

ANALISA "WHAT IF" SEBAGAI METODE ANTISIPASI KETERLAMBATAN DURASI PROYEK

Ratna S. Alifen

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

Ruben S. Setiawan, Andi Sunarto

Alumni, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Jaringan kerja proyek terdiri dari berbagai jenis aktivitas yang saling berkaitan antara satu dengan yang lain. Bila terjadi keterlambatan pada salah satu jenis aktivitas, sering kali akan menyebabkan keterlambatan durasi proyek secara keseluruhan. Salah satu usaha untuk mengantisipasi keterlambatan durasi proyek adalah dengan melakukan percepatan durasi aktivitas pengikut.

Metode Jalur Kritis atau *Critical Path Method* (CPM) merupakan suatu metode penjadwalan proyek yang sudah dikenal dan sering digunakan sebagai sarana manajemen dalam pelaksanaan proyek. Sebuah studi telah dilakukan untuk mengatasi masalah percepatan durasi aktivitas sebagai langkah antisipasi keterlambatan proyek, dengan analisa "what if" yang diterapkan pada jadwal CPM. Percepatan durasi dilakukan pada aktivitas-aktivitas pengikut dengan menambah jumlah jam kerja dan jumlah pekerja pada aktivitas percepatan.

Kata kunci: Keterlambatan proyek, percepatan durasi, jadwal CPM, analisa "what if", float.

ABSTRACT

A project network is composed of various activities interrelated in a sequential relationship. If delay occurs on one activity, it will eventually cause the project overall duration to delay. To anticipate the project delays one could accelerate the succeeding activity in the network.

Critical Path Method (CPM) is a management tool which is widely used in the construction project. In this study "what if" analysis is used to anticipate project delays by accelerating the activities on CPM schedule. The acceleration actions are treated in accordance with additional working hours and man-power in the succeeding activities.

Keywords: Project delay, project acceleration, CPM scheduling, "what if" analysis, float.

PENDAHULUAN

Waktu adalah uang; nilai waktu semakin menjadi elemen yang kritis dalam proses pelaksanaan sebuah proyek, dengan tingginya tingkat suku bunga dan laju inflasi yang semakin terasa pada beberapa tahun terakhir ini, keterlambatan proyek menjadi kontribusi utama terhadap terjadinya pembengkakan

biaya proyek. Secara umum keterlambatan proyek sering terjadi karena adanya perubahan perencanaan selama proses pelaksanaan, manajerial yang buruk dalam organisasi kontraktor, rencana kerja yang tidak tersusun dengan baik/terpadu, gambar dan spesifikasi yang tidak lengkap, dan kegagalan kontraktor dalam melaksanakan pekerjaan [1].

Keterlambatan proyek sering kali menjadi sumber perselisihan dan tuntutan antara pemilik dan kontraktor, sehingga keterlambatan proyek akan menjadi sangat mahal

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Desember 1999. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil vol. 2 no. 1 Maret 2000.

nilainya baik ditinjau dari sisi kontraktor maupun pemilik. Kontraktor akan terkena denda penalti sesuai dengan kontrak, di samping itu kontraktor juga akan mengalami tambahan biaya *overhead* selama proyek masih berlangsung. Dari sisi pemilik keterlambatan proyek akan membawa dampak pengurangan pemasukan karena penundaan pengoperasian fasilitasnya. Berdasarkan alasan tersebut diatas, maka seorang manajer proyek yang kompeten biasanya akan mengambil langkah antisipasi yaitu melakukan usaha percepatan aktivitas proyek, bila disinyalir adanya indikasi keterlambatan proyek, karena keterlambatan pada salah satu aktivitas kritis maupun non-kritis.

Analisa "what if" sebagai metode antisipasi keterlambatan durasi proyek merupakan sebuah studi yang bertujuan melengkapi seorang manajer proyek di dalam memonitor proyek untuk menghindari keterlambatan durasi proyek [2]. Analisa "what if" dilakukan sebelum proyek dilaksanakan, dan dapat digunakan sebagai acuan bagi manajer proyek untuk dapat segera mengambil keputusan yang tepat dan efektif, bila terjadi ketidaksesuaian jadwal aktual dengan jadwal rencana. Hasil analisa disajikan dalam bentuk grafik yang sangat komunikatif dan mudah digunakan, dimana grafik ini menunjukkan hubungan antara jenis aktivitas yang dipercepat dengan jumlah tambahan pekerja atau jumlah tambahan jam kerja per hari.

LANDASAN TEORI

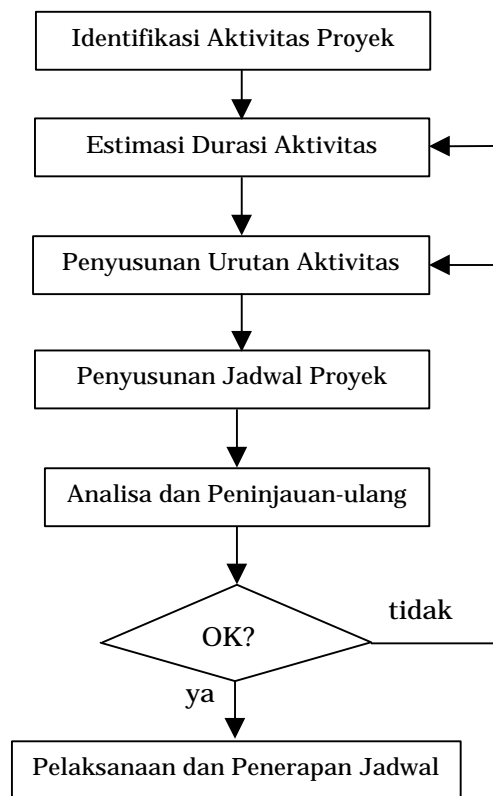
Metode Jalur Kritis

Metode jalur kritis atau *Critical Path Method* (CPM), pertama kali digunakan di Inggris pada pertengahan tahun 50-an pada suatu proyek pembangkit tenaga listrik [3], kemudian pada tahun 1956-1958 metode ini dikembangkan dan disempurnakan oleh Walker dan Kelley dari dua perusahaan Amerika, E.I. du Pont de Nemours Co., dan Remington Rand Co. [4]. CPM yang banyak digunakan sekarang adalah hasil pengembangan yang dilakukan oleh Fondahl dari Stanford University pada tahun 1961, yaitu metode CPM yang dibantu oleh program komputer, baik dalam perhitungan, maupun dalam penyusunan urutan pelaksanaan aktivitas proyek [3].

CPM merupakan suatu model grafis yang menunjukkan waktu pelaksanaan suatu sistem operasi proyek. Sebuah jadwal CPM terdiri dari serangkaian aktivitas kritis dan

non-kritis yang saling berkaitan antara satu dengan yang lain. Aktivitas kritis adalah aktivitas yang tidak dapat diganggu gugat waktu pelaksanaannya yaitu $ES=LS$ dan $EF=LF$ ($ES=Early Start$ adalah waktu paling awal dimulainya aktivitas; $LS=Late Start$ adalah waktu paling lambat aktivitas harus dimulai; $EF=Early Finish$ adalah waktu paling awal selesainya aktivitas; $LF=Late Finish$ adalah waktu paling lambat aktivitas harus selesai), sehingga bila terjadi keterlambatan pada aktivitas-aktivitas ini, durasi proyek secara keseluruhan akan terlambat. Aktivitas non-kritis adalah aktivitas yang memiliki tenggang waktu (*float*) yaitu $LS>ES$ dan $LF>EF$, dimana tenggang waktu tersebut sangat berperan di dalam usaha percepatan durasi proyek.

Perencanaan jadwal proyek dapat dilakukan dengan baik dan realitis, apabila di dalam proses perencanaan jadwal dilakukan secara bertahap dengan langkah-langkah (1) Mengidentifikasi jenis-jenis aktivitas proyek; (2) Menentukan durasi masing-masing aktivitas sesuai dengan produktivitas sumber daya yang ada; (3) Menentukan hubungan antar aktivitas, dan urutan kerja antara aktivitas yang satu dengan yang lain. (4) Melihat kembali apakah durasi dan urutan aktivitas sudah masuk akal dan bisa dilaksanakan dilapangan? [3] (Gambar 1).



Gambar 1. Langkah-Langkah Pembuatan Jadwal Proyek

Keterlambatan Proyek dan Percepatan Durasi Aktivitas

Keterlambatan proyek dapat disebabkan oleh pihak kontraktor, pemilik, atau disebabkan oleh keadaan alam dan lingkungan diluar kemampuan manusia atau disebut dengan *force majeure*. Standard dokumen kontrak yang diterbitkan oleh AIA (*American Institute of Architects*) membedakan keterlambatan proyek menjadi 3 kelompok yaitu (1) *Excusable/compensable* adalah keterlambatan yang beralasan dan dapat dikompensasi. (2) *Excusable/noncompensable* adalah keterlambatan yang beralasan, tetapi tidak dapat dikompensasi. (3) *Non-excusable* adalah keterlambatan yang tidak beralasan [5].

Kasus keterlambatan yang beralasan dan dapat dikompensasi adalah keterlambatan yang disebabkan oleh pihak pemilik dalam kaitannya karena tidak dapat menyediakan jalan tempuh ke proyek, perubahan gambar rencana, perubahan lingkup pekerjaan kontraktor, keterlambatan dalam menyetujui gambar kerja, jadwal, dan material, kurangnya koordinasi dan supervisi lapangan, pembayaran tertunda, campur tangan pemilik yang bukan wewenangnya. Dalam kasus ini kontraktor berhak atas dispensasi waktu dan biaya ekstra.

Kasus keterlambatan yang beralasan, tetapi tidak dapat dikompensasi adalah keterlambatan yang diluar kemampuan baik kontraktor maupun pemilik. Sebagai contoh, cuaca buruk, kebakaran, banjir, pemogokan buruh, peperangan, perusakan oleh pihak lain, larangan kerja, wabah penyakit, inflasi/eskalasi harga dan lain sebagainya. Kasus ini biasanya disebut dengan *force majeure*.

Kasus keterlambatan yang tidak beralasan adalah keterlambatan yang disebabkan karena kegagalan kontraktor memenuhi tanggung jawabnya dalam pelaksanaan proyek. Sebagai contoh, kekurangan dalam penyediaan sumber daya proyek (manusia, alat, material, subkontraktor, uang), kegagalan koordinasi lapangan, kegagalan perencanaan jadwal, produktivitas yang rendah, dan sebagainya. Dalam kasus ini kontraktor akan terkena denda penalti sesuai dengan kontrak.

Keterlambatan proyek seharusnya dapat diantisipasi sejak awal proyek dilaksanakan, yaitu dengan memonitor setiap aktivitas di dalam jadwal CPM, jika keterlambatan terjadi

pada satu aktivitas maka harus dilakukan percepatan durasi pada aktivitas berikutnya. Disini peranan *float* pada setiap aktivitas menjadi sangat penting. "*Float*" adalah tenggang waktu atau waktu ekstra pada aktivitas non-kritis di dalam jadwal CPM. Keberadaan *float* dalam jadwal CPM merupakan komoditi yang bernilai dan bersifat dinamis yang bermanfaat bagi kontraktor maupun pemilik di dalam pengaturan aktivitas non-kritis, terutama dalam hal alokasi sumber daya proyek dalam konteks percepatan durasi aktivitas [6].

Analisa "What If" Pada Model CPM

Analisa "*what if*" banyak digunakan pada studi ekonomis yang merupakan tindak lanjut dari pada evaluasi ekonomis, untuk menguji sensitivitas parameter suatu perencanaan terhadap keadaan yang akan datang, dimana dengan adanya perubahan parameter akan mempengaruhi hasil proposal yang telah direncanakan [7]. Hasil analisa dari pengujian parameter disajikan dalam bentuk grafik sensitivitas yang menunjukkan pengaruh dari pada perubahan parameter (biasanya dalam prosentasi) terhadap hasil akhir dari pada proposal studi ekonomis. Penampilan grafik merupakan hasil konsolidasi data analisa yang mudah digunakan dan dimengerti.

Analisa "*what if*" merupakan metode sensitivitas yang sering dilakukan di balik proses pengambilan keputusan, karena adanya ketidakpastian dan keraguan di dalam dunia kenyataan. Seorang pembuat keputusan (*decision maker*) yang berpengalaman sering kali tidak hanya berpaku pada rencana tunggal, biasanya mereka akan mempertimbangkan adanya kemungkinan-kemungkinan yang akan menyebabkan ketidaksesuaian dengan apa yang telah direncanakan.

Proyek konstruksi yang bersifat sangat fleksibel dan kompleks merupakan pekerjaan yang sangat beresiko tinggi, karena dilaksanakan di luar dan tergantung pada banyak pihak yang terlibat, sehingga analisa "*what if*" dirasakan perlu untuk diterapkan pada perencanaan model CPM. Analisa "*what if*" pada model CPM menanyakan "Bagaimana bila terjadi keterlambatan pada salah satu aktivitas?", disini akan terlihat peranan *float* pada aktivitas-aktivitas non kritis, kemudian langkah percepatan durasi dilakukan pada aktivitas-aktivitas pengikut agar durasi

proyek tidak terlambat dan berlangsung dengan efektif. Percepatan durasi aktivitas-aktivitas dilakukan dengan menambah jam kerja dan jumlah pekerja per hari.

Produktivitas Pekerja

Secara umum produktivitas adalah merupakan tingkat produksi yaitu *output* dibagi *input*. Di bidang konstruksi *output* adalah hasil kerja berupa kuantitas atau volume pekerjaan (misalnya meter kubik beton, meter persegi dinding bata, dan sebagainya), sedangkan *input* adalah merupakan jumlah sumber daya (misalnya manusia, peralatan, material) yang menghasilkan unit volume pekerjaan. Kelancaran dan ketepatan jadwal pelaksanaan proyek sangat bergantung pada produktivitas kerja dari masing-masing jenis pekerja yang terlibat di dalamnya, sehingga tingkat keahlian dari pekerja menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas [8].

Hubungan antara durasi aktivitas dan produktivitas kerja, dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut [9]:

$$d = \frac{\sum mh}{n \times H} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- d = durasi aktivitas [hari]
- $\sum mh$ = total jam-orang (*manhour*) untuk menyelesaikan suatu aktivitas [jam-orang].
- n = jumlah pekerja rencana untuk menyelesaikan suatu aktivitas [orang]
- H = banyaknya jam kerja dalam satu hari [jam/hari]

Produktivitas suatu aktivitas sangat tergantung pada beberapa faktor antara lain [9]:

- 1) Komposisi kelompok kerja; pada kegiatan konstruksi seorang pengawas lapangan (*mandor*) memimpin suatu kelompok kerja yang terdiri dari bermacam-macam jenis pekerja lapangan, seperti tukang batu, tukang kayu, tukang besi, tukang pipa, tukang pembantu dan lain-lain.
- 2) Kerja lembur; jam kerja tambahan yang dilakukan di luar jam kerja normal, biasanya dilakukan untuk mengejar sasaran/keterlambatan jadwal.
- 3) Pekerja langsung versus sub-kontraktor; kontraktor utama dalam melaksanakan pekerjaan lapangan ada dua cara yaitu dengan merekrut langsung tenaga kerja

atau menyerahkan paket kerja tertentu kepada sub-kontraktor.

- 4) Kepadatan tenaga kerja; dinyatakan dengan perbandingan antara skala proyek dengan jumlah pekerja atau luas tempat kerja bagi setiap tenaga kerja. Faktor kepadatan tenaga kerja sangat berpengaruh terhadap kelancaran pekerjaan dan produktivitas pekerja.

Percepatan durasi aktivitas dapat dilakukan dengan meningkatkan produktivitas pekerja pada aktivitas yang bersangkutan. Berdasarkan pada persamaan (1), langkah percepatan durasi hanya dapat dilakukan pada dua variabel saja, yaitu jumlah pekerja dan jam kerja, sedangkan total jam-orang tidak dapat digunakan sebagai variabel, karena bersifat konstan untuk setiap aktivitas.

Berdasarkan pada dua variabel tersebut diatas, beberapa kemungkinan percepatan yang dapat dilakukan adalah (1) Dengan menambah jam kerja dengan jumlah pekerja tetap, (2) Dengan menambah jumlah pekerja pada jam kerja normal, (3) Dengan membuat kelompok kerja baru yang bekerja di luar jam kerja dengan *shift* kerja pada malam/hari libur [8].

PENERAPAN ANALISA “WHAT IF”

Penjadwalan CPM seharusnya disepakati sebagai suatu hal yang penting dalam pelaksanaan proyek, namun dalam praktek, sering kali tidak dapat dihindari terjadinya hal-hal yang tidak pasti, sehingga akan terjadi penyimpangan terhadap rencana jadwal semula, akibatnya rencana jadwal proyek tidak dapat terlaksana dengan baik dan proyek tidak dapat diselesaikan sesuai dengan jadwal semula. Untuk mengatasi problem tersebut diatas, seharusnya dapat dilakukan usaha monitor jadwal proyek secara kontinyu, yaitu dengan melakukan penyesuaian-penyesuaian jadwal aktivitas di lapangan.

Di dalam penelitian ini dilakukan analisa “*what if*” untuk setiap aktivitas pada model CPM dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyusun suatu jadwal proyek dengan model CPM yang akan digunakan sebagai model penelitian (Gambar 2) dengan mempergunakan program *Microsoft Project*, kemudian model CPM dianalisa

dengan analisa "what if" pada setiap aktivitas.

2. Membuat diagram alir [2] dan menganalisa data sesuai dengan bagan alir, dengan menggunakan program *Microsoft Excel*, kemudian hasil analisa ditampilkan dalam bentuk grafik alternatif aktivitas percepatan yang menunjukkan hubungan antara prosentase keterlambatan aktivitas "x" dengan jumlah pekerja dan jam kerja tambahan untuk mengatasi keterlambatan durasi proyek.

Asumsi dan Batasan

- 1) Jadwal CPM yang tersedia adalah benar/ideal, dan dapat dilaksanakan (realistis) berdasarkan sumber daya yang dimiliki (pekerja, material, dan peralatan).
- 2) Durasi keterlambatan yang terjadi pada suatu aktivitas hanya diperhitungkan sampai batas 50% durasi semula. (untuk keterlambatan lebih dari 50%, dapat dilakukan perhitungan dengan cara yang sama).
- 3) Percepatan durasi yang dilakukan pada suatu aktivitas hanya mungkin untuk dilakukan maksimum sebesar 50% durasi semula aktivitas tersebut.
- 4) Percepatan durasi hanya dilakukan pada satu aktivitas pengikut saja dengan tujuan membuat suatu perbandingan antara masing-masing alternatif percepatan aktivitas yang ada.
- 5) Penambahan jam kerja maksimum dalam satu hari kerja adalah empat jam, sehingga dalam satu hari kerja, pekerja bekerja maksimum 12 jam.
- 6) Jumlah pekerja maksimum untuk menyelesaikan tiap aktivitas adalah 15 pekerja per aktivitas untuk luas dan besar proyek dalam studi penelitian ini.
- 7) Semua jenis aktivitas diasumsikan dapat dikerjakan pada siang dan malam hari.
- 8) Semua peralatan dan material yang dibutuhkan diasumsikan tersedia cukup.

Analisa Percepatan Durasi Aktivitas

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Memasukkan data aktivitas dari model CPM yang meliputi jenis aktivitas, durasi, tenggang waktu, jumlah pekerja rencana pada tiap aktivitas, jam kerja per hari, volume pekerjaan yang dinyatakan dalam satuan jam-orang, urutan dan keter-

gantungan antar aktivitas yang dinyatakan sebagai *successor*.

- 2) Putaran pertama aktivitas "x" mengalami keterlambatan sebesar 10% durasinya.
- 3) Memeriksa apakah keterlambatan yang terjadi pada aktivitas tersebut akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan.
- 4) Mengidentifikasi aktivitas pengikut yang akan dipercepat agar total durasi proyek tetap sesuai dengan jadwal.
- 5) Mempercepat pada salah satu aktivitas pengikut dan memeriksa kemungkinan aktivitas pengikut dapat dilakukan percepatan, dengan batasan:
 - a) Durasi percepatan lebih besar dari pada nilai float aktivitas pengikut.
 - b) Durasi percepatan aktivitas pengikut tidak lebih dari dua kali durasi rencananya.
- 6) Melakukan percepatan pada aktivitas pengikut yang memenuhi batasan di atas, dengan cara:
 - a) Menambah jumlah pekerja pada aktivitas pengikut dengan rumus:

$$\Delta n = n' - n = \frac{\sum \text{manhour}}{d' \times H} - n \dots \dots \dots (2)$$

Memeriksa jumlah pekerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas percepatan dengan batasan jumlah pekerja maksimum sebanyak 15 orang

- b) Menambah jam kerja pada aktivitas pengikut dengan rumus :

$$\Delta H = H' - H = \frac{\sum \text{manhour}}{d' \times n} - H \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

- Δn = jumlah pekerja tambahan
 n' = jumlah pekerja untuk percepatan aktivitas
 n = jumlah pekerja rencana
 $\sum \text{manhour}$ = jumlah jam-orang untuk menyelesaikan aktivitas
 d' = durasi percepatan
 ΔH = jam kerja normal (8 jam per hari)
 H = jam kerja tambahan.
 H' = jam kerja untuk percepatan aktivitas

Memeriksa jam kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas percepatan dengan batasan jam kerja optimum/maksimum dalam satu hari kerja sebanyak 12 jam.

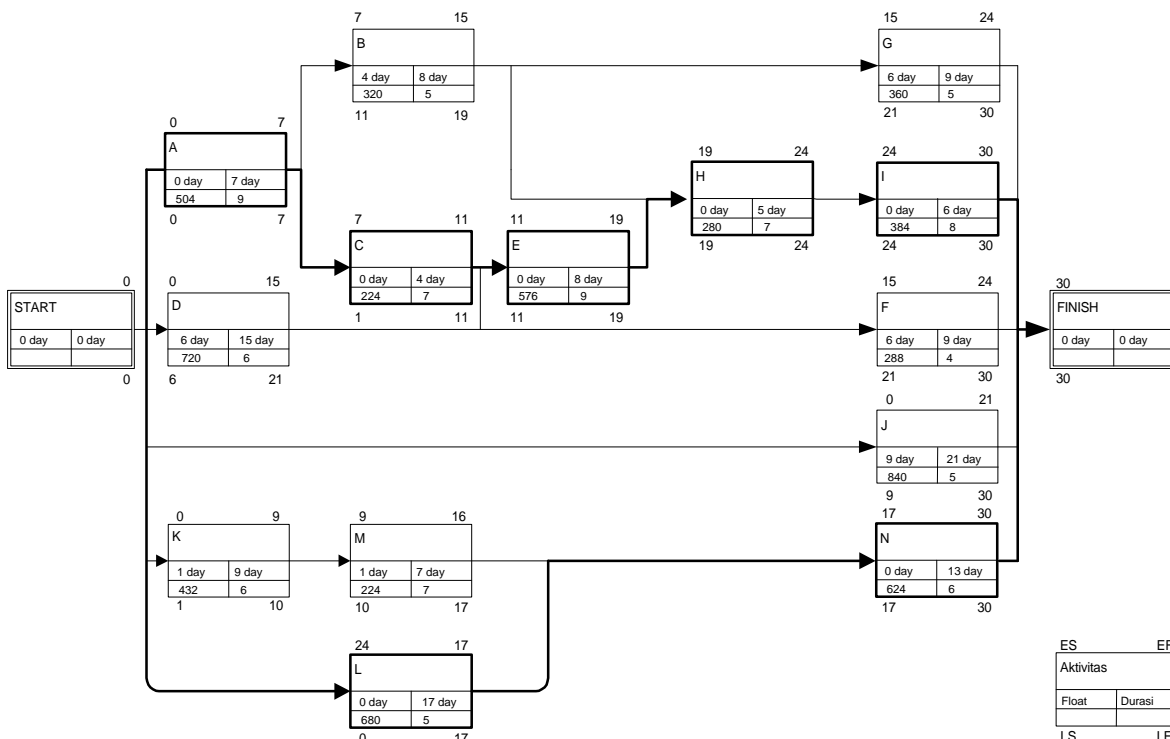
- 7) Kembali pada langkah (5) dan (6) untuk percepatan pada aktivitas pengikut

berikutnya, sampai semua aktivitas pengikut selesai diperiksa.

- 8) Kembali pada langkah (1) sampai dengan (7), untuk keterlambatan pada aktivitas "x" sebesar 20%, 30%, 40%, dan 50%.
- 9) Hasil akhir dari seluruh analisa tersebut di atas, kemudian digambarkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara persentase keterlambatan suatu aktivitas (sumbu x) dengan penambahan jumlah pekerja atau jam kerja yang dibutuhkan (sumbu y) pada aktivitas-aktivitas berikutnya.
- 10) Kembali pada langkah (1) sampai dengan (9) untuk semua aktivitas yang terdapat pada sistim penjadwalan [2].

- Jam kerja rencana dalam sehari, untuk aktivitas A adalah $H = 8$ jam/hari
- Total jam-orang yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas A adalah $mh = 504$ jam-orang

- 2) Bila aktivitas A mengalami keterlambatan 10% (Tabel 1)
Keterlambatan pada aktivitas A : $delay = 10\% \times durasi = 10\% \times 7 = 0,7$ hari
- 3) Keterlambatan pada proyek = $delay_p = delay + float = 0,7 + 0 = 0,7$ hari
Diperiksa apakah $delay_p > 0 \Leftrightarrow 0,7 > 0 \rightarrow$ proyek mengalami *delay* akibat keterlambatan aktivitas A sebesar 10%.
- 4) Periksa aktivitas pengikut dari aktivitas A adalah B, G, C, E, H, I, F.



Gambar 2. Contoh Model CPM

Contoh Perhitungan

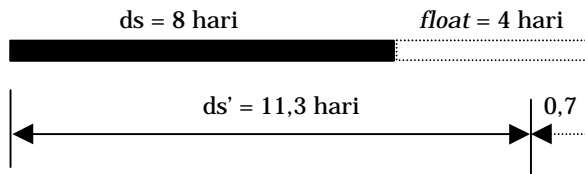
Pada contoh model CPM (Gambar 2) keterlambatan yang terjadi dimulai pada aktivitas A digunakan sebagai contoh perhitungan dengan algorithm sebagai berikut:

- 1) Mengumpulkan data dari aktivitas A sebagai berikut:
 - Durasi rencana aktivitas A adalah $d = 7$ hari
 - $Float = 0$ hari berarti aktivitas A merupakan aktivitas kritis
 - Jumlah pekerja rencana untuk menyelesaikan aktivitas A adalah $n = 9$ orang

- 5) Alternatif percepatan pada aktivitas pengikut agar total durasi proyek tetap:

- a) Aktivitas B dipercepat.
Data-data aktivitas B adalah sebagai berikut :
 $d_s = 8$ hari; $H = 8$ jam/hari
 $float_s = 4$ hari; $\Sigma mh = 320$ jam-orang
 $n = 5$ orang
 $d'_s = d_s + float_s - delay_p = 8 + 4 - 0,7 = 11,3$ hari
 Diperiksa $d'_s < d_s \Leftrightarrow 11,3 > 8 \rightarrow$ tidak memenuhi

Jadi untuk keterlambatan aktivitas A sebesar 10% atau 0,7 hari, percepatan pada aktivitas B tidak dapat dipakai, karena durasi percepatan (d_s') yang dibutuhkan lebih besar dari durasi aktivitas B. Hal ini disebabkan karena aktivitas B memiliki *float* atau waktu ekstra sebesar 4 hari, sehingga untuk mempercepat aktivitas B sebesar 0,7 hari tidak akan berpengaruh terhadap durasi proyek secara keseluruhan (Gambar 3).



Gambar 3. Diagram Batang Untuk Percepatan Durasi Aktivitas B

- b) Aktivitas C dipercepat.
 Data-data aktivitas C adalah sebagai berikut:
 $d_s = 4$ hari; $H = 8$ jam
 $float_s = 0$ hari; $\Sigma mh = 224$ jam-orang
 $n = 7$ orang
 $d'_s = d_s + float_s - delay_p$
 $= 4 + 0 - 0,7 = 3,3$ hari
 diperiksa $d'_s < d_s \Leftrightarrow 3,3 < 4 \rightarrow$ memenuhi

diperiksa $d_s > 2 \cdot delay_p \Leftrightarrow 4 > 2 \cdot 0,7 \Leftrightarrow 4 > 1,4 \rightarrow$ memenuhi
 Jadi percepatan pada aktivitas C dapat dilakukan.

- 6) Melakukan percepatan pada aktivitas C dengan cara:
 a) Menambah jumlah pekerja:
 $\Delta n = n' - n = \frac{\Sigma mh}{d'_s \times H} - n = \frac{224}{3,3 \times 8} - 7 = 1,485$ orang
 diperiksa, $n' = n + \Delta n \leq n_{opt}$
 $7 + 1,485 = 8,485 \leq 15 \rightarrow$ memenuhi
 b) Menambah jam kerja:
 $\Delta H = H' - H = \frac{\Sigma mh}{d'_s \times n} - H = \frac{224}{3,3 \times 7} - 8 = 1,697$ jam
 diperiksa $H' = H + \Delta H \leq H_{opt}$
 $8 + 1,697 = 9,697 \leq 12$ jam \rightarrow memenuhi.
 7) Langkah-langkah percepatan di atas diulang pada aktivitas-aktivitas pengikut lainnya. (E, F, G, H, dan I).
 8) Demikian seterusnya untuk keterlambatan aktivitas A sebesar 20%, 30%, 40%, dan 50%. (Tabel 2, 3, 4, 5).
 9) Hasil penelitian dari tabel-tabel di atas dirangkum (Tabel 6, 7) dan disajikan dalam bentuk grafik (Gambar 4,5).
 10) Langkah selanjutnya untuk semua aktivitas, sehingga diperoleh grafik-grafik percepatan aktivitas [2].

Tabel 1. Aktivitas A Mengalami Keterlambatan 10%

(1) aktivitas	(2) durasi	(3) float	(4) n	(5) H	(6) Σmh	(7) Successor						(8) delay	(9) delay p	(10) delay?	(11) succ?	(12) d's	(13) d's<d_s	(14) ds \geq 2 delay p	(15) Δn	(16) n' \leq n opt	(17) ΔH	(18) H' \leq H opt
A	7	0	9	8	504	B	G	C	E	H	I	F	0,7	0,7	yes							
B	8	4	5	8	320					H	I	G			TRUE	11,3	no					
C	4	0	7	8	224				F	E	H	I			TRUE	3,3	yes	yes	1,485	yes	1,697	yes
D	15	6	6	8	720							F			FALSE							
E	8	0	9	8	576					H	I				TRUE	7,3	yes	yes	0,863	yes	0,767	yes
F	9	6	4	8	288							-			TRUE	14,3	no					
G	9	6	5	8	360							-			TRUE	14,3	no					
H	5	0	7	8	280							1			TRUE	4,3	yes	yes	1,14	yes	1,302	yes
I	8	0	8	8	384							-			TRUE	5,3	yes	yes	1,057	yes	1,057	yes
J	21	9	5	8	840							-			FALSE							
K	9	1	6	8	432					M	N				FALSE							
L	17	0	5	8	680						N				FALSE							
M	7	1	4	8	224						N				FALSE							
N	13	0	6	8	624							-			FALSE							

Tabel 2. Aktivitas A Mengalami Keterlambatan 20%

(1) aktivitas	(2) durasi	(3) float	(4) n	(5) H	(6) Σmh	(7) Successor						(8) delay	(9) delay p	(10) delay?	(11) succ?	(12) d's	(13) d's<d_s	(14) ds \geq 2 delay p	(15) Δn	(16) n' \leq n opt	(17) ΔH	(18) H' \leq H opt
A	7	0	9	8	504	B	G	C	E	H	I	F	1,4	1,4	yes							
B	8	4	5	8	320					H	I	G			TRUE	10,6	no					
C	4	0	7	8	224				F	E	H	I			TRUE	2,6	yes	yes	3,769	yes	4,308	no
D	15	6	6	8	720							F			FALSE							
E	8	0	9	8	576					H	I				TRUE	6,6	yes	yes	1,909	yes	1,697	yes
F	9	6	4	8	288							-			TRUE	13,6	no					
G	9	6	5	8	360							-			TRUE	13,6	no					
H	5	0	7	8	280							1			TRUE	3,6	yes	yes	2,722	yes	3,111	yes
I	8	0	8	8	384							-			TRUE	4,6	yes	yes	2,435	yes	2,435	yes
J	21	9	5	8	840							-			FALSE							
K	9	1	6	8	432					M	N				FALSE							
L	17	0	5	8	680						N				FALSE							
M	7	1	4	8	224						N				FALSE							
N	13	0	6	8	624							-			FALSE							

Tabel 3. Aktivitas A Mengalami Keterlambatan 10%

(1) aktivitas	(2) durasi	(3) float	(4) n	(5) H	(6) Σ mh	(7) Successor						(8) delay	(9) delay p	(10) delay?	(11) succ?	(12) d's	(13) d's<ds	(14) ds≥2 delay p	(15) Δn	(16) n'≤n opt	(17) ΔH	(18) H'≤H opt	
A	7	0	9	8	504	B	G	C	E	H	I	F	2,1	2,1	yes								
B	8	4	5	8	320					H	I	G			TRUE	9,9	no						
C	4	0	7	8	224				F	E	H	I			TRUE	1,9	yes	no					
D	15	6	6	8	720							F			FALSE								
E	8	0	9	8	576						H	I			TRUE	5,9	yes	yes	3,203	yes	2,847	yes	
F	9	6	4	8	288							-			TRUE	12,9	no						
G	9	6	5	8	360							-			TRUE	12,9	no						
H	5	0	7	8	280							1			TRUE	2,9	yes	yes	5,069	yes	5,793	no	
I	8	0	8	8	384							-			TRUE	3,9	yes	yes	4,308	yes	4,308	no	
J	21	9	5	8	840							-			FALSE								
K	9	1	6	8	432						M	N			FALSE								
L	17	0	5	8	680							N			FALSE								
M	7	1	4	8	224							N			FALSE								
N	13	0	6	8	624							-			FALSE								

Tabel 4. Aktivitas A Mengalami Keterlambatan 40%

(1) aktivitas	(2) durasi	(3) float	(4) n	(5) H	(6) Σ mh	(7) Successor						(8) delay	(9) delay p	(10) delay?	(11) succ?	(12) d's	(13) d's<ds	(14) ds≥2 delay p	(15) Δn	(16) n'≤n opt	(17) ΔH	(18) H'≤H opt	
A	7	0	9	8	504	B	G	C	E	H	I	F	2,8	2,8	yes								
B	8	4	5	8	320					H	I	G			TRUE	9,2	no						
C	4	0	7	8	224				F	E	H	I			TRUE	1,2	yes	no					
D	15	6	6	8	720							F			FALSE								
E	8	0	9	8	576						H	I			TRUE	5,2	yes	yes	4,846	yes	4,308	no	
F	9	6	4	8	288							-			TRUE	12,2	no						
G	9	6	5	8	360							-			TRUE	12,2	no						
H	5	0	7	8	280							1			TRUE	2,2	yes	no					
I	8	0	8	8	384							-			TRUE	3,2	yes	yes	7	yes	7	no	
J	21	9	5	8	840							-			FALSE								
K	9	1	6	8	432						M	N			FALSE								
L	17	0	5	8	680							N			FALSE								
M	7	1	4	8	224							N			FALSE								
N	13	0	6	8	624							-			FALSE								

Tabel 5. Aktivitas A Mengalami Keterlambatan 50%

(1) aktivitas	(2) durasi	(3) float	(4) n	(5) H	(6) Σ mh	(7) Successor						(8) delay	(9) delay p	(10) delay?	(11) succ?	(12) d's	(13) d's<ds	(14) ds≥2 delay p	(15) Δn	(16) n'≤n opt	(17) ΔH	(18) H'≤H opt
A	7	0	9	8	504	B	G	C	E	H	I	F	3,5	3,5	yes							
B	8	4	5	8	320					H	I	G			TRUE	8,5	no					
C	4	0	7	8	224				F	E	H	I			TRUE	0,5	yes	no				
D	15	6	6	8	720							F			FALSE							
E	8	0	9	8	576						H	I			TRUE	4,5	yes	yes	7	no	6,222	no
F	9	6	4	8	288							-			TRUE	11,5	no					
G	9	6	5	8	360							-			TRUE	11,5	no					
H	5	0	7	8	280							1			TRUE	1,5	yes	no				
I	8	0	8	8	384							-			TRUE	2,5	yes	no				
J	21	9	5	8	840							-			FALSE							
K	9	1	6	8	432						M	N			FALSE							
L	17	0	5	8	680							N			FALSE							
M	7	1	4	8	224							N			FALSE							
N	13	0	6	8	624							-			FALSE							

Keterangan Tabel (1-5):

- Kolom 1 : Aktivitas, menunjukkan nama aktivitas.
- Kolom 2 : durasi, menunjukkan durasi aktivitas [hari]
- Kolom 3 : float, menunjukkan besarnya tenggang waktu aktivitas [hari].
- Kolom 4 : n, menunjukkan banyaknya jumlah pekerja rencana untuk menyelesaikan aktivitas [orang].
- Kolom 5 : H, menunjukkan banyaknya jam kerja rencana dalam satu hari [jam/hari].
- Kolom 6 : Smh, menunjukkan banyaknya total jam-orang yang dibutuhkan

untuk menyelesaikan aktivitas [jam-orang].

- Kolom 7 : Successor, menunjukkan aktivitas-aktivitas pengikut.
- Kolom 8 : delay, menunjukkan besarnya keterlambatan yang terjadi pada aktivitas [hari].
- Kolom 9 : delay_p, menunjukkan besarnya keterlambatan yang terjadi pada proyek [hari].
- Kolom 10: delay?, merupakan kolom pemeriksaan apakah keterlambatan aktivitas menyebabkan keterlambatan proyek.

- Kolom 11: $succ?$, merupakan kolom pemeriksaan apakah aktivitas yang bersangkutan merupakan aktivitas pengikut dari aktivitas yang mengalami keterlambatan.
- Kolom 12: d'_s , menunjukkan besarnya durasi percepatan yang dibutuhkan pada aktivitas pengikut (dalam satuan hari).
- Kolom 13: $d'_s < d_s$, merupakan kolom pemeriksaan apakah durasi percepatan aktivitas pengikut lebih kecil dari durasi rencana aktivitas pengikut.
- Kolom 14: $d_s \geq 2delay_p$, merupakan kolom pemeriksaan apakah durasi rencana aktivitas pengikut lebih besar atau sama dengan dua kali keterlambatan proyek.

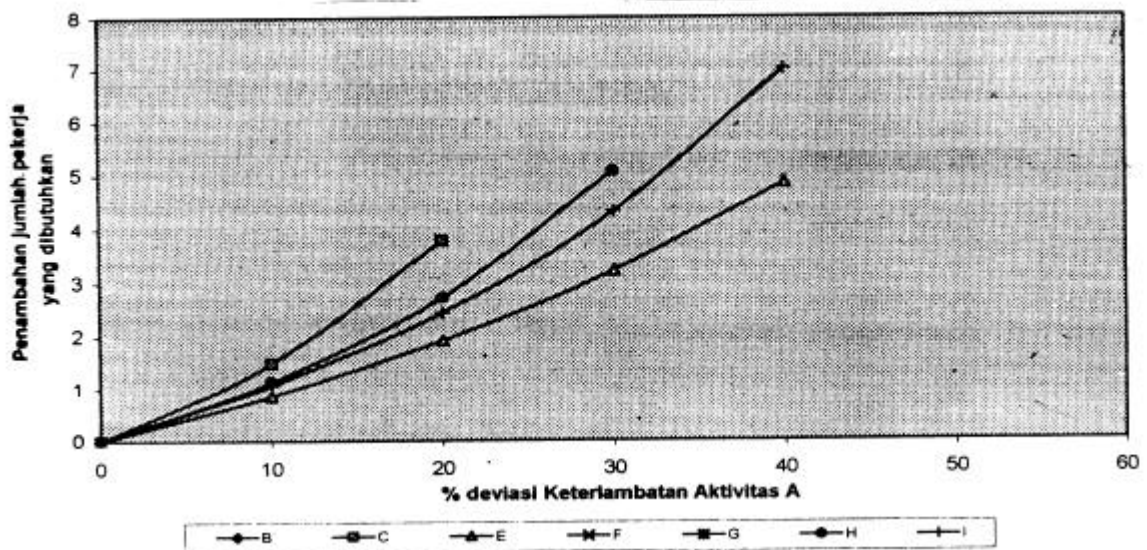
- Kolom 15: Dn , menunjukkan besarnya jumlah pekerja tambahan per hari yang dibutuhkan untuk percepatan [orang].
- Kolom 16: $n' \leq n_{opt}$, merupakan kolom pemeriksaan apakah jumlah pekerja aktivitas percepatan kurang dari atau sama dengan jumlah pekerja optimum proyek (15 orang per hari).
- Kolom 17: DH , menunjukkan banyaknya penambahan jam kerja per hari yang dibutuhkan untuk mempercepat aktivitas [jam/hari].
- Kolom 18: $H' \leq H_{opt}$, merupakan kolom pemeriksaan apakah jam kerja aktivitas percepatan kurang dari atau sama dengan jam kerja optimum (12 jam per hari)

Tabel 6. Penambahan Jumlah Pekerja Akibat Keterlambatan Aktivitas A

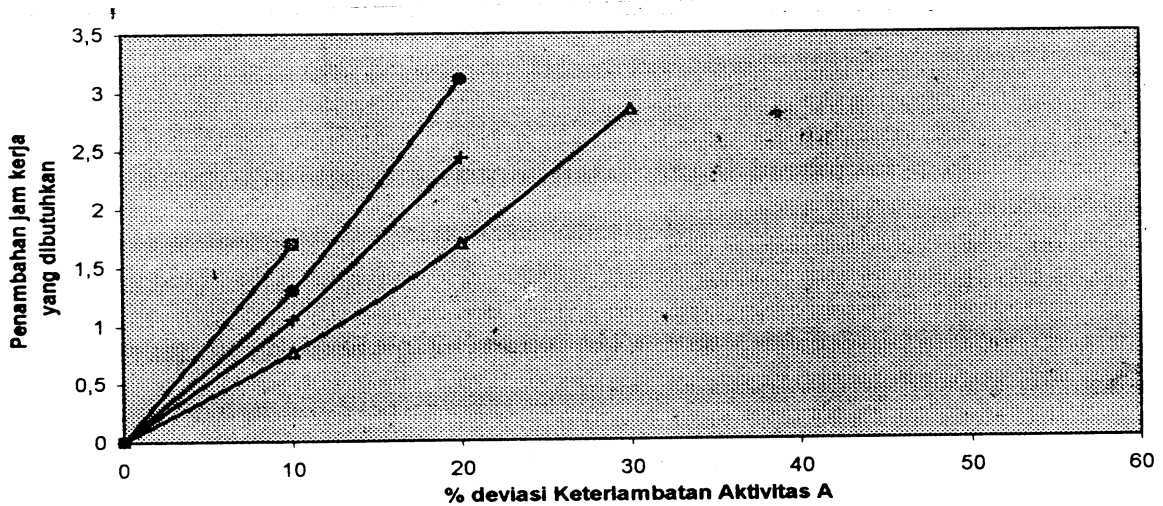
%d	B	C	E	F	G	H	I	J	K	M	N
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10		1,485	0,833			1,140	1,057				
20		3,769	1,909			2,722	2,435				
30			3,203			5,069	4,308				
40			4,846				7,000				
50											

Tabel 7. Penambahan Jam Kerja Akibat Keterlambatan Aktivitas A

%d	B	C	E	F	G	H	I	J	K	M	N
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10		1,697	0,767			1,302	1,057				
20			1,697			3,111	2,435				
30			2,847								
40											
50											



Gambar 4. Grafik Pengaruh Keterlambatan Aktivitas A Terhadap Penambahan Jumlah Pekerja

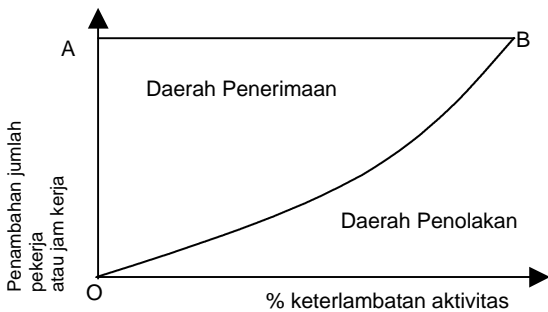


Tabel 6. Penambahan Jumlah Pekerja Akibat Keterlambatan Aktivitas A

KESIMPULAN

Setiap aktivitas baik kritis maupun non kritis pada jaringan kerja CPM memiliki karakteristik yang berbeda-beda, baik dari sisi kontraktor maupun dari sisi pemilik, hal ini sangat tergantung pada perencanaan jaringan kerja yang dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain durasi aktivitas, total jam-orang, jumlah pekerja, dan nilai float. Peranan dari masing-masing parameter dapat dinyatakan melalui analisa "what if" dalam bentuk grafik yang lebih komunikatif yang akan bermanfaat bagi pemilik maupun kontraktor.

Pada grafik yang dihasilkan dapat diketahui adanya daerah penerimaan dan daerah penolakan (Gambar 6). Daerah penerimaan (daerah A-O-B) adalah daerah dimana semua nilai/titik yang terdapat di dalamnya akan menyebabkan proyek tidak terlambat. Daerah penolakan (daerah diluar A-O-B) adalah daerah dimana semua nilai/titik yang terdapat di dalamnya akan menyebabkan proyek mengalami keterlambatan.



Gambar 6. Daerah Penerimaan dan Penolakan Aktivitas Percepatan

Keterangan:

- OB = Garis persamaan percepatan aktivitas
- AB = Garis penambahan maksimum
- Titik A = Nilai penambahan maksimum
- Titik B = Nilai batas optimum

Dengan adanya grafik yang tersedia sejak awal pelaksanaan proyek, maka seorang manajer proyek dapat memperoleh informasi sebagai dasar pertimbangan di dalam pengambilan keputusan khususnya usaha percepatan aktivitas proyek.

Pada kasus keterlambatan yang beralasan dan dapat dikompensasi, bagi profesi manajemen konstruksi yang bertanggung jawab terhadap pemilik, grafik ini dapat menjadi acuan untuk memberi informasi kepada kontraktor melakukan percepatan aktivitas yang tepat agar biaya yang menjadi tanggung jawab pemilik menjadi lebih ringan. Pada kasus keterlambatan yang beralasan tetapi tidak dapat dikompensasi, maupun kasus keterlambatan yang tidak beralasan, bila kontraktor hendak melakukan percepatan durasi guna mengejar keterlambatan, seandainya kontraktor mengetahui bahwa upaya percepatan dapat dilakukan dengan memilih aktivitas yang tepat, agar usaha percepatan tersebut menjadi lebih efektif, baik ditinjau dari sisi waktu maupun biaya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Proboyo, Budiman. "Keterlambatan Waktu Pelaksanaan Proyek: Klasifikasi dan Peringkat Dari Penyebab-Penyebabnya". *Dimensi Teknik Sipil*, Vol.1, No.1, Maret, 1999, pp 49-58.
2. Setiawan, Ruben S. dan Sunarto, Andi. "Analisa Percepatan Durasi Aktivitas Sebagai Antisipasi Keterlambatan Proyek". Skripsi Sarjana-Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra. 1999.
3. Uher, Thomas E. "Programming and Scheduling Techniques". The University of New South Wales Australia, Sydney. 1996.
4. Antill, James M. and Woodhead, Ronald W. "Critical Path Methods in Construction Practice". John Wiley and Sons Inc., New York. 1970.
5. Arditi, David and Patel, Bhupendra K. "Impact Analysis of Owner Directed Acceleration". *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 115, No.1, March, 1989, pp 144-157. 1989.
6. Kraiem, Zaki M. and Dickmann, James E. "Concurrent Delays in Contruction Projects" *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 113, No.4, December, 1987, pp 591-602.
7. Fabrycky,W.J., Thuesen,G.J. and Verma, D. "Economic Decision Analysis". Prentice Hall Int. Inc. 1998.
8. Christian, J. and Hachley, D. "Effects of Delays Times on Productivity Rates in Construction". *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 121, 1995.
9. Soeharto, Iman. "Manajemen Proyek: Dari Konseptual Sampai Operasional". Penerbit Erlangga, Jakarta. 1995.