

BAB II

JARINGAN KERJA DENGAN CPM

2.1 Umum

Network planning adalah suatu metode/model untuk pengelolaan dan pengendalian suatu proyek. Kegiatan-kegiatan/pekerjaan-pekerjaan dari suatu proyek disusun berdasarkan logika keterkaitan/ketergantungan antara masing-masing kegiatan/pekerjaan tersebut, mana pekerjaan-pekerjaan yang mendahului, mana pekerjaan-pekerjaan yang mengikuti, dan mana pekerjaan-pekerjaan yang bebas tidak tergantung, sehingga dapat dikerjakan berbarengan.

Network planning merupakan juga suatu metoda perencanaan dan pengendalian waktu proyek (rencana kerja proyek).

Tujuan dan manfaat penggunaan *network planning* :

1. Mengetahui logika ketergantungan antara pekerjaan yang satu dengan pekerjaan yang lain.
2. Menunjukkan adanya pekerjaan-pekerjaan yang waktu penyelesaiannya kritis dan tidak kritis, sehingga perhatian dan pengendalian dapat dilakukan lebih baik dan efisien.
3. Sebagai alat komunikasi dan informasi pengelolaan dan pengendalian proyek.
4. Sebagai alat untuk pengendalian waktu dan implisit biaya proyek.

5. Sebagai bahan untuk penyusunan *time schedule* dengan *Bart chart* yang lebih baik dan tepat. Dan juga sebagai bahan untuk pembuatan *schedule* tenaga, material dan biaya/keuangan.

Network Planning disebut juga sebagai *Network Diagram* yang merupakan visualisasi proyek berdasarkan *network planning* dalam bentuk diagram dari lintasan-lintasan kegiatan / pekerjaan.

Ada beberapa jenis metode dari *network diagram/network planning*, yaitu :

1. Metode Jalur Kritis (*Critical Path Method/CPM*).
2. *Program Evaluation and Review Technique* (PERT).
3. *Precedence Diagram Method* (PDM).

2.2 Critical Path Method (CPM)

Critical Path Method (CPM), adalah metode yang sangat berguna untuk menyusun perencanaan, penjadualan dan pengawasan / pengontrolan proyek.

Perkiraan waktu yang digunakan untuk melaksanakan kegiatan dengan CPM bersifat deterministik. Tahapan perencanaan dimulai dengan memecah / menguraikan proyek menjadi kegiatan-kegiatan (*activities*). Perkiraan waktu untuk kegiatan-kegiatan ini kemudian ditentukan dengan diagram jaringan kerja (*network*) yang dinyatakan dengan gambar anak panah (*arrow*) mulai dibuat. Panjang anak panah menentukan kegiatan (*activity*).

Keseluruhan diagram anak panah memberikan suatu representasi grafis mengenai keterkaitan antara berbagai kegiatan suatu proyek. Pembentukan diagram anak panah sebagai tahap perencanaan, mempunyai kebaikan yaitu berguna untuk mempelajari

jenis pekerjaan yang berbeda secara rinci, juga dapat menimbulkan saran untuk perbaikan sebelum proyek dilaksanakan. Yang lebih penting lagi ialah kegunaannya untuk mengembangkan suatu jadual untuk proyek (*project scheduling*)

Untuk menyatakan unsur waktu dalam jaringan kerja, dibedakan antara waktu yang terpakai untuk menyelesaikan aktivitas (*duration*), dan waktu untuk menyelesaikan kejadian (*event*), yang disebut juga waktu kejadian (*event time*).

Dasar pengendalian waktu dengan lintasan kritis ialah memisahkan pos-pos pekerjaan, kemudian diklasifikasi ke dalam pekerjaan kritis dan pekerjaan non kritis. Ada beberapa pekerjaan non kritis dapat juga diklasifikasikan lebih lanjut menjadi pekerjaan subkritis. Dalam hal ini unsur waktu memegang peranan yang sangat penting. Jika dalam suatu rangkaian jaringan kerja telah diketahui durasi dari masing-masing aktivitas, maka saat tiap-tiap *event* dan jangka waktu penyelesaian pekerjaan secara keseluruhan dapat diketahui.

Tujuan akhir dari tahap penjadwalan adalah membentuk *a time chart* yang dapat menunjukkan waktu mulai dan selesainya setiap kegiatan dan hubungannya satu sama lain dalam proyek. Jadual harus mampu menunjukkan kegiatan-kegiatan yang kritis dilihat dari segi waktu dan memerlukan perhatian yang khusus kalau proyek harus selesai tepat pada waktunya.

Bagi kegiatan-kegiatan yang tidak tergolong kritis, jadual harus menunjukkan banyaknya waktu yang mengambang (*float time slack*) yang dapat dipergunakan ketika kegiatan tertunda atau kalau sumber daya yang terbatas dipergunakan secara efektif (mencapai sasaran/tujuan yang dikehendaki).

ketika kegiatan tertunda atau kalau sumber daya yang terbatas dipergunakan secara efektif (mencapai sasaran/tujuan yang dikehendaki).

Pada tahap akhir pada manajemen proyek adalah pengawasan proyek (*project control*). Hal ini meliputi penggunaan anak panah dan grafik waktu (*time chart*) untuk membuat laporan kemajuan secara periodik. Jaringan kerja (*network*) perlu diperbaharui dan kalau perlu sebuah jadual baru ditentukan untuk sisa bagian proyek yang belum selesai.

Dalam penggunaan *Critical Path Method*, penting sekali ditetapkan urutan-urutan kegiatan sesuai dengan *construction method* nya. Sebagai contoh pengecoran beton baru dapat dilaksanakan sesudah pekerjaan bekisting dan pekerjaan pembesian selesai dilaksanakan.

Syarat menyusun/menggambar suatu *network* diagram adalah sebagai berikut:

- a. Harus mudah dibaca.
- b. Harus dimulai dari suatu kejadian (*event*) dan diakhiri pada suatu kejadian pula.
- c. Anak panah boleh digambarkan dengan garis lurus, boleh garis patah tetapi tidak boleh garis lengkung.
- d. Sedapat mungkin dihindari perpotongan antara anak panah.
- e. Antara dua kejadian hanya boleh ada satu anak panah.
- f. Tidak boleh ada *dummy* yang tidak perlu.

2.3 Project Evaluation and Review Technique (PERT)

Bila CPM memperkirakan waktu komponen kegiatan proyek dengan pendekatan deterministik satu angka yang mencerminkan adanya kepastian, maka PERT direkayasa untuk menghadapi situasi dengan kadar ketidakpastian (*uncertainty*) yang tinggi pada aspek kurun waktu kegiatan. Situasi ini misalnya dijumpai pada proyek penelitian dan pengembangan, sampai menjadi produk yang sama sekali baru. PERT memakai pendekatan yang menganggap bahwa kurun waktu kegiatan tergantung pada banyak faktor dan variasi, sehingga lebih baik perkiraan diberi rentang (*range*), yaitu dengan memakai tiga angka estimasi, yaitu a , b , dan m yang mempunyai arti sebagai berikut :

a = kurun waktu optimistik (*optimistic duration time*)

yaitu waktu tersingkat untuk menyelesaikan kegiatan bila segala sesuatunya berjalan mulus. Waktu demikian diungguli hanya sekali dalam seratus kali bila kegiatan tersebut dilakukan berulang-ulang dengan kondisi yang hampir sama.

m = kurun waktu paling mungkin (*most likely time*)

yaitu kurun waktu yang paling sering terjadi dibanding dengan yang lain bila kegiatan dilakukan berulang-ulang dengan kondisi yang hampir sama.

b = kurun waktu pesimistik (*pessimistic duration time*)

yaitu waktu paling lama untuk menyelesaikan kegiatan, yaitu bila segala sesuatunya serba tidak baik. Waktu demikian dilampaui hanya sekali dalam seratus kali, bila kegiatan tersebut dilakukan berulang-ulang dengan kondisi

yang hampir sama.

Setelah menentukan estimasi angka-angka a , m , dan b , maka tindak selanjutnya adalah merumuskan hubungan ketiga angka tersebut menjadi satu angka, yang disebut te atau kurun waktu yang diharapkan (*expected duration time*). Angka te adalah angka rata-rata kalau kegiatan tersebut dikerjakan berulang-ulang dalam jumlah yang besar. Lebih lanjut, dalam menentukan te dipakai asumsi bahwa kemungkinan terjadinya peristiwa optimistik(a) dan pesimistik(b) adalah sama. Sedangkan jumlah kemungkinan terjadinya peristiwa paling mungkin (m) adalah 4 kali lebih besar dari kedua peristiwa di atas. Sehingga bila ditulis dalam rumus adalah sebagai berikut :

Kurun waktu yang diharapkan : $te = (a + 4m + b) (1/6)$

Besarnya deviasi standar kegiatan berdasar PERT :

$$S = (1/6) (b-a)$$

Sedangkan untuk varians kegiatannya :

$$V(te) = S^2 = [(1/6) (b-a)]^2$$

Seperti halnya CPM , PERT ini termasuk ke dalam klasifikasi diagram AOA (*Activity On Arrow*).

Sementara itu untuk perbandingan antara CPM dengan PERT dapat dilihat pada tabel di berikut ini :

Tabel 2.1 Perbandingan CPM dan PERT

Fenomena	CPM	PERT
1. Estimasi kurun waktu kegiatan	Deterministik, satu angka	Probabilistik, tiga angka
2. Arah orientasi	Dengan hitungan maju dan mundur	cara sama dengan CPM
3. Identifikasi jalur kritis dan float	Ditandai dengan suatu angka tertentu	Angka tertentu ditambah varians
4. Kurun waktu penyelesaian milestone atau proyek	Ditandai dengan angka tertentu	Angka tertentu ditambah varians
5. Kemungkinan mencapai target jadwal	Hitungan /analisis untuk maksud tersebut tidak ada	Dilengkapi cara khusus untuk itu
6. Menganalisis jadwal yang ekonomis	Prosedurnya jelas	Mungkin perlu dikonver-sikan ke CPM dahulu

2.4 Precedence Diagram Method (PDM)

PDM adalah jaringan kerja yang termasuk klasifikasi AON (*Activity On Node*), dimana kegiatan ditulis dalam node(biasanya berbentuk segi empat) dan anak panah sebagai petunjuk hubungan antara kegiatan-kegiatan yang ber-sangkutan.

Dalam PDM diperkenankan adanya hubungan tumpang tindih (*overlapping*) yaitu suatu pekerjaan berikutnya bisa dikerjakan tanpa harus menunggu pekerjaan terdahulu (*predecessor*) selesai 100%, sehingga PDM tidak mengenal istilah kegiatan semu antara dua kegiatan yang tidak membutuhkan waktu dan sumber daya (*dummy*). Oleh karena itu, untuk proyek yang besar dengan berbagai jenis pekerjaan yang saling tumpang tindih dan berulang-ulang akan lebih tepat bila menggunakan PDM karena akan menghasilkan diagram lebih sederhana dan tidak kompleks.

Dalam PDM, kotak (*node*) menandai suatu kegiatan sehingga harus dicantumkan identitas kegiatan dan kurun waktu (durasi) sedangkan peristiwa merupakan ujung-

ujung kegiatan. Setiap node mempunyai dua peristiwa yaitu peristiwa awal dan akhir. Ruang dalam node dibagi menjadi bagian-bagian kecil yang berisi keterangan dari berbagai kegiatan dan peristiwa yang bersangkutan antara lain: kurun waktu kegiatan(D), identitas kegiatan(nomor dan nama),mulai dan selesainya kegiatan (ES,LS,EF,LF,dan lain-lain). Pada PDM dikenal empat macam hubungan aktifitas yaitu:

1. **Finish to Start (FS)** yaitu hubungan yang menunjukkan bahwa mulainya aktifitas berikutnya tergantung pada selesainya aktifitas sebelumnya. Selang waktu menunggu berikutnya disebut *lag* (terlambat tertunda). Jika $FS(i,j) = 0$ berarti aktifitas j dapat langsung dimulai setelah aktifitas i selesai dan jika $FS(i,j) = x$ hari berarti aktifitas j boleh dimulai setelah x hari selesai aktifitas i.
2. **Start to Start (SS)** yaitu hubungan yang menunjukkan bahwa mulainya aktifitas sesudahnya tergantung pada mulainya aktifitas sebelumnya. Selang waktu antara kedua aktifitas tersebut disebut *lead* (mendahului). Jika $SS(i,j) = 0$ artinya kedua aktifitas(i dan j) dapat dimulai bersama-sama dan jika $SS(i,j) = x$ hari berarti aktifitas j boleh dimulai setelah aktifitas i berlangsung x hari.
3. **Finish to Finish (FF)** yaitu hubungan yang menunjukkan bahwa selesainya aktifitas berikutnya tergantung pada selesainya aktifitas sebelumnya. Selang waktu antara dimulainya kedua aktifitas tersebut disebut *lag*. Jika $FF(i,j) = 0$ artinya kedua aktifitas (i dan j) dapat selesai secara bersamaan, jika $FF(i,j) = x$ hari berarti aktifitas j selesai setelah x hari aktifitas i selesai dan jika $FF(i,j) = -x$ hari berarti aktifitas j selesai x hari lebih dahulu dari aktifitas i.

4. **Start to Finish (SF)** yaitu hubungan yang menunjukkan bahwa selesainya aktifitas berikutnya tergantung pada mulainya aktifitas sebelumnya. Selang waktu antara dimulainya kedua aktifitas tersebut disebut *lead*. Jika $SF(i,j) = x$ hari berarti aktifitas j akan selesai setelah x hari dari saat dimulainya aktifitas i. Jadi dalam hal ini sebagian dari porsi kegiatan terdahulu harus selesai sebelum bagian akhir kegiatan yang dimaksud boleh diselesaikan.

Kadang-kadang dijumpai satu kegiatan memiliki hubungan konstrain dengan lebih dari satu kegiatan lain yang disebut multikonstrain.

Jadi dalam menyusun jaringan PDM, khususnya menentukan urutan ketergantungan, mengingat bermacam konstrain maka lebih banyak faktor yang lebih diperhatikan antara lain:

1. Kegiatan mana boleh mulai sesudah kegiatan tertentu selesai, berapa lama jarak waktu antaranya.
2. Kegiatan mana harus mulai sesudah kegiatan tertentu mulai dan berapa lama jarak waktunya.
3. Kegiatan mana harus diselesaikan sesudah kegiatan tertentu selesai, berapa lama jarak waktu antaranya.

Kegiatan mana harus diselesaikan sesudah kegiatan tertentu boleh mulai dan berapa lama jarak waktu antaranya.

Sementara itu sebagai perbandingan antara AOA (CPM) dengan AON (PDM) dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Perbandingan AOA (CPM) dan AON (PDM)

<i>AOA (Activity On Arrow)</i> CPM	<i>AON (Activity On Node)</i> PDM
Anak panah menunjukkan kegiatan	Anak panah menunjukkan hubungan antar kegiatan
Atribut kegiatan berada di lingkaran	Atribut kegiatan berada di dalam kotak
Mengenal istilah Dummy yang merupakan tanda untuk menunjukkan hubungan ketergantungan	Tidak mengenal istilah Dummy, karena memperbolehkan pekerjaan overlapping/tumpang tindih kegiatan
Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek lebih panjang	Mempersingkat waktu penyelesaian proyek karena adanya overlapping
Hubungan antar kegiatan hanya 1 yaitu hubungan Finish(F)-Start(S)	Mengenal 4 macam hubungan antar kegiatan yaitu SS,SF,FS, dan FF

2.5 Pembuatan *Critical Path Method (CPM)*

Di dalam pembuatan jaringan kerja dengan *Critical Path Method* dikenal beberapa pengertian dasar dan rumus-rumus perhitungan sebagai berikut:

a. *Activity* :

Adalah bagian dari suatu pelaksanaan pekerjaan yang memiliki tugas-tugas khusus, seperti misalnya pemasangan pembesian. Untuk menyelesaikan tugas ini diperlukan waktu.

b. *Event* :

Event ini mewakili titik yang menunjukkan kapan waktu mulai ataupun waktu penyelesaian suatu kegiatan yang disimbolkan dengan angka di dalam lingkaran.

c. **Arrow** :

Adalah gambar anak panah yang mewakili setiap kegiatan yang menghubungkan dua *event*, dari *event* bernomor kecil ke *event* bernomor yang lebih besar. Panjang *arrow* ini tidak menunjukkan lamanya kegiatan .

d. **Dummy** :

Adalah kegiatan kosong berupa garis putus-putus yang menunjukkan kegiatan di ujung *dummy* tidak dapat dimulai sebelum kegiatan di pangkal *dummy* selesai. *Dummy* tidak memerlukan waktu.

e. **Network** :

Adalah diagram dari *arrow* yang menunjukkan hubungan langsung dari *activities* dan *event* . Biasanya titik awal kegiatan berada di sebelah kiri dan berikutnya mengarah ke kanan, sehingga titik akhir kegiatan berada di ujung sebelah kanan.

f. **D (Duration)** :

Adalah lamanya waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu kegiatan. Satuannya hari, minggu, atau bulan .

Rumus untuk menghitung *duration* ini adalah :

$$D = V / K \quad D = \text{waktu penyelesaian.}$$

V = Volume pekerjaan yang ditunjukkan dalam *Activity*

K= Kapasitas alat dan atau tenaga yang dapat disediakan untuk menyelesaikan pekerjaan tiap satuan waktu

Dalam memperhitungkan waktu untuk menyelesaikan masing-masing kegiatan tersebut, diperlukan data-data volume tiap pekerjaan, tenaga kerja, dan peralatan

utama yang tersedia, kebutuhan tenaga kerja tiap kegiatan, serta batas waktu pelaksanaan seluruh pekerjaan sebagai bahan pertimbangan.

g. **ES (Earliest Start) :**

Adalah saat paling dini , dimana kegiatan dapat dimulai.

h. **EF (Earliest Finish) :**

Adalah saat paling cepat. Saat suatu kegiatan dapat diselesaikan. Saat di sini adalah saat ES ditambah *duration* .

$$EF = ES + D$$

i. **LS (Latest Start) :**

Adalah saat paling lambat. Saat suatu kegiatan harus dimulai tanpa memperpanjang waktu pelaksanaan proyek.

$$LS = LF - D$$

j. **LF (Latest Finish) :**

Adalah saat paling lambat. Saat suatu kegiatan harus sudah diselesaikan tanpa memperpanjang waktu pelaksanaan proyek.

$$LF = LS + D$$

k. **TF (Total Float) :**

Adalah jumlah waktu yang dapat menampung kelambatan memulai atau mengakhiri suatu kegiatan tanpa memperpanjang waktu proyek.

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

l. **FF (Free Float) :**

Adalah jumlah waktu yang masih tersedia untuk menampung terlambatnya penyelesaian suatu kegiatan tanpa menghambat saat *start* yang paling dini pada kegiatan berikutnya.

$$FF = ES \text{ (kegiatan berikutnya)} - EF \text{ (dari kegiatan ini)} .$$

m. **IF (Independent Float) :**

Adalah selisih dari saat memulai dini dari kegiatan berikutnya, dengan saat memulai terlambat dari kegiatan ini dikurangi *duration* nya.

$$IF = ES \text{ (kegiatan berikutnya)} - LS \text{ (dari kegiatan ini)} - D$$

n. **Critical Path :**

Adalah rentetan kegiatan-kegiatan yang saling berhubungan di dalam *network* . Kegiatan -kegiatan tersebut tidak mempunyai *Float Time* , atau secara grafis dapat ditunjukkan dengan rentetan *arrow* yang menghubungkan dengan *event-event* yang memiliki ES di LS yang sama .

2.6 Perhitungan Jalur Kritis

Penerapan CPM pada akhirnya harus menghasilkan sebuah jadual yang menyatakan tanggal awal dan akhir setiap kegiatan. Diagram panah mewakili langkah pertama ke arah tercapainya sasaran tersebut. Karena interaksi di antara kegiatan-kegiatan yang berbeda, penentuan saat awal dan penyelesaian memerlukan perhitungan khusus. Perhitungan ini dilakukan secara langsung pada diagram panah

dengan menggunakan aritmatika sederhana. Hasil akhirnya adalah klasifikasi kegiatan-kegiatan dalam proyek sebagai kegiatan kritis atau non kritis. Sebuah kegiatan dikatakan kritis jika penundaan saat awalnya akan menyebabkan tanggal penyelesaian keseluruhan proyek mundur. Sebuah kegiatan non kritis adalah kegiatan-kegiatan dengan jumlah waktu di antara waktu awal yang paling cepat dengan waktu penyelesaian yang paling lambat (sebagaimana diizinkan oleh proyek yang bersangkutan) adalah lebih panjang daripada durasi aktualnya. Dalam kasus ini, kegiatan yang non kritis tersebut dikatakan memiliki waktu senggang (*slack*) atau waktu mengambang (*float*).

2.7 Penentuan Jalur Kritis

Sebuah jalur kritis adalah rantai kegiatan-kegiatan kritis yang menghubungkan kejadian awal dan kejadian akhir dari diagram panah. Dengan kata lain, jalur kritis mengidentifikasi semua kegiatan-kegiatan kritis dari proyek tersebut. Metode penentuan jalur ini diilustrasikan dengan contoh numerik.

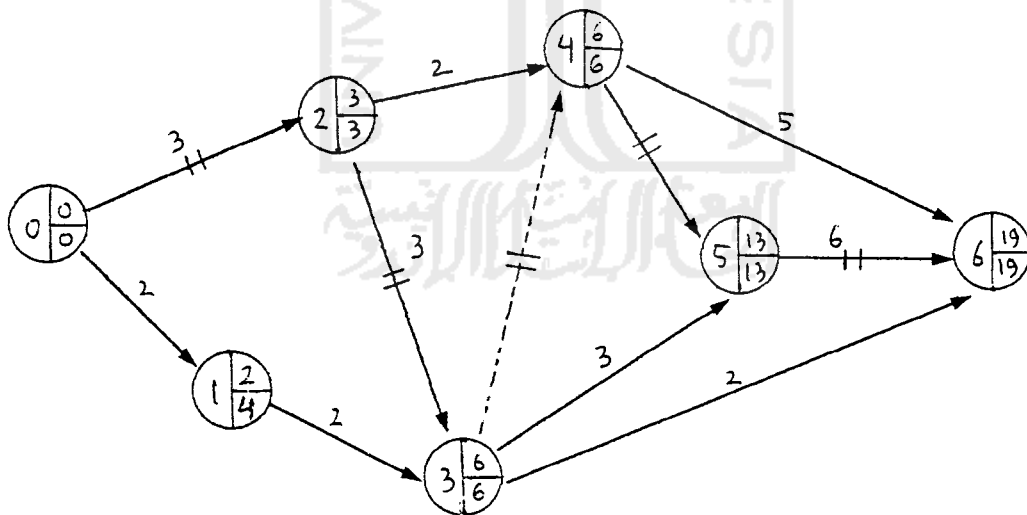
Contoh : Pertimbangkan jaringan pada gambar 2.1 yang berawal di node 0 dan berakhir di node 6. Waktu yang diperlukan untuk melakukan setiap kegiatan ditunjukkan pada panah-panah.

Perhitungan jalur kritis mencakup dua tahap . Tahap pertama disebut **perhitungan maju** (*forward pass*), dimana perhitungan dimulai dari node “awal” dan bergerak ke node “akhir”. Di setiap node , sebuah angka dihitung yang mewakili waktu yang tercepat untuk kejadian yang bersangkutan. Angka-angka ini diperlihatkan dalam gambar 2.1. Tahap kedua yang disebut **perhitungan mundur** (*backward*

pass), memulai perhitungan dari node “akhir” dan bergerak ke node “awal”. Angka-angka yang dihitung di setiap node mewakili waktu terakhir dari kejadian yang bersangkutan. Perhitungan maju akan dibahas sekarang.

Anggaplah ES_i adalah **waktu awal tercepat** (*earliest start time*) untuk semua kegiatan yang berasal dari i kejadian i . Jadi, ES_i mewakili waktu tercepat untuk kejadian i . Jika $i = 0$ adalah kejadian awal, maka sebagai kesepakatan, untuk perhitungan jalur kritis, $ES_0 = 0$. Anggaplah D_{ij} adalah durasi kegiatan (i,j) . Perhitungan maju karena itu diperoleh dari rumus

$ES_j = \max\{ES_i + D_{ij}\}$, untuk semua kegiatan (i,j) yang didefinisikan dimana $ES_0 = 0$. Jadi, untuk menghitung ES_j untuk kejadian j , ES_i untuk kejadian ekor dari semua kegiatan-kegiatan (i,j) yang masuk harus dihitung terlebih dahulu.



Gambar 2.1 Jaringan kerja

Perhitungan maju yang diterapkan untuk gambar 2.1 dimulai dengan $ES_0=0$, seperti diperlihatkan dalam ES kejadian 0. Karena hanya ada satu kegiatan yang masuk (0,1) untuk kejadian 1 dengan $D_{01}=2$,

$$ES_1 = ES_0 + D_{01} = 0 + 2 = 2$$

yang dimasukkan ke dalam ES kejadian 1. Selanjutnya, kita mempertimbangkan kejadian 2. (Perhatikan bahwa kejadian 3 tidak dapat dipertimbangkan di titik ini, karena ES_2 (kejadian 2) belum diketahui). Jadi

$$ES_2 = ES_0 + D_{02} = 0 + 3 = 3$$

yang dimasukkan ke dalam ES kejadian 2. Kejadian berikutnya untuk dipertimbangkan adalah kejadian 3. Karena ada dua kejadian yang masuk (1,3) dan (2,3), kita memiliki

$$ES_3 = \max_{i=1,2} \{ ES_i + D_{i3} \} = \max \{ 2 + 2, 3 + 3 \} = 6$$

yang, sekali lagi dimasukkan ke dalam ES kejadian 3.

Prosedur ini berlanjut dengan cara sama sampai ES_j dihitung untuk semua j . Jadi

$$ES_4 = \max_{i=2,3} \{ ES_i + D_{i4} \} = \max \{ 3+2, 6+0 \} = 6$$

$$ES_5 = \max_{i=3,4} \{ ES_i + D_{i5} \} = \max \{ 6+3, 6+7 \} = 13$$

$$ES_6 = \max_{i=3,4,5} \{ ES_i + D_{i6} \} = \max \{ 6+2, 6+5, 13+6 \} = 19$$

Perhitungan ini menyelesaikan perhitungan maju.

Perhitungan mundur dimulai di kejadian “akhir”. Tujuan dari tahap ini adalah menghitung LC_i , **waktu penyelesaian terakhir** (*latest completion time*) untuk semua

kegiatan yang datang ke kejadian i . Jadi, jika $i = n$ adalah kejadian "akhir", $LC_n = ES_n$

mengawali perhitungan mundur. Secara umum, untuk setiap node i ,

$$LC_i = \min_j \{ LC_j - D_{ij} \}, \text{ untuk semua kegiatan } (i,j) \text{ yang didefinisikan}$$

Nilai-nilai LC ditentukan sebagai berikut :

$$LC_6 = ES_6 = 19$$

$$LC_5 = LC_6 - D_{56} = 19 - 6 = 13$$

$$LC_4 = \min_{j=5,6} \{ LC_j - D_{4j} \} = \min \{ 13 - 7, 19 - 5 \} = 6$$

$$LC_3 = \min_{j=4,5,6} \{ LC_j - D_{3j} \} = \min \{ 6 - 0, 13 - 3, 19 - 2 \} = 6$$

$$LC_2 = \min_{j=3,4} \{ LC_j - D_{2j} \} = \min \{ 6 - 3, 6 - 2 \} = 3$$

$$LC_1 = LC_3 - D_{13} = 6 - 2 = 4$$

$$LC_0 = \min_{j=1,2} \{ LC_j - D_{0j} \} = \min \{ 4 - 2, 3 - 3 \} = 0$$

Perhitungan mundur sekarang telah diselesaikan.

Kegiatan-kegiatan jalur kritis sekarang diidentifikasi dengan menggunakan hasil perhitungan maju dan perhitungan mundur. Sebuah kegiatan (i,j) berada di jalur kritis bila kegiatan tersebut memenuhi ketiga kondisi berikut ini :

$$ES_i = LC_i$$

$$ES_j = LC_j$$

$$ES_j - ES_i = LC_j - LC_i = D_{ij}$$

Kondisi ini sebenarnya menyatakan bahwa tidak ada waktu senggang atau waktu mengambang antara awal tercepat (penyelesaian) dan awal terakhir (penyelesaian) dari kegiatan kritis yang bersangkutan. Dalam diagram panah kegiatan-kegiatan ini dicirikan dengan angka yang sama di setiap akhir kejadian kepala dan ekor dan

selisih antara angka di di kejadian kepala dengan angka di kejadian ekor adalah sama dengan durasi kejadian yang bersangkutan.

Kegiatan -kegiatan (0,2),(2,3),(3,4),(4,5), dan (5,6) mendefinisikan jalur kritis dalam gambar 2.1 . Sebenarnya, jalur kritis mewakili durasi terpendek yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek yang bersangkutan. Perhatikan bahwa kegiatan-kegiatan (2,4),(3,5),(3,6),dan (4,6) memenuhi kondisi (1) dan (2) untuk kegiatan-kegiatan kritis tetapi tidak memenuhi kondisi (3).Jadi, kegiatan-kegiatan ini tidak kritis.Perhatikan juga bahwa jalur kritis harus membentuk rantai kegiatan-kegiatan yang berhubungan, yang merentang dalam jaringan tersebut dari “awal” sampai “akhir”.

2.8 Penentuan Waktu Mengambang

Setelah penentuan jalur kritis,waktu mengambang untuk kegiatan-kegiatan non kritis harus dihitung. Secara alamiah, sebuah kegiatan kritis pasti memiliki waktu mengambang sebesar nol. Pada kenyataannya, itulah alasan utama mengapa kegiatan ini bersifat kritis. Sebelum menunjukkan bagaimana waktu mengambang ditentukan,dua waktu baru yang berkaitan dengan setiap kegiatan perlu didefinisikan. Keduanya adalah saat awal terlambat (*latest start/LS*) dan penyelesaian tercepat (*earliest completion/EC*), yang didefinisikan untuk kegiatan (*i,j*) dengan

$$LS_{ij} = LC_j - D_{ij}$$

$$EC_{ij} = ES_i + D_{ij}$$

Terdapat dua jenis waktu mengambang yang penting : waktu mengambang total(*total float/TF*) dan waktu mengambang bebas (*free float/FF*). Waktu mengambang total

TF_{ij} untuk kegiatan (i,j) adalah selisih waktu antara waktu maksimum yang tersedia untuk melakukan kegiatan tersebut $(=LC_j-ES_i)$ dan durasinya $(=D_{ij})$; yaitu,

$$TF_{ij} = LC_j - ES_i - D_{ij} = LC_j - EC_{ij} = LS_{ij} - ES_i$$

Waktu mengambang bebas didefinisikan dengan mengasumsikan bahwa semua kegiatan dimulai sedini mungkin. Dalam kasus ini FF_{ij} untuk kegiatan (i,j) adalah kelebihan waktu yang tersedia $(=ES_j-ES_i)$ di sepanjang durasinya $(=D_{ij})$; yaitu,

$$FF_{ij} = ES_j - ES_i - D_{ij}$$

Perhitungan jalur kritis bersama dengan waktu mengambang untuk kegiatan-kegiatan non kritis dapat diringkaskan dalam bentuk yang memudahkan seperti diperlihatkan dalam Tabel 2.3. Kolom(1),(2),(3), dan (6) diperoleh dari perhitungan jaringan dalam contoh tersebut di atas. Informasi sisanya dapat ditentukan dari rumus-rumus di atas.

Tabel 2.3 memberikan ringkasan perhitungan jalur kritis. Tabel ini mencakup semua informasi yang diperlukan untuk membentuk bagan waktu. Perhatikan bahwa sebuah kegiatan kritis,

Tabel 2.3 Ringkasan perhitungan jalur kritis

Kegiatan (i,j)	Durasi D_{ij}	Tercepat		Terlambat		Waktu mengambang total TF_{ij}	Waktu mengambang bebas FF_{ij}
		Awal Penyelesaian ES_i	Awal Penyelesaian EC_{ij}	Awal Penyelesaian LS_{ij}	Awal Penyelesaian LC_j		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(0,1)	2	0	2	2	4	2	0
(0,2)	3	0	3	0	3	0*	0
(1,3)	2	2	4	4	6	2	2

lanjutan Tabel 2.3...

Kegiatan (i,j)	Durasi Dij	Tercepat			Terlambat		
		Awal Penyelesaian		Awal Penyelesaian		Waktu	Waktu
		-----	-----	-----	-----	mengambang total	mengambang bebas
(1)	(2)	Esi	ECij	Lsij	LCj	TFij	FFij
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(2,3)	3	3	6	3	6	0*	0
(2,4)	2	3	5	4	6	1	1
(3,4)	0	6	6	6	6	0*	0
(3,5)	3	6	9	10	13	4	4
(3,6)	2	6	8	17	19	11	11
(4,5)	7	6	13	6	13	0*	0
(4,6)	5	6	11	14	19	8	8
(5,6)	6	13	19	13	19	0*	0

* kegiatan kritis

dan hanya kegiatan-kegiatan kritis, pasti memiliki waktu mengambang total sebesar nol. Waktu mengambang bebas harus juga nol ketika waktu mengambang total adalah nol. Tetapi, sebaliknya tidak benar, dalam arti bahwa sebuah kegiatan non kritis dapat memiliki waktu mengambang bebas sebesar nol. Misalnya, dalam Tabel 2.3, kegiatan non kritis (0,1) memiliki waktu mengambang sebesar nol. Sedangkan langkah-langkah yang perlu diambil dalam penyusunan *Critical Path Method* suatu proyek adalah :

1. Mengumpulan data-data yang diperlukan .

Data-data yang diperlukan di antaranya adalah sebagai berikut :

- a. Data-data kegiatan pelaksanaan proyek, diperlukan untuk persiapan dalam membuat daftar kegiatan.
- b. Daftar hari kerja dan hari kalender akan diperlukan dalam menentukan tanggal dimulai dan selesainya setiap kegiatan pada pembuatan jadual.
- c. Waktu yang tersedia untuk pelaksanaan pekerjaan, diperlukan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan *duration*.
- d. Daftar analisa penawaran , diperlukan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan *duration* dan anggaran jam - orang yang diperlukan.
- e. Daftar tenaga kerja teknik , diperlukan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan *duration* dan anggaran jam - orang yang diperlukan.
- f. Daftar peralatan yang dipergunakan, juga diperlukan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan *duration*.

2. Persiapan yang diperlukan.

Guna memperlancar dalam penyusunan jadual, dengan CPM perlu persiapan sebagai berikut:

- a. Menyiapkan daftar kegiatan-kegiatan dalam pelaksanaan proyek (*activities*).

Dalam menyiapkan daftar diperlukan daftar kegiatan pelaksanaan proyek, apabila proyek tersebut cukup besar, maka sebelumnya perlu untuk mengelompokkan beberapa kegiatan yang saling mengikat menjadi satu kelompok, dan diberi kode/ penomoran tertentu. Untuk memudahkannya dapat menggunakan blangko tabel 2.4 berikut:

- c. Perhitungan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan masing-masing kegiatan (*duration*).

Dalam memperhitungkan waktu untuk menyelesaikan masing-masing kegiatan tersebut, diperlukan data-data volume tiap pekerjaan , tenaga kerja dan peralatan utama yang tersedia, kebutuhan tenaga kerja tiap kegiatan, serta batas waktu pelaksanaan seluruh pekerjaan sebagai bahan pertimbangan. Maka selanjutnya dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut, estimasi waktu yang dibutuhkan untuk masing-masing kegiatan dapat dihitung, dan hasilnya dapat disusun dalam blangko tabel 2.6 .

- d. Menentukan kegiatan-kegiatan yang akan mendahului dan akan mengikuti kegiatan-kegiatan yang lain.

Dalam menentukan kegiatan-kegiatan yang akan mendahului dan mengikuti kegiatan-kegiatan yang lain, dipergunakan pendekatan logis, kemudian hasilnya dimasukkan dalam blangko tabel 2.6 di bawah ini.

Tabel 2.6 Blangko Jaringan Kerja

Kegiatan (nomor kode)	<i>Duration</i> (hari)	Kegiatan yang mendahului	Kegiatan yang mengikuti
1001			
1002			
.....			

3. Menyusun Jaringan Kerja (*Network*)

Setelah mempunyai data-data dan perhitungan -perhitungan pendahuluan

sebagai persiapan, langkah selanjutnya adalah menyusun jaringan kerja atau *network* berdasarkan data-data dan perhitungan tersebut.

a. Menyusun *network* dan memberikan angka-angka.

Menyusun *network*nya dengan kegiatan-kegiatan dan *event-event* yang saling berhubungan sebagai mestinya kemudian memberikan angka-angka pada tiap-tiap *event*, dengan mengingat, bahwa angka *event* diujung *arrow* harus lebih besar dari pada angka *event* pada pangkal *arrow*.

Dengan membaca tabel 2.6 di atas maka dapatlah dibuat *network*nya.

b. Melengkapi daftar kegiatan.

Tabel 2.7 Blangko harga-harga D,ES, EF, LS, LF dan TF

Kegiatan	Event	D	ES	EF	LS	LF	TF
1001 *	1-2						
1002	2-3						
.....						

* Kegiatan yang terletak pada *Critical Path*.

Menyiapkan tabel untuk melengkapi tiap kegiatan : aktivitas dengan :

- *Durationnya (D)*
- *Earliest Start (ES)*
- *Earliest Finish (EF)*
- *Latest Start (LS)*
- *Latest Finish (LF)*
- *Total Float (TF)*
- *Free Float (FF)*, (bila diinginkan)

Setelah itu barulah menghitung harga-harga D , ES, EF, LS, LF dan TF, dan hasilnya dimasukkan dalam blangko tabel 2.7 .

c. Menetapkan lintasan kritis (*Critical Path*).

Dalam menetapkan kegiatan-kegiatan yang terletak pada lintasan kritis (*Critical Path*), dapat diketahui dengan melihat dari Tabel 2.7. Kegiatan yang terletak pada *Critical Path* yaitu kegiatan yang mempunyai nilai $TF=0$, yang selanjutnya diperlihatkan dengan dengan garis tebal pada *Network*nya.

Dengan membaca Tabel 2.7 di atas , maka dapatlah dibuat *Network* secara lengkap.

d. Memperbaharui *Network* (bila diperlukan).

Dalam kondisi proyek mengalami hambatan , maka dibuat suatu *network* baru untuk memperbaharui *network* yang ada dengan memperhitungkan waktu-waktu yang diperlukan untuk sisa-sisa kegiatan-kegiatan yang belum dilaksanakan .

Pada *network* tersebut, kegiatan-kegiatan yang telah selesai dinyatakan dengan $D (duration) =0$,kemudian dibuat tabel koreksi dari harga-harga : D, ES,EF,LS,LF dan TF , dengan menggunakan blangko tabel 2.8 dan berdasarkan angka-angka dalam tabel 2.8 tersebut digambarkan *network* yang telah diperbaharui.

Tabel 2.8 Blangko koreksi dari harga-harga : D,ES,EF,LS,LF dan TF

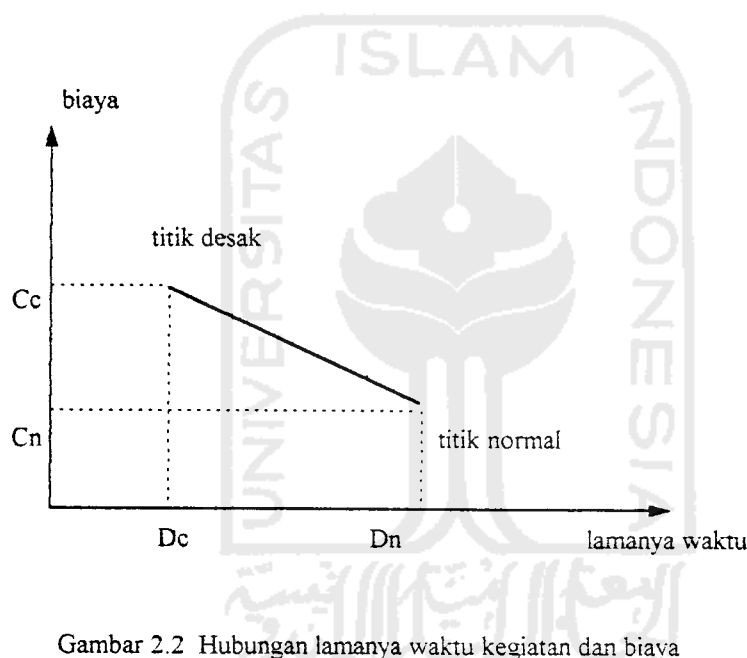
Activity	Duration	ES	EF	LS	LF	TF
1001 *						
1002						
.....						

* Kegiatan yang terletak pada *Critical Path* .

4 . Mengambil hasil analisa pengendalian waktu dan biaya yang paling optimal .

2.9 Pertimbangan Biaya Dalam Proyek

Aspek biaya diperhitungkan dalam penjadwalan proyek dengan jalan mendefinisikan hubungan biaya(*cost*) dengan lamanya kegiatan dalam proyek, dimana biaya yang dimaksud adalah biaya langsung (*direct cost*). Biaya tidak langsung untuk keperluan administrasi dan supervisi tidak dimasukkan.



Gambar 2.2 Hubungan lamanya waktu kegiatan dan biaya

Dalam praktek sering dipergunakan hubungan yang linear antara lamanya waktu kegiatan (*duration*) dengan biaya (*cost*), dalam suatu proyek. Dalam keadaan normal, lamanya waktu kegiatan D_n , besarnya biaya C_n .

Waktu pelaksanaan dapat diperpendek dengan menambah sumber atau biaya akan tetapi pengurangan waktu pelaksanaan ini ada batasnya (*limit*), yang disebut waktu desak (*crash time*), dimana setelah titik ini waktu tidak bisa dikurangi lagi, maka

disebut titik desak atau *crash point* (D_c, C_c). Pada titik ini kenaikan penggunaan sumber hanya menambah jumlah biaya langsung, akan tetapi tidak dapat mengurangi lamanya waktu pelaksanaan kegiatan.

Hubungan berupa garis lurus (*straight line relationship*) sering dipergunakan sebab sangat mudah dimengerti, juga bagi setiap kegiatan dapat ditentukan dengan mengetahui titik normal dan titik desak yaitu (D_n, C_n) dan (D_c, C_c). Selain linear, hubungan juga bisa tidak linear akan tetapi sering didekati secara linear.

Setelah menentukan hubungan antara waktu dan biaya, kegiatan-kegiatan dalam proyek ditentukan waktu normal yang diperlukan untuk penyelesaiannya.

Jalur kritis dari persoalan yang bersangkutan kemudian ditentukan dan biayanya dicatat. Tahap berikutnya mempertimbangkan kemungkinan memperkecil lamanya waktu pelaksanaan proyek. Oleh karena usaha untuk memperpendek waktu penyelesaian proyek menyangkut pengurangan waktu bagi kegiatan-kegiatan kritis, maka perhatian kita tujukan kepada kegiatan-kegiatan kritis saja.

Agar berhasil dalam mencapai pengurangan waktu dengan biaya sekecil mungkin, kita harus melihat kegiatan kritis yang mempunyai koefisien arah (*slope*) sekecil mungkin, dalam hubungan waktu dan biaya tersebut.

Jumlah pengurangan waktu dari penekanan suatu kegiatan dibatasi oleh waktu desak (*crash time*) jadi tidak bisa semaunya. Namun demikian, pembatasan lainnya harus diperhitungkan sebelum besarnya pengurangan waktu yang bisa dicapai ditentukan. Penjelasan lebih lanjut tentang hal ini akan diberikan dalam contoh. Hasil penekanan suatu kegiatan mungkin menimbulkan suatu jadwal waktu yang baru

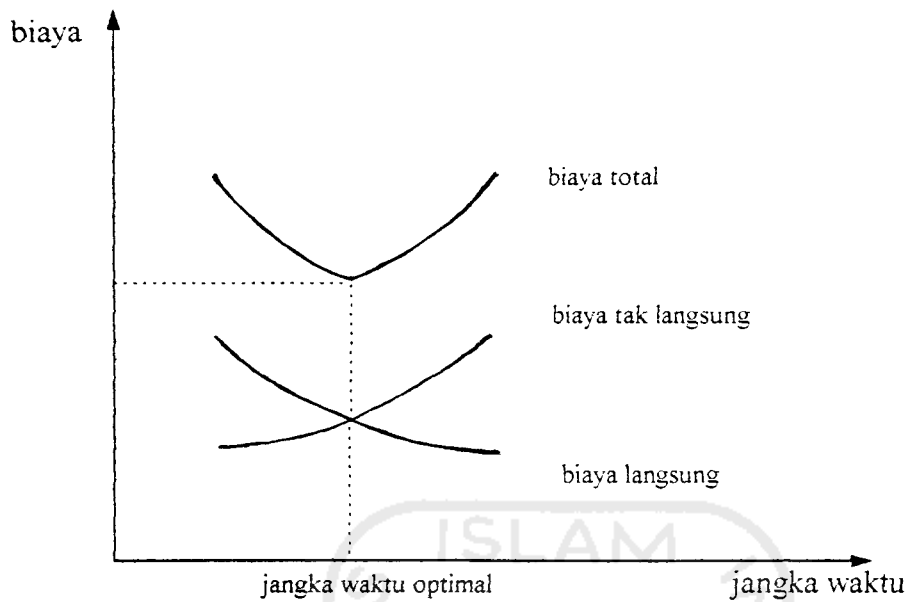
dengan jalur kritis yang juga baru. Biaya yang berhubungan dengan jadwal baru biasanya lebih tinggi daripada jadwal yang sebelumnya. Untuk jadwal yang baru, kegiatan yang harus ditekan ialah kegiatan kritis yang tidak mendesak (*uncrashed critical activity*) dengan koefisien arah yang paling kecil.

Prosedur ini diulangi sampai semua kegiatan kritis berada pada posisi waktu desak. Hasil akhir dari perhitungan di atas berupa kurva hubungan waktu dan biaya untuk berbagai jadwal yang berbeda sesuai dengan biaya yang diperlukan masing-masing jadwal.

Kurva yang dihasilkan mungkin seperti yang terlihat pada gambar 2.3, dengan garis yang tidak terputus-putus (biaya langsung).

Adalah masuk akal untuk menganggap bahwa kalau lamanya waktu pelaksanaan proyek makin lama, biaya tidak langsung menjadi semakin besar (menaik), seperti garis terputus-putus pada gambar 2.3.

Jumlah dari biaya langsung dan tidak langsung merupakan jumlah biaya (*total cost*). Suatu jadwal dikatakan optimum kalau jumlah biaya yang diperlukan minimum.



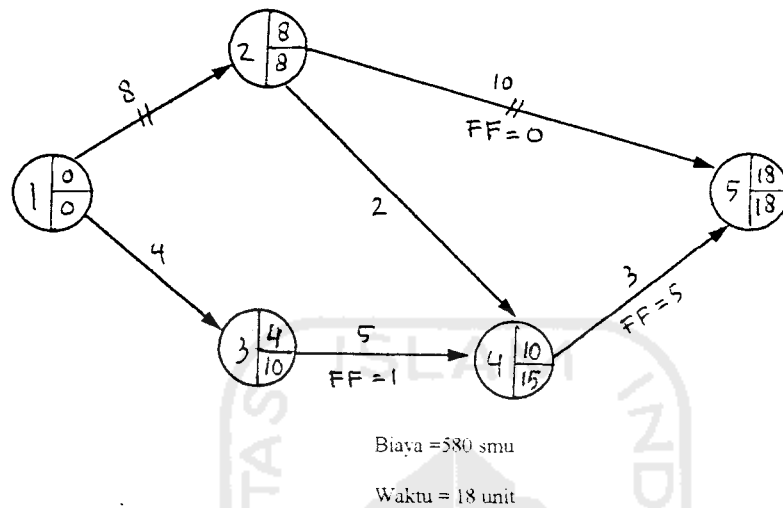
Gambar 2.3 Biaya yang diperlukan untuk berbagai jadual

Keterangan :

- a. Biaya langsung (*direct cost*) : himpunan pengeluaran untuk tenaga kerja, bahan/material, peralatan dan Sub kontraktor. Apabila waktu dalam kegiatan ini dipercepat, maka biaya langsung secara total akan semakin tinggi.
- b. Biaya tak langsung (*indirect cost*) : himpunan pengeluaran untuk *overhead*, pengawasan, dan lain-lain. Bila waktu diperlambat, maka biaya secara total akan semakin tinggi.

Contoh soal :

Perhatikan Gambar 2.4 dan Tabel 2.9



Gambar 2.4 Jaringan kerja dengan waktu dan biaya yang diperlukan

Tabel 2.9 Waktu dan Biaya dalam Waktu Normal dan Mendesak

Kegiatan (i, j)	Normal		Mendesak	
	Lamanya Waktu (u)	Biaya (smu)	Lamanya waktu (u)	Biaya (smu)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1,2)	8	100	6	200
(1,3)	4	150	2	350
(2,4)	2	50	1	90
(2,5)	10	100	5	400
(3,4)	5	100	1	200
(4,5)	3	80	1	100

* u = unit

** smu = satuan mata uang

Berdasarkan data pada gambar 2.4 dan tabel 2.9 supaya dibuat jadwal optimum (*minimum cost schedule*) yang dapat dibentuk antara waktu normal dan mendesak.

Seperti telah disebutkan sebelumnya, analisis untuk persoalan ini utamanya tergantung pada koefisien arah dari hubungan waktu dan biaya untuk berbagai kegiatan.

Perhitungan didasarkan rumus berikut :

$$\text{Koefisien arah} = \frac{C_c - C_n}{D_n - D_c}$$

Contoh perhitungan :

$$K_a(1,2) = \frac{200 - 100}{8 - 6} = \frac{100}{2} = 50$$

$$K_a(3,4) = \frac{200 - 100}{5 - 1} = \frac{100}{4} = 25$$

$$K_a(4,5) = \frac{100 - 80}{3 - 1} = \frac{20}{2} = 10$$

Koefisien arah untuk kegiatan-kegiatan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Nilai Koefisien Arah untuk Berbagai Kegiatan

Kegiatan (Ka)	Koefisien Arah
(1,2)	50
(1,3)	100
(2,4)	40
(2,5)	60
(3,4)	25
(4,5)	10

Langkah pertama, dalam prosedur perhitungan adalah membuat asumsi bahwa semua kegiatan terjadi pada waktu normal, jaringan kerja gambar 2.4 menunjukkan perhitungan jalur kritis dalam keadaan normal.

Kegiatan (1,2) dan (2,5) merupakan jalur kritis. waktu yang diperlukan untuk pelaksanaan proyek 18 unit dan jumlah biaya 580 smu (satuan mata uang).

Langkah kedua, mengurangi waktu proyek, dengan menekan sebanyak mungkin kegiatan kritis dengan koefisien arah terkecil.

Untuk jaringan kerja gambar 2.4 hanya ada 2 kegiatan kritis yaitu (1,2) dan (2,5).

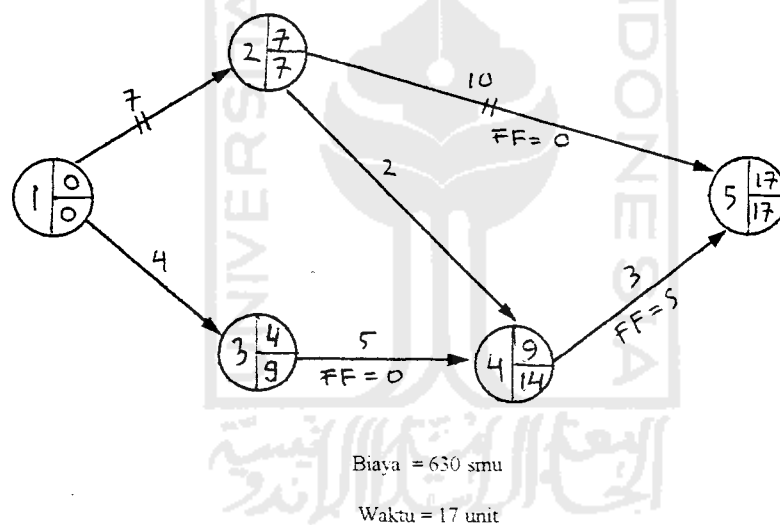
Kegiatan (1,2) dipilih untuk ditekan oleh karena koefisien arahnya terkecil.

Sesuai dengan kurva hubungan waktu dan biaya, kegiatan ini dapat ditekan dengan dua unit waktu; suatu limit yang dispesifikasikan oleh titik mendesak, maka disebut *crash limit*. Akan tetapi, penekanan suatu kegiatan kritis sampai pada titik desak tidak selalu berarti bahwa lamanya waktu penyelesaian proyek dapat dikurangi dengan suatu jumlah yang ekuivalen. Hal ini disebabkan oleh karena kalau kegiatan ditekan akan timbul jalur kritis yang baru. Pada saat itu jalur kritis lama harus dilupakan, perhatian dicurahkan pada jalur kritis yang baru.

Salah satu cara untuk mengetahui apakah jalur kritis yang baru akan terjadi sebelum tercapai titik desak ialah mempertimbangkan *free float* untuk kegiatan-kegiatan yang tidak kritis. Berdasarkan definisi, *free float* bebas terhadap waktu dimulainya kegiatan lainnya. Jadi kalau selama penekanan suatu kegiatan kritis, suatu *free float* positif menjadi nol, kegiatan kritis ini ditekan tanpa pengecekan lebih lanjut sebab ada kemungkinan kegiatan dengan *free float* yang nol menjadi kritis.

Ini berarti sebagai tambahan pada limit desak (*crash limit*) seseorang harus mempertimbangkan juga *free float limit*.

Menentukan *free float limit*, pertama-tama perlu mengurangi lamanya pelaksanaan kegiatan kritis yang dipilih untuk penekanan dengan satu unit waktu. *Free float* yang terkecil, sebelum pengurangan, untuk semua kegiatan yang demikian itu menentukan *free float limit* yang ditentukan.. Suatu pengurangan untuk kegiatan (1,2) dengan satu unit waktu akan membuat *free float* kegiatan (4,5) tidak berubah tetap sebesar 5. Jadi FF limit sebesar 1. Oleh karena limit desak untuk kegiatan (1,2) sebesar 2, batas tekanan (*compression limit*) sama dengan nilai minimum dari limit desak dan FF limitnya yaitu $\min\{2,1\} = 1$. Jadwal baru terlihat pada gambar 2.5



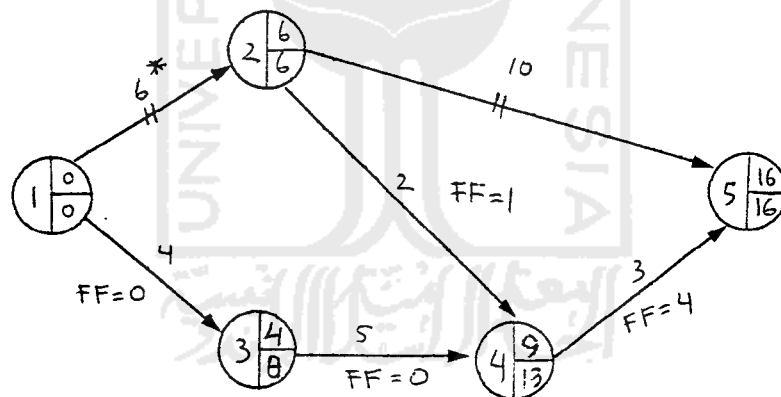
Gambar 2.5 Jaringan kerja baru dengan waktu dan biaya yang diperlukan

Waktu yang diperlukan untuk jadwal baru sebesar 17 unit dan biaya sebesar biaya lama + biaya akibat penekanan waktu (*compressed time*) yaitu $580 + (18-17) \times 50 = 630$.

Walaupun *free float* menurun, jalur kritis tetap tidak berubah. Hal ini menunjukkan kenyataan bahwa tidak selalu benar bahwa jalur kritis akan timbul kalau penekanan waktu dispesifikasikan oleh FF-limit.

Oleh karena kegiatan (1,2) masih merupakan calon terbaik untuk penekanan, limit desak dan FF-limit harus dihitung. Akan tetapi oleh karena kegiatan (1,2) sama dengan 1, maka tidak perlu menghitung FF-limit, sebab setiap FF yang positif paling sedikit nilainya satu (=1).

Akibatnya, kegiatan (1,2) ditekan 1 unit sampai mencapai limit desak. Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 1.6 yang juga menunjukkan jalur kritis tidak berubah. Waktu proyek 16 unit dan jumlah biaya $630 + (17-16) \times 50 = 680$.



Biaya = 680 smu, Waktu 16 unit

*) Kegiatan sudah mencapai limit desak (crash limit)

Gambar 2.6 Jaringan kerja baru dengan waktu dan biaya yang diperlukan

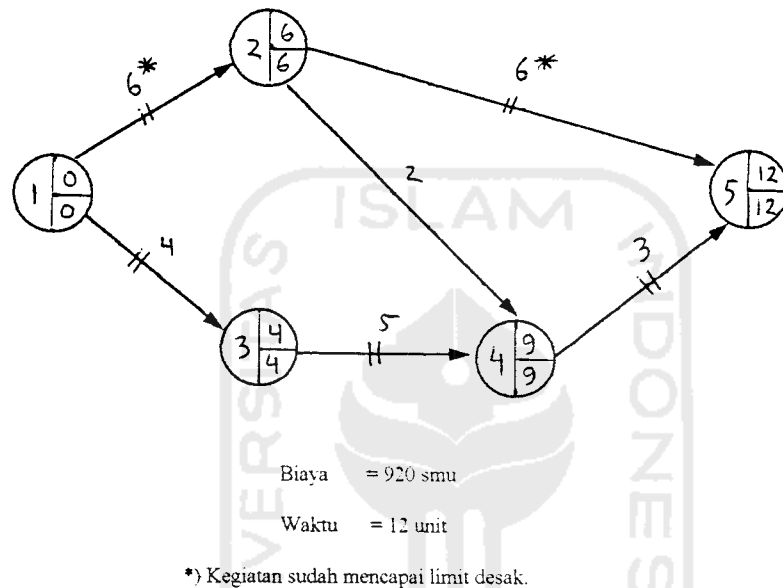
Kegiatan (1,2) tidak dapat lagi ditekan. Jadi kegiatan (2,5) mendapat giliran untuk ditekan. Sekarang perhitungan menjadi sebagai berikut :

Limit desak = $10 - 5 = 5$

FF-limit = 4, untuk kegiatan (4,5)

Limit tekanan (*compression limit*) = $\min \{5,4\} = 4$

Hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Jaringan kerja baru dengan waktu dan biaya yang diperlukan

Ada 2 jalur kritis yaitu : (1,2,5) dan (1,3,4,5).

Biaya diperlukan = $680 + (16-12) \times 60 = 920$, sedang waktu yang diperlukan bisa ditekan menjadi 12 unit.

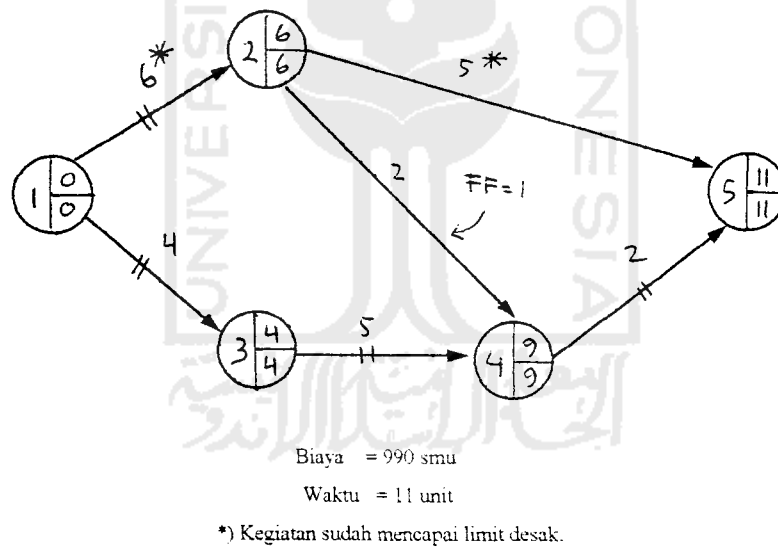
Munculnya 2 jalur kritis menunjukkan bahwa untuk mengurangi waktu penyelesaian proyek, perlu mengurangi waktu 2 jalur kritis secara simultan.

Aturan untuk memilih kegiatan kritis yang harus ditekan masih berlaku di sini. Untuk jalur (1,2,5), kegiatan (2,5) dapat ditekan dengan 1 unit.

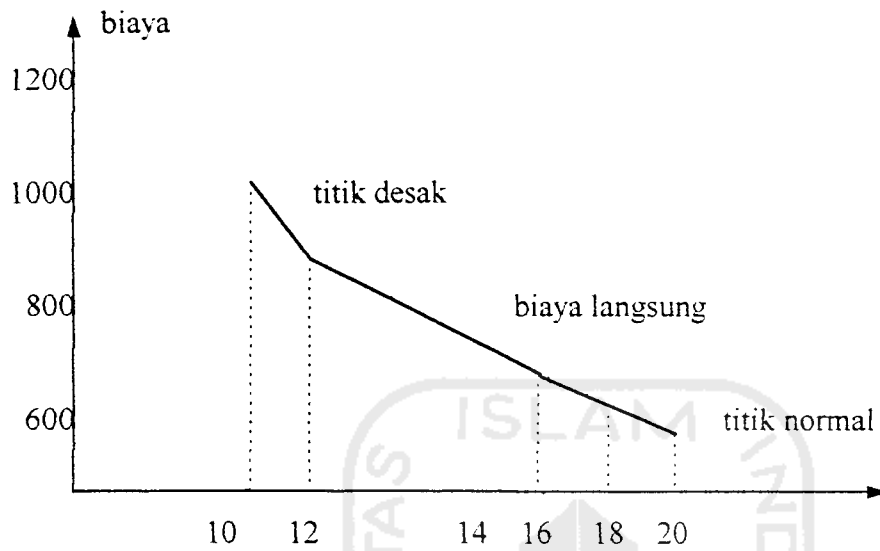
Untuk jalur (1,3,4,5) kegiatan (4,5) mempunyai koefisien arah terkecil dan limit desak sebesar 2.

Jadi limit desak untuk dua jalur = $\min\{1,2\} = 1$. FF-limit dalam hal ini ditentukan dengan mengambil nilai minimum dari FF-limit yang diperoleh dari setiap jalur secara terpisah. Akan tetapi oleh karena limit desak = 1, FF-limit tidak perlu dihitung. Jadual yang baru terlihat pada gambar 2.8, waktu yang diperlukan 11 unit dan biaya sebesar $920 + (12-11) \times (10 + 60) = 990$. Dua jalur kritis masih tetap sama.

Oleh karena semua kegiatan yang berada pada jalur kritis (1,2,5) dalam posisi limit desak, maka tidak mungkin lagi untuk mengurangi waktu penyelesaian proyek.



Gambar 2.8 Jaringan kerja baru dengan waktu dan biaya yang diperlukan



Gambar 2.9 Hubungan lamanya waktu penyelesaian proyek dengan biaya langsung

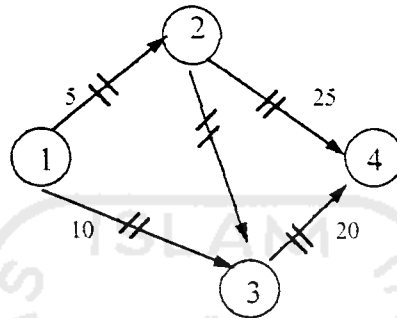
Gambar 2.9 menunjukkan hasil penekanan waktu yang diimbangi dengan kenaikan biaya langsung.

Kurva berdasarkan data berikut :

Tabel 2.11 Hubungan waktu dan biaya

Lamanya waktu (unit)	Biaya (smu)
18	580
17	630
16	680
12	920
11	990

Contoh di atas meringkaskan semua aturan untuk menekan kegiatan-kegiatan dalam kondisi tertentu yang telah berlaku. Ada kasus-kasus, dimana seseorang mungkin memperluas kegiatan yang sudah ditekan sebelum lamanya waktu seluruh proyek dapat dikurangi. Gambar 2.10 sebagai ilustrasi kasus seperti ini.



Gambar 2.10 Jaringan kerja dimana kegiatan-kegiatan sudah ditekan

Ada 3 jalur kritis yaitu (1,2,3,4), (1,2,4), dan (1,3,4). Kegiatan (3,4) sudah ditekan dari waktu normal 8 unit menjadi 5 unit. Lamanya waktu penyelesaian proyek bisa diperkecil/dikurangi dengan mengurangi secara simultan salah satu kegiatan pada setiap jalur kritis (1,2,4) dan (1,3,4) atau menekan secara simultan kegiatan (1,2) dan (3,4) dan perluasan kegiatan (2,3). Suatu alternatif dengan jumlah koefisien arah netto minimum yang harus dipilih.

Perhatikan sekarang, bahwa kalau kegiatan (1,2) dan (3,4) ditekan dan kegiatan (2,3) diperluas, jumlah koefisien arah netto merupakan jumlah koefisien arah kegiatan (1,2) dan (3,4) dikurangi koefisien arah untuk kegiatan (2,3). Di dalam kasus lainnya dimana tidak ada kegiatan yang diperluas, jumlah netto akan sama dengan jumlah koefisien arah dari kegiatan-kegiatan yang ditekan. Kalau perluasan kegiatan

dianggap perlu, kemudian tambahan kepada limit desak dan FF-limit, limit perluasan juga harus diperhitungkan.

Hal ini sama dengan waktu normal dari kegiatan dikurangi waktu tekan (*compressed time*). Limit tekanan (*compression limit*) kemudian merupakan nilai minimum dari limit desak, FF-limit dan limit perluasan.

2.10 Prosedur Lainnya untuk Mendeteksi Jalur Kritis Baru dan Pengendalian

Proyek

Dalam contoh di depan FF-limit dipergunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya jalur baru. Apabila FF-limit besar dan sama dengan limit tekanan (*compression limit*), seseorang dapat mengurangi lamanya waktu (*duration*) penyelesaian proyek. Intinya, ini mempunyai kebaikan untuk meminimumkan banyaknya penjadualan (*number of schedules*) yang dihitung antara titik normal dan titik desak. Hal ini ada kemungkinan berarti, bahwa perhitungan utama dari proyek adalah diminimumkan. Akan tetapi penentuan FF-limit memerlukan tambahan perhitungan yang semakin banyak sejalan dengan banyaknya jalur kritis dalam proyek. Konsekuensinya tidak ada jaminan bahwa penggunaan metode FF-limit akan menghasilkan perhitungan yang minimum.

Metode lainnya juga telah dikembangkan yang menghilangkan sama sekali kebutuhan FF-limit. Telah ditunjukkan dalam contoh di depan bahwa kalau limit desak = 1, FF-limit tidak perlu dihitung oleh karena setiap FF yang positif paling sedikit nilainya 1 (satu). Prosedur baru kemudian diperlukan untuk mengurangi

lamanya waktu proyek dengan satu unit waktu pada setiap siklus(daur) perhitungan. Hal ini dilakukan dengan menekan kegiatan yang mempunyai koefisien arah terkecil. Prosedur ini diulangi pada jadual yang baru (dan jalur-jalur bkritis kalau ada) sampai jadual desak (*crash schedule*) diperoleh.

Perlu dicatat, metode baru menekan waktu proyek dengan satu unit waktu pada setiap siklus. Jadi kalau ada n unit waktu antara jadual normal dan desak, kita akan mengharapkan sebanyak n siklus perhitungan.

Belum ada bukti yang dapat untuk menyimpulkan metode mana yang lebih efisien artinya menghitung serta memberikan hasil lebih cepat. Akan tetapi perhitungan secara manual(tidak dengan komputer), menggunakan non FF-limit kelihatannya lebih baik. Bisa dicoba dengan memecahkan soal.

Ada suatu kecenderungan cara berpikir di antara para pemakai CPM, bahwa diagram anak panah dapat dihilangkan segera setelah penjadualan waktu selesai dibuat. Ternyata hal ini tidak benar. Kenyataannya penggunaan diagram anak panah terjadi selama tahap pelaksanaan proyek. Jarang sekali terjadi bahwa tahapan perencanaan mengembangkan jadual waktu yang dapat diikuti secara tepat selama tahap pelaksanaan. Bahkan sering terjadi beberapa kegiatan tertunda.

Hal ini sangat tergantung pada kondisi pekerjaan yang sebenarnya. Segera setelah suatu gangguan terjadi dalam perencanaan aslinya (*original plan*), segera perlu dibuat suatu jadual waktu yang baru untuk mengatur sisa-sisa kegiatan dalam proyek atau kegiatan proyek yang belum selesai. Untuk keperluan memonitor pelaksanaan suatu proyek, ternyata penting sekali mengikuti kemajuan suatu proyek pada diagram anak

panah daripada hanya pada jadual waktu. Jadual waktu pada dasarnya dipergunakan untuk mengecek apakah setiap kegiatan selesai pada waktunya. Dampak keterlambatan atau tertundanya suatu kegiatan jelas akan terasa pada kegiatan-kegiatan yang mengikutinya dan dapat diperhitungkan melalui diagram anak panah.

Misalkan bahwa suatu proyek sedang berjalan, ternyata diketemukan bahwa keterlambatan dalam beberapa kegiatan memerlukan dibentuknya suatu jadual waktu yang baru. Dalam hal ini perlu segera memperbaharui (*to up date*) diagram anak panah dengan memberikan nilai nol untuk lamanya waktu (*duration*) bagi kegiatan-kegiatan yang sudah selesai.

Kegiatan yang belum selesai seluruhnya, lamanya waktu diberi nilai sebesar waktu yang masih diperlukan untuk penyelesaiannya.

Perubahan dalam diagram anak panah seperti penambahan kegiatan baru atau mengurangi kegiatan lama harus dibuat.

Dengan jalan mengulangi perhitungan-perhitungan yang biasa pada diagram anak panah dengan elemen waktu yang baru, kita dapat menentukan jadual waktu yang baru dan kemungkinan perubahan waktu pelaksanaan/penyelesaian proyek. Informasi semacam itu dipergunakan sampai diperlukan untuk memperbaharui jadual waktu selanjutnya. Dalam prakteknya, banyak revisi atau perbaikan jadual waktu biasanya diperlukan pada tahap permulaan pelaksanaan proyek. Suatu periode atau lamanya waktu penyelesaian proyek yang stabil akan dicapai dan revisi jadual waktu kemungkinan besar tidak diperlukan lagi.

