direct cost*) yaitu biaya untuk segala sesuatu yang akan menjadi komponen permanen hasil akhir proyek. Biaya langsung terdiri dari :
 - a. Penyiapan lahan (*site preparation*), pekerjaan ini terdiri dari *clearing*, *grubbing*, menimbun dan memotong tanah, mengeraskan tanah, dan lain-lain. Disamping itu juga pekerjaan membuat pagar dan jalan.
 - b. Pengadaan peralatan utama. Semua peralatan utama yang tertera dalam gambar disain *engineering*.
 - c. Biaya merakit dan memasang peralatan utama.
 - d. Alat-alat listrik dan instrumen.

- e. Pembangunan gedung perkantoran, pusat pengendalian operasi (*control room*), gudang, dan bangunan sipil lainnya.
 - f. Pembebasan tanah. Biaya pembebasan tanah sering kali dimasukkan ke dalam biaya langsung.
2. Biaya tak langsung (*indirect cost*) yaitu pengeluaran untuk manajemen, supervisi dan pembayaran material serta jasa untuk pengadaan bagian proyek yang tidak akan menjadi instalasi atau produk permanen, tetapi diperlukan dalam rangka proses pembangunan proyek. Biaya tak langsung meliputi :
- a. Gaji tetap dan tunjangan bagi tim manajemen, gaji dan tunjangan bagi tenaga *engineering, inspector*, penyelia konstruksi lapangan, dan lain-lain.
 - b. Kendaraan dan peralatan konstruksi. Termasuk biaya pemeliharaan, pembelian bahan bakar, minyak pelumas dan suku cadang.
 - c. Pembangunan fasilitas sementara. Termasuk perumahan darurat tenaga kerja, penyediaan air listrik, dan lain-lain.
 - d. Pengeluaran umum.

Apabila waktu penyelesaian suatu aktivitas dipercepat, maka biaya langsung akan bertambah sedangkan biaya tak langsung akan berkurang.

Menurut Natan dkk (1986), penambahan biaya langsung untuk mempercepat suatu aktivitas persatuan waktu disebut *cost slope*. Pertambahan biaya langsung untuk mempercepat aktivitas persatuan waktu (*cost slope*) dapat dihitung dengan rumus :

$$= \frac{\text{Crash cost} - \text{Normal cost}}{\text{Normal duration} - \text{Crash duration}}$$

$$= \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

Crashprogram adalah proses mempersingkat waktu penyelesaian dalam suatu proyek. Apabila *crash program* diterapkan pada suatu proyek konstruksi, kemungkinan akan terjadi kenaikan biaya. Kenaikan biaya tersebut disebabkan oleh adanya penambahan tenaga kerja dan alat atau penggunaan kerja lembur. Untuk mendapatkan *crash program* dengan kenaikan biaya minimum, maka dapat dilakukan dengan meningkatkan efisiensi alat dan produktivitas tenaga kerja. Selain itu *crash program* dapat juga menurunkan biaya proyek.

3.7. Pertukaran Waktu dan Biaya

Biaya merupakan salah satu aspek penting dalam manajemen, dimana biaya yang timbul harus dikendalikan seminimum mungkin. Pengendalian biaya harus memperlihatkan faktor waktu, karena terdapat hubungan yang erat antara waktu penyelesaian dengan biaya-biaya proyek yang bersangkutan.

Didalam beberapa kasus, proyek-proyek harus diselesaikan dalam waktu tertentu. Penyesuaian diperlihatkan untuk mengubah penugasan sumber daya untuk mengoptimalkan alokasi sumber daya yang menghasilkan waktu yang diinginkan dengan biaya yang minimum. Secara umum, semakin banyak sumber daya yang digunakan, makin pendek waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas, tetapi biasanya biaya langsung semakin tinggi dan biaya tak langsung semakin berkurang. Fenomena ini yang dimaksud dengan pertukaran waktu dan biaya, atau dengan kata lain metode pertukaran waktu dan biaya adalah metode kompresi waktu pelaksanaan dengan memperhatikan hubungan antara waktu dan

biaya. Karena semakin dipercepat waktu pelaksanaan proyek, maka akan terjadi pula pertambahan biaya. Kompresi pada analisis pertukaran waktu dan biaya ini dilakukan pada aktivitas-aktivitas yang berada pada lintasan kritis. Karena apabila dilakukan pada aktivitas-aktivitas yang tidak berada pada lintasan kritis, maka waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan tidak akan berkurang.

Menurut Soekoto (1972), dijelaskan bahwa memperpendek waktu pelaksanaan dapat dilakukan dengan cara :

- a. Menambah kemampuan suatu pelaksanaan.
- b. Kerja lembur diatas jam kerja yang telah diperhitungkan.
- c. Paduan antara a dan b.

Secara teoritis, menambah tenaga kerja atau menambah peralatan, sebenarnya tidak menambah biaya pelaksanaan karena sejak awal perhitungan anggaran biaya pelaksanaan telah didasarkan atas jumlah hari kerja atau hari peralatan. Akan tetapi, hal ini hanya dapat berlaku kalau kegiatan tersebut belum dimulai sama sekali. Apabila kegiatan telah dimulai dan penilaian kemajuan menunjukkan adanya bahaya terlambat dan diputuskan menggunakan metode kompresi waktu pelaksanaan untuk menyelesaikan dalam sisa waktu yang masih tersedia, hal ini menunjukkan bahwa sebagian waktu telah dipergunakan habis kurang efisien.

Menambah kemampuan berupa penambahan tenaga kerja atau peralatan tidak selalu menguntungkan, mengingat kemungkinan ruangan kerja yang sempit tidak dapat menampung semua penambahan dengan efektif, sehingga akan terjadi kemampuan yang menganggur bukanlah hal yang tidak mungkin.

Dapat dipahami bahwa kerja lembur akan meningkatkan satuan harga penyelesaian kegiatan yang dipercepat tersebut (biaya penerangan, pakaian kerja yang sesuai dengan keadaan, dan sebagainya), disamping efisiensinya akan turun pula kalau dibandingkan dengan kerja biasa pada siang hari.

Apabila suatu kegiatan sebelumnya direncanakan untuk diselesaikan dalam N hari (jadi, waktu = N) dan biaya lembur = a kali kerja biasa, sedang efisiensi kerja lembur = b kali efisiensi kerja biasa, maka jika diputuskan untuk kerja lembur 1 hari, akan memperpendek waktu $N - 1 \times b$ dengan biaya penyelesaian menjadi $(N - 1 \times b) + 1 \times a$.

Dan kalau dilakukan kerja lembur M hari, maka waktu penyelesaian menjadi $(N - M \times b)$ dan biaya penyelesaian menjadi $(N - M \times b) + M \times a$. Secara matematis sederhana dapat ditulis :

$$D_L = N - Mb \quad (3.1)$$

$$B_L = (N - Mb) + Ma \quad (3.2)$$

Biaya tambahan untuk menyelesaikan pekerjaan :

$$S = M (a - b) \quad (3.3)$$

Apabila $b = 1$ (efisiensi sama dengan siang hari, maka waktu (D) yang paling minimal yang dapat dicapai = $0,5 N$. Hal ini dikarenakan kita tidak dapat kerja lembur lebih banyak daripada pekerjaan normalnya.

Jadi :

$$D_{\min} = N - 0,5 N \times b = 0,5 N (2 - b) \quad (3.4)$$

$$B_{\max} = N = 0,5 n (a - b) = 0,5 N (2 + a - b) \quad (3.5)$$

Dibawah ini diuraikan biaya tambahan yang diperlukan akibat percepatan waktu pelaksanaan : $S = M (a - b)$.

Dimana : D_{\min} = waktu cepat
 B_{\max} = penambahan biaya
 N = waktu normal
 a = biaya lembur = $a \times$ kerja biasa
 b = efisiensi kerja lembur

Dimana a dan b adalah dianggap konstan, maka boleh dikatakan bahwa variabel satu-satunya dalam persamaan diatas adalah M , jadi $S = f(M)$ adalah fungsi linier. Sebenarnya tidak demikian masalahnya, karena bagaimanapun a dan b bukan nilai konstan, nilai a dan b dianggap konstan.

