

EVALUASI PERENCANAAN WAKTU PROYEK SISTEM INFORMASI MENGUNAKAN *CRITICAL PATH METHOD* (Studi Kasus : Proyek Pengembangan *Smart Graduate* STMIK AMIKOM Yogyakarta)

Sri Ngudi Wahyuni

Teknik Informatika STMIK AMIKOM Yogyakarta

Email : yuni@amikom.ac.id

Abstrak

Critical Path Method merupakan metode perencanaan waktu proyek sistem informasi yang mengidentifikasi seluruh kegiatan proyek agar proyek dapat diselesaikan tepat waktu, sesuai dengan biaya dan sumberdaya yang dianggarkan. Penggunaan CPM pada kegiatan perencanaan waktu proyek sistem informasi masih jarang dilakukan karena bekerja berdasarkan proyek (*project based*). Sebagian besar perencanaan waktu sistem informasi masih bersifat tradisional dengan mengedepankan penjadwalan waktu menggunakan grafik batang sehingga pengelolaan proyek tersebut belum dilakukan dengan baik, bahkan mengalir apa adanya. Penggunaan tool yang bersifat komersial tidak sepenuhnya dapat difungsikan dalam perencanaan proyek. Tool hanya berfungsi sebagai alat dalam pembuatan struktur susunan kegiatan bukan analisa kegiatan. Oleh sebab itu diperlukan suatu metode untuk melakukan perencanaan waktu proyek yang sesuai. Hasil yang dicapai adalah efisiensi waktu terhadap proyek *smart graduate* sebesar 42 hari dari waktu seharusnya dan rekomendasinya adalah penggunaan metode CPM dalam perencanaan waktu proyek sistem informasi pada kegiatan proyek yang akan datang.

Kata kunci:

CPM, Analisis Jalur Kritis dan Analisis Waktu

1. Pendahuluan

Penelitian yang dilakukan Putra (2013) membuktikan bahwa penjadwalan waktu menggunakan CPM terbukti sangat membantu dalam masalah efisiensi waktu dan biaya [1]. Hamzah, dkk (2013) melakukan penelitian tentang penerapan jaringan CPM, terbukti bahwa CPM sangat membantu dalam efisiensi waktu yang berujung pada efisiensi biaya [2].

Penelitian tentang manajemen proyek waktu sistem informasi banyak dilakukan dengan berbagai metode diberbagai perusahaan, yang membedakan penelitian ini adalah membandingkan antara hasil efisiensi waktu proyek ketika tidak menggunakan metode apapun dengan hasil ketika menggunakan metode CPM. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini secara umum ditujukan untuk melihat adopsi CPM untuk kegiatan pengembangan proyek sistem informasi di STMIK AMIKOM Yogyakarta. Secara spesifik pertanyaan yang akan dijawab penelitian ini adalah (a) Apakah CPM dapat diterapkan dalam pengembangan proyek sistem informasi di STMIK AMIKOM Yogyakarta?; dan (b) Apa manfaat menggunakan CPM pada pengembangan proyek sistem informasi di STMIK AMIKOM Yogyakarta?

Selanjutnya, tulisan ini dibagi dalam beberapa bagian. Bagian 2 memberikan landasan teori terkait dengan CPM, bagian 3 menjelaskan metode penelitian yang digunakan, dan bagian 4 mendeskripsikan hasil. Bagian 5 kesimpulan sebagai penutup dalam tulisan ini.

2. Landasan Teori

2.1. Apa dan Mengapa CPM?

CPM dikembangkan oleh *DuPont Company* dan *Remington Rand Corporation* tahun 1950 untuk mengelola pemeliharaan pembangkit listrik dan konstruksi. Ketika pertama kali diterapkan metode CPM dapat menyelamatkan perusahaan satu juta dolar pada tahun pertama penggunaan [3].

CPM lebih banyak digunakan dibandingkan metode tradisional lainnya [4]. Ketika terjadi perubahan struktur topologi proyek, CPM dapat menentukan kapan dan bagaimana merevisi jadwal dan faktor-faktor yang akan terpengaruh oleh perubahan. Hal tersebut tidak dapat dilaksanakan secara akurat dengan metode perencanaan proyek tradisional. CPM menerjemahkan kebutuhan proyek ke dalam sistem matematika melalui tahapan perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian proyek.

Keuntungan terbesar penggunaan CPM terlihat pada tahap perencanaan, pengguna diwajibkan untuk memikirkan sebuah proyek secara logis dan rinci yang memadai dengan menentukan tujuan proyek, kegiatan proyek, dan spesifikasi proyek yang jelas. Jika tujuan ini tercapai dengan baik, maka stabilitas jangka panjang organisasi dapat dijamin [5]. Newbold menyatakan bahwa CPM merupakan teknik untuk menganalisis proyek dengan menentukan urutan tugas terpanjang (atau urutan tugas dengan waktu longgar) melalui jaringan proyek [6].

Nicholas (2004) menyatakan CPM menggunakan pola jaringan terpadu yang terdiri dari serangkaian kegiatan satu dengan lainnya yang dimaksudkan untuk mendapatkan efisiensi kerja yang maksimal. Dalam menentukan waktu total proyek (*project time*) lebih sederhana karena waktu total proyek didapat dengan menjumlahkan durasi dari masing-masing kegiatan dan diambil waktu selesai paling akhir /besar. Sebagai angka

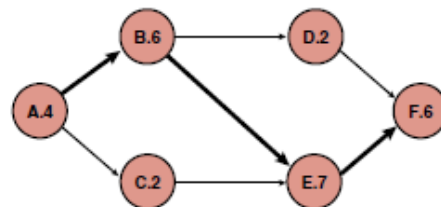
keamanan dalam menentukan waktu selesai kegiatan digunakan waktu paling akhir (*latest finish time*) [7]. Alur dimana pada setiap kegiatannya tidak boleh terjadi keterlambatan (*slack time*) disebut Alur Kritis. CPM Berkonsentrasi pada tugas yang paling penting dapat dipastikan proyek tepat waktu dan sejalan dengan jadwal yang telah ditentukan. Ketika pertama kali diterapkan metode CPM dapat menyelamatkan perusahaan satu juta dolar pada tahun pertama penggunaan, sehingga CPM dianggap metode yang tepat untuk [3].

2.2. Langkah-langkah Critical Path Method

Tiga langkah dasar yang dilakukan CPM adalah (1) membangun diagram jaringan untuk menggambarkan kegiatan mana yang akan didahulukan, (2) menghitung waktu mulai, waktu selesai, dan hambatan, dan (3) membangun grafik waktu untuk menampilkan hasil dari langkah 1 dan 2. yang mendasari pendekatan CPM adalah proyek dipecah menjadi serangkaian tugas, masing-masing dapat dipecah menjadi sub-tugas, setiap tugas diberikan tanggal mulai, durasi, tanggal akhir, dan jumlah sumberdaya. Sumberdaya dapat mencakup orang, anggaran, peralatan, fasilitas, layanan dukungan, dan lain-lain [8]. Holliday (2009) menjelaskan tentang lima langkah dalam menggunakan pendekatan CPM adalah [12]:

1. Melakukan identifikasi terhadap seluruh kegiatan proyek, menyiapkan struktur pecahan kerja dengan melakukan :
 - a. membangun hubungan antara kegiatan
 - b. memutuskan kegiatan mana yang harus terlebih dahulu dan mana yang mengikutinya
 - c. menggambarkan jaringan yang menghubungkan keseluruhan kegiatan
2. Menentukan perhitungan maju pada setiap kegiatan proyek, yaitu dengan menetapkan ES dan EF pada setiap kegiatan. Dimana :
 - a. ES (*earliest activity start time*), Waktu Mulai paling awal suatu kegiatan. Bila waktu mulai dinyatakan dalam jam, maka waktu ini adalah jam paling awal kegiatan dimulai.
 - b. EF (*earliest activity finish time*), Waktu Selesai paling awal suatu kegiatan.
 - c. EF suatu kegiatan terdahulu = ES kegiatan berikutnya
3. Melakukan perhitungan mundur pada setiap aktifitas proyek, dimana :
 - a. LS (*latest activity start time*), Waktu paling lambat kegiatan boleh dimulai tanpa memper-lambat proyek secara keseluruhan.
 - b. LF (*latest activity finish time*), waktu paling lambat kegiatan diselesaikan tanpa memper-lambat penyelesaian proyek.
4. Menghitung nilai *Slack* atau *Float* untuk mengetahui mana kegiatan yang longgar dan mana kegiatan yang waktunya kritis dalam suatu jaringan kerja.
5. Mengidentifikasi kegiatan proyek yang memiliki nilai = 0, dan membangun diagram jaringan.

Kenzer (2005) mendefinisikan bahwa langkah pertama dalam analisis CPM adalah adalah membangun diagram jaringan, secara grafis diagram menunjukkan hubungan antar kegiatan proyek dan urutan kegiatan yang harus dilakukan. Tanda panah menunjukkan urutan kegiatan, titik menunjukkan awal dan akhir dari suatu kegiatan. Setiap node diberi label dan mewakili suatu peristiwa, didefinisikan sebagai seluruh aktivitas yang mengarah ke simpul. Secara umum, bilangan bulat merupakan titik (*node*) dan huruf kapital merupakan kegiatan.



Gambar 1. Jaringan CPM [9]

Gambar 1 menunjukkan panah diagram jaringan tentang urutan kegiatan mana yang harus dilakukan pada sebuah proyek. Huruf kapital mewakili kegiatan dan tanda panah menunjukkan urutan kegiatan.

2.3. Menentukan waktu proyek

Beberapa parameter yang digunakan untuk menghitung durasi proyek terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter penentuan durasi proyek [12]

Paramater	Keterangan
t	Durasi aktivitas i (<i>duration time for activity</i>)
ES	Waktu tercepat dimulainya aktivitas i (<i>earliest start time for activity</i>)
EF	Waktu tercepat selesainya aktivitas i (<i>earliest finish for activity</i>)
LS	Waktu terlama dimulainya aktivitas i (<i>latest allowable start time for activity</i>)
LF	Waktu terlama diselesaikannya aktivitas i (<i>latest allowable finish time for activity</i>)
SL	Total <i>slack</i> atau float untuk aktivitas i (<i>total slack or float time for activity</i>)

Dimana :

ES kegiatan awal = 0

EF = ES + t (kegiatan i).

ES yang memiliki suksesor (kegiatan awal) maka

ES_{suksesor} = EF (kegiatan i) + 1.

2.4. Metode Jalur Kritis

Jalur kritis merupakan urutan kegiatan sangat penting untuk penyelesaian proyek agar setiap aktivitas tidak tertunda [10]. Kegiatan terakhir yang dilakukan pada teknik jaringan kritis adalah menghitung *total activity slack* untuk mengetahui jalur kritis proyek. Lintasan proyek dikatakan kritis apabila memiliki nilai *slack* sama dengan nol. *Total activity slack* diperoleh dengan cara menghitung selisih antara *earliest start* (ES_i) dan latest start (LS_i) atau *earliest finish* (EF_i) dan *latest finish* (LF_i) dari aktivitas. Total *slack* menjelaskan jumlah unit

waktu yang dapat digunakan oleh suatu aktivitas proyek tanpa menimbulkan keterlambatan penyelesaian proyek. Aktivitas dengan nilai *slack* nol berarti apabila aktivitas tersebut terlambat 1 satuan waktu menimbulkan keterlambatan proyek sebanyak 1 satuan waktu. Untuk kegiatan dengan nilai *slack* sebesar n satuan waktu, maka aktivitas tersebut dapat ditunda sebanyak n satuan waktu sampai menimbulkan keterlambatan dari proyek.

2.5. Analisis Waktu

Perhitungan ES, EF, LS, dan LF menurut Taylor adalah sebagai berikut [11]:

1. Menghitung *earliest start* (ES)

Aktivitas inisial proyek diasumsikan terjadi pada waktu $t = 0$ ($ES_1 = 0$) *Early finish time* dari suatu aktivitas adalah jumlah dari *early start time* dengan durasi aktivitas estimasi. Penetapan *Earliest Start* untuk aktivitas selanjutnya dari EF terbesar untuk kegiatan presedensi dari aktivitas tersebut didefinisikan: $ES_i = \text{Nilai EF maksimum dari preceding activities}$
2. Menghitung Waktu Mulai ke Mulai (EF)

early finish time (EF) dari suatu aktivitas adalah jumlah dari *early start time* (EF) dengan durasi aktivitas estimasi dimana

$$EF(i-j) = ES(i-j) + t(i-j) \dots \dots \dots (1)$$

Untuk aktivitas 1 maka $EF_1 = 0 + D_1$ karena aktivitas 1 merupakan aktivitas awal proyek dan tidak memiliki kegiatan pendahulu.
2. Menghitung *last start* (LS)

Mmenghitung waktu penyelesaian terakhir proyek. Kegiatan terakhir dari proyek, nilai $LF = EF$ agar dapat diketahuinya kegiatan kritis proyek. Perhitungan waktu pelaksanaan terakhir (LS_i) untuk setiap aktivitas. Didefinisikan :

$$LS(i-j) = LF(i-j) - t \dots \dots \dots (2)$$
3. Menghitung *last finish* (LF)

Hubungan antara selesainya kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu dituliskan dengan $LF(i-j) = d$, yang berarti suatu kegiatan (j) selesai setelah d hari kegiatan (i) terdahulu mulai. Jadi dalam hal ini sebenarnya dari proses kegiatan terdahulu harus selesai sebelum bagian akhir kegiatan yang dimaksud boleh diselesaikan. Kegiatan terakhir dari proyek, nilai $LF=EF$ digunakan untuk mengetahui kegiatan kritis proyek. Waktu LF untuk aktivitas selain aktivitas terakhir merupakan nilai minimum dari LS aktivitas-aktivitas suksesor untuk aktivitas tersebut. Didefinisikan:

$$LFi = \text{Nilai LS Minimum dari aktivitas suksesor}$$
4. Perhitungan Maju (*Forward Pass Computation*)

Perhitungan maju dilakukan mulai awal jaringan bergerak menuju akhir jaringan. Awal waktu mulai (ES)

 - a. Waktu paling awal (ES) di mana aktivitas dapat dimulai.
 - b. Awal waktu selesai (EF) adalah paling awal waktu di mana suatu kegiatan dapat menyelesaikan

- kan jika tidak ada keterlambatan terjadi pada proyek
- c. Waktu mulai terbaru (LS) adalah waktu mulai terbaru dimulainya aktivitas tanpa menunda penyelesaian proyek
- d. Waktu selesai terbaru (LF) adalah waktu penyelesaian aktivitas terbaru tanpa menunda penyelesaian proyek.

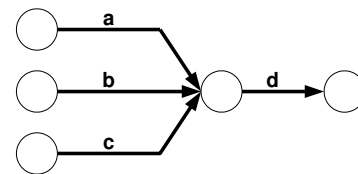
Hitungan maju atau ke muka digunakan untuk menghitung waktu mulai tercepat dan waktu selesai tercepat berlaku untuk hal-hal, sebagai berikut :

- a. Menghasilkan ES, EF dan kurun waktu penyelesaian aktifitas, dan
- b. Apabila ES lebih besar dari analisa diambil yang paling besar.

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 *constrain* yang bersangkutan. Karena terdapat empat *constrain*, maka bila ditulis dengan rumus menjadi :

$$ES_j = EF_j - D_j \dots \dots \dots (3)$$

Hartono (1995) menyatakan bila suatu kegiatan memiliki dua atau lebih kegiatan-kegiatan terdahulu yang menggabung, maka waktu mulai paling awal (ES) kegiatan tersebut adalah sama dengan waktu selesai paling awal (EF) yang terbesar dari kegiatan terdahulu.



(2-3)

Gambar 2. Suatu kegiatan dengan dua atau lebih kegiatan yang menggabung [13].

Bila $EF(c) > EF(b) > EF(a)$, maka $ES(d) = EF(c)$ Angka waktu selesai paling awal kegiatan yang sedang ditinjau EF (j), adalah sama dengan waktu mulai paling awal kegiatan tersebut ES (j), ditambah kurun waktu kegiatan yang bersangkutan D (j) atau ditulis dengan rumus menjadi :

$$EF = ES(j) + D(j) \dots \dots \dots (4)$$

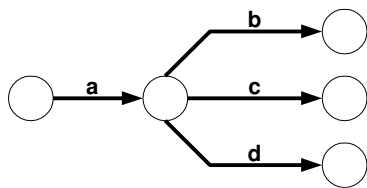
5. Perhitungan Mundur (*backward pass computation*)

Taylor (2011) menyatakan bahwa perhitungan mundur dilakukan mulai akhir jaringan bergerak menuju awal jaringan. Hartono (1998) menyatakan bahwa perhitungan mundur atau kebelakang digunakan untuk menghitung waktu mulai paling lambat dan waktu selesai yang paling lambat, sehingga berlaku untuk hal-hal sebagai berikut:

 1. Menentukan LS, LF dan kurun waktu *float*, dan
 2. Bila lebih dari satu kegiatan bergabung maka diambil angka LS terkecil.

Menghitung LF, waktu selesai paling akhir kegiatan (i) yang sedang ditinjau, yang merupakan angka terkecil dari jumlah kegiatan LS dan LF plus

constrain yang bersangkutan. *Float* adalah sejumlah waktu penundaan yang diperbolehkan untuk terlambat tanpa mempengaruhi waktu total pelaksanaan proyek. *Total float* (TF) yaitu tenggang total atau keterlambatan yang diperkenankan untuk suatu aktivitas tanpa akan mengakibatkan diperkenankan untuk justru aktivitas tanpa akan mengakibatkan diperkenankan untuk justru aktivitas tanpa mengakibatkan keterlambatan bagi penyelesaian proyek. $TF_i = LF_i - ES_i - Di / LS_i - ES_i$(5) Apabila suatu kegiatan terpecah menjadi 2 kegiatan atau lebih, maka waktu paling akhir (LF) kegiatan tersebut sama dengan waktu mulai paling akhir (LS) kegiatan berikutnya yang terkecil. Jika $LS(b) < LS(c) < LS(d)$ maka $LF(a) = LS(b)$



Gambar 3. Suatu kegiatan yang memiliki dua atau lebih kegiatan berikutnya (memecah) [12].

- g. Jalur dan Kegiatan Kritis
- Kegiatan kritis pada CPM antara lain :
1. Waktu mulai paling awal dan akhir harus sama ($ES = LS$).
 2. Waktu selesai paling awal dan akhir harus sama ($EF = LF$).
 3. Kurun waktu kegiatan adalah sama dengan perbedaan waktu selesai paling akhir dengan waktu mulai paling awal ($LF - ES = D$).
 4. Bila hanya sebagian dari kegiatan bersifat kritis, maka kegiatan tersebut secara utuh dianggap kritis. Dimana :
 $Si = LS_i - ES_i$ Atau $Si = LF_i - EF_i$ (6)

3. Metode Penelitian

3.1 Pendekatan Penelitian

Secara umum, penelitian ini dilakukan dengan wawancara dan dokumentasi. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah (a) Apakah manfaat menerapkan CPM dapat diterapkan dalam pengembangan proyek sistem informasi di STMIK AMIKOM Yogyakarta?; dan (b) apa manfaat menggunakan CPM pada pengembangan proyek sistem informasi di STMIK AMIKOM Yogyakarta?

3.2 Instrumen Penelitian

Diagram jaringan dengan menggunakan enam aturan dalam CPM merupakan instrumen utama penelitian ini. Secara umum, diagram dibangun melalui tahap-tahap yang ada pada CPM.

4. Pembahasan

Langkah pertama dalam CPM adalah melakukan inventarisasi kegiatan proyek, selanjutnya akan dibuat

jaringan kerja untuk mendapatkan perhitungan waktu. Perhitungan waktu proyek digunakan untuk melakukan evaluasi waktu, biaya dan sumber daya proyek. Adapun inventarisasi kegiatan proyek terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Inventarisasi kegiatan dan kegiatan *predecessor* proyek *Smart Graduate*

Kegiatan ke-	Keterangan kegiatan	Kode (2-8)	Kegiatan yang mengawali	Waktu kegiatan (Hari)/t
1	User requirement berupa surat pengajuan pengembangan system	A	-	6
2	Identifikasi fungsi system	B	A	12
3	Identifikasi anggota pengembang	C	B	6
4	Identifikasi waktu pengembangan	D	B	6
5	Proses persetujuan surat pengajuan	E	C,D	6
6	Membuat dokumen Software Requirements Specification (SRS).	F	B,E	12
7	Analisis kebutuhan system	G	F	12
8	Identifikasi alur sistem (input, output dan proses sistem yang akan dibangun)	H	G	18
9	Perancangan DBMS	I	G	18
10	Perancangan user interface	J	G	18
11	Perancangan logic	K	G,H	24
12	Customisasi tahap I	L	H,I,J,K	54
13	Testing internal team pengembang system	M	L	24
14	Testing dengan user tahap I	N	F,M	12
15	Customisasi tahap II	O	N	24
16	Testing Final dengan user	P	O	6
17	Instal sistem ke user	Q	P	6
18	Serah terima sistem ke user berupa penyerahan Berita Acara Lapangan (BALAP)	R	P,Q	6
19	Training system	S	R	12

Tabel diatas merupakan hasil kegiatan inventarisir kegiatan proyek. Jadwal kegiatan proyek digunakan untuk mengetahui urutan kegiatan dari awal hingga akhir proyek. Kegiatan dikodekan agar mudah untuk melakukan identifikasi kegiatan dan perhitungan waktu serta biaya.

4.1 Jaringan Kerja CPM (*Critical Path Method*)

Langkah pertama dalam mengevaluasi proyek adalah membangun jaringan kerja (*network planning*). Diagram jaringan dibangun dengan beberapa tahapan. Kegiatan pertama dalam membuat jaringan adalah menentukan urutan kegiatan dan kegiatan sebelumnya. Urutan logis kegiatan ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel tersebut ditentukan berdasarkan jadwal kegiatan yang telah diinventarisir. Pada kegiatan proyek diatas terdapat beberapa kegiatan yang memiliki kegiatan sebelumnya lebih dari satu kegiatan. Artinya suatu kegiatan dimulai setelah satu atau lebih kegiatan yang mendahuluinya selesai dilakukan. Kegiatan yang demikian harus diperhatikan, untuk mendapatkan durasi normal kegiatan berikutnya (EF).

Langkah kedua kegiatan inventarisir data adalah menentukan waktu atau durasi kegiatan proyek. Rencana penyelesaian proyek adalah 282 hari. Tabel 1. merupakan pecahan waktu kerja kegiatan proyek yang telah dilaksanakan dan akan dihitung besaran ES, EF, LS, LF dan jalur kritisnya untuk mendapatkan waktu penyelesaian proyek yang seharusnya. Artinya dari rencana penyelesaian proyek sebesar 282 tersebut merupakan durasi normal atau bukan. Jika ternyata hasil perhitungan kurang dari 282 hari maka penyelesaian proyek mengalami keterlambatan dan perlu adanya rekomendasi untuk melakukan perencanaan proyek TI yang lebih baik agar proyek yang akan datang tidak mengalami keterlambatan. Langkah ketiga adalah membangun jaringan kerja sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1.

4.2 Evaluasi Waktu Proyek

4.2.1 Perhitungan Maju

Perhitungan maju dilakukan mulai awal jaringan bergerak menuju akhir jaringan. EF merupakan waktu paling awal di mana aktivitas dapat mulai. Waktu tercepat dimulainya aktivitas pada kegiatan ke-1 dianggap 0 untuk kegiatan yang tidak memiliki *predecessor* (kegiatan yang mengawali sebelumnya). Perhitungan waktu tercepat dimulainya aktivitas (ES) dilakukan dengan menjumlahkan waktu kegiatan awal (t) dengan waktu kegiatan berikutnya (ES₂). Menggunakan rumus (2-4) maka ES₁=0 karena ES₁ tidak memiliki kegiatan awal. ES₂ adalah EF₁ sehingga : EF₁=ES₁+t =EF₁= 0+6= EF₁=6. Hasil perhitungan ES₁ digunakan untuk melakukan perhitungan EF pada kegiatan ke-2, sehingga EF merupakan estimasi waktu mulai terbaru dari sebuah kegiatan.

Aturan perhitungan maju adalah kecuali kegiatan awal, maka suatu kegiatan baru dapat dimulai bila kegiatan sebelumnya (*predecessor*) telah selesai dilakukan. Waktu mulai paling awal kegiatan berikutnya pada percabangan jaringan diambil dari waktu awal terbesar dari kegiatan sebelumnya. Gambar 1 menunjukkan 6 percabangan sehingga pada perhitungan maju (*forward pass*) diambil nilai ES yang terbesar dengan cara

dibandingkan kegiatan-kegiatan yang mendahului yang masuk pada satu kegiatan.

Analisis pada kegiatan persetujuan surat pengajuan atau kegiatan ke-5 atau kegiatan E, pada diagram jaringan terdapat dua anak panah yang menuju pada kegiatan E, yaitu kegiatan yang berasal dari kegiatan B dan kegiatan C. EF dari percabangan tersebut dibandingkan nilai terbesarnya untuk mendapatkan ES₆ atau kegiatan F. hasilnya adalah ES₃=max[6+12+6] = 24, ES₄ = max [6+12+6] = 24. Kedua kegiatan memiliki nilai EF sama sehingga dapat digunakan salah satu.

Analisis pada kegiatan pembuatan SRS (*Software Requirement Specification*) atau kegiatan ke-6 atau kegiatan F, pada kegiatan tersebut terdapat dua anak panah yang berasal dari kegiatan 2 atau kegiatan identifikasi *scope system* dan kegiatan persetujuan surat pengajuan atau kegiatan E. EF dari percabangan tersebut dibandingkan nilai terbesarnya untuk mendapatkan ES₇ untuk kegiatan analisis sistem atau kegiatan ke-7. Perbandingan yang dilakukan adalah EF kegiatan Identifikasi fungsi system dan EF kegiatan Membuat dokumen SRS, maka EF₂=42 > 54, sehingga EF₆=54 Kedua kegiatan memiliki nilai EF sama sehingga dapat digunakan salah satu. Artinya waktu yang digunakan untuk menyelesaikan enam kegiatan dari kegiatan pertama yaitu *user requirement* hingga kegiatan pembuatan SRS (*Software Requirement Specification*) hanya membutuhkan waktu 54 hari.

Percabangan ketiga terdapat pada kegiatan Perancangan logic atau kegiatan ke-11 atau kegiatan K, pada kegiatan tersebut terdapat dua anak panah yang berasal dari kegiatan G dan kegiatan H. EF dari percabangan tersebut dibandingkan nilai terbesarnya untuk mendapatkan ES₁₂ atau kegiatan L. Perbandingan yang dilakukan adalah EF₇ dan EF₈, maka hasilnya adalah: EF₇ = max [6+12+6+6+12+12+18] = 72, ES₈ = max [12+6+12+12+12+24] = 72 dikarenakan hasil kedua lintasan sama maka hasilnya adalah 72.

Percabangan keempat terdapat pada kegiatan Customisasi tahap I atau kegiatan ke-12 atau kegiatan L, pada kegiatan tersebut terdapat dua anak panah yang berasal dari kegiatan K, I dan J. ES dari percabangan tersebut dibandingkan nilai terbesarnya untuk mendapatkan ES₁₃ atau kegiatan testing internal team pengembang system. Perbandingan yang dilakukan adalah EF₇ dan EF₈, maka EF₁₂ kegiatan yang dibandingkan EF₁₂= EF₈ > EF₉ > EF₁₀>EF₁₁ maka hasil dari EF₁₂ = 72 > 72 > 72 > 96 maka EF untuk kegiatan Testing internal team pengembang system adalah 96 hari

Percabangan kelima terdapat pada kegiatan Testing dengan user tahap I atau kegiatan ke-14 atau kegiatan M, pada kegiatan tersebut terdapat dua anak panah yang berasal dari kegiatan L dan F. ES dari percabangan tersebut dibandingkan nilai terbesarnya untuk mendapatkan ES kegiatan selanjutnya. Perbandingan yang dilakukan adalah EF₁₃ dan EF₆, maka EF₁₃ kegiatan yang dibandingkan EF₁₄ kegiatan yang dibandingkan adalah EF₆ dan EF₁₃ dan EF₈, maka EF₆>EF₈=EF sehingga kegiatan Identifikasi alur sistem (input, output dan proses sistem yang akan dibangun) adalah 120 hari.

Percabangan keenam terdapat pada kegiatan Serah terima sistem ke user berupa penyerahan Berita Acara Lapangan (BALAP) atau ke-18 atau kegiatan R, pada kegiatan tersebut terdapat dua anak panah yang berasal dari kegiatan P dan Q. ES dari percabangan tersebut dibandingkan nilai terbesarnya untuk mendapatkan ES kegiatan selanjutnya. Perbandingan yang dilakukan adalah EF_{16} dan EF_{17} , maka hasilnya adalah $EF_{16} > EF_{17} = EF_8$ atau Identifikasi alur sistem (input, output dan proses sistem yang akan dibangun) adalah 120.

Hasil perhitungan maju pada Tabel 3 menunjukkan bahwa waktu paling cepat penyelesaian seluruh kegiatan proyek adalah 240. Penyelesaian waktu kegiatan paling lama adalah kegiatan ke-15, karena harus menunggu kegiatan Identifikasi alur sistem (input, output dan proses sistem yang akan dibangun), Perancangan DBMS, Perancangan user interace, dan Perancangan *logic* selesai dilakukan. Masing-masing kegiatan tersebut dilakukan oleh satu orang, sehingga untuk menyelesaikan kegiatan berikutnya sumberdaya harus menyelesaikan kegiatan sebelumnya secara berurutan.

Kegiatan-kegiatan yang menjadi suksesor bagi kegiatan lainnya harus mempunyai durasi penyelesaian singkat agar kegiatan lainnya tidak mengalami keterlambatan. Adapun kegiatan-kegiatan yang bersifat paralel dapat diselesaikan secara bersamaan, agar durasi proyek dapat dipersingkat.

4.2.2 Perhitungan Mundur

Perhitungan mundur dilakukan mulai dari akhir jaringan bergerak menuju awal jaringan. Aturan dalam perhitungan mundur adalah waktu mulai paling akhir suatu kegiatan sama dengan waktu selesai paling akhir dikurangi kurun waktu berlangsungnya kegiatan yang bersangkutan. Perhitungan mundur dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa kapan mulai kegiatan diperbolehkan tanpa mengakibatkan jadwal proyek terlambat. Rumus (2-5) digunakan untuk melakukan perhitungan mundur berawal dari kegiatan yang paling akhir yaitu kegiatan training system atau kegiatan ke-19, maka $LS_{19} = LF_{19} - t = 240 - 12 = 228$. Durasi penyelesaian proyek hingga pada tahap terakhir tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan LF pada kegiatan serah terima sistem ke user berupa acara Lapangan (BALAP) atau kegiatan ke-18, sehingga LF merupakan estimasi waktu selesai terbaru dari sebuah kegiatan. Waktu selesai paling awal kegiatan berikutnya pada percabangan jaringan diambil dari waktu selesai terkecil dari kegiatan sebelumnya. Gambar 1. menunjukkan 4 percabangan pada perhitungan mundur (*backward pass*) diambil nilai LS terkecil dengan cara membandingkan masing-masing nilai LS dari kegiatan-kegiatan yang paling akhir agar rangkaian seluruh kegiatan proyek mendapatkan durasi yang paling singkat.

Percabangan pertama terdapat pada kegiatan Testing Final dengan user atau kegiatan ke-16 atau kegiatan P. Kegiatan P mempunyai dua anak panah yang menuju kegiatan Q dan R atau kegiatan 17 dan kegiatan 16. Perbandingan LS_{17} dan LS_{16} adalah untuk mendapatkan

nilai terkecil, nantinya digunakan untuk mendapatkan nilai LF_{16} dan LF_{17} . Perbandingan yang dilakukan adalah membandingkan nilai terkecil dari LF_{16} dan LF_{17} untuk mendapatkan kegiatan sebelumnya yaitu LF_{15} atau kegiatan O. Rumus yang digunakan adalah rumus (2-11) Maka $LS_{16} = LS_{17} < LS_{18}$ hasilnya adalah: $LF_{16} = LS_{17} < LS_{18}$, maka $LF_{16} = 216 < 222 = 216$. Hasil perbandingan digunakan untuk mendapatkan nilai LS_{15} untuk kegiatan Customisasi tahap II sebesar 216 hari.

Percabangan kedua terdapat pada kegiatan analisis kebutuhan system atau kegiatan ke-7 atau kegiatan G. Kegiatan G memiliki 4 arus kegiatan yang berasal dari kegiatan H, I, J, dan K atau LS_8 , LS_9 , LS_{10} , dan LS_{11} . Adapun hasil perbandingan adalah : $LF_{15} = LS_8 < LS_9 < LS_{10} < LS_{11}$ maka $LF_{15} = 54 < 78 < 72$ nilai terkecilnya adalah 54, sehingga LF_{15} adalah 54. Artinya waktu paling lambat untuk menyelesaikan kegiatan analisis kebutuhan system adalah sebesar 54 hari.

Percabangan ketiga adalah pada kegiatan membuat dokumen *Software Requirements Specification* (SRS) atau kegiatan ke-6 atau kegiatan F. Kegiatan tersebut mempunyai dua anak panah yang menuju kegiatan analisis kebutuhan system atau kegiatan G dan kegiatan analisis kebutuhan system atau kegiatan K atau kegiatan ke-7 dan kegiatan perancangan *logic* atau kegiatan ke-11. Perbandingan LS_7 dan LS_{11} adalah untuk mendapatkan nilai terkecil, untuk mendapatkan nilai LF_6 . Perbandingan yang dilakukan adalah membandingkan nilai terkecil dari LF_7 dan LF_{11} . Maka $LS_6 = LS_7 < LS_{11}$ hasilnya adalah : $LF_6 = LS_7 < LS_{11}$, maka $LF_6 = 216 < 222 = 216$. Hasil perbandingan digunakan untuk mendapatkan nilai LS_{15} sehingga $LS_{15} = 216$. Artinya waktu paling lambat untuk menyelesaikan kegiatan Customisasi tahap II adalah 216 hari.

Percabangan keempat adalah pada kegiatan identifikasi anggota pengembang. Kegiatan tersebut mempunyai tiga kegiatan suksesor yaitu, identifikasi anggota pengembang, identifikasi waktu pengembangan, dan membuat dokumen *Software Requirements Specification* atau kegiatan ke-3, kegiatan ke-4 dan kegiatan ke-6. Hasil perbandingan LS_3 , LS_4 , dan LS_6 untuk mendapatkan nilai LF_2 . Maka $LS_2 = LS_3 < LS_4 < LS_6$ hasilnya adalah $LF_6 = 18 < 18 < 30 = 18$. Sehingga nilai $LF_2 = 18$ artinya waktu paling lambat untuk menyelesaikan kegiatan identifikasi fungsi system adalah sebesar 18 hari.

4.2.3 Perhitungan Slack atau Jalur Kritis

Jalur kritis pada rangkaian proyek merupakan jalur yang apabila terlambat dapat mengakibatkan keterlambatan penyelesaian proyek secara keseluruhan. Lintasan proyek dikatakan kritis apabila memiliki nilai *slack* = 0. *Total activity slack* atau total nilai *slack* diperoleh dengan cara menghitung selisih antara *earliest start* (ESi) dan *latest start* (LSi) atau *earliest finish* (EFi) dan *latest finish*. (LFi) dari aktivitas. Hasil perhitungan *slack* atau jalur kritis seperti pada Tabel 3.

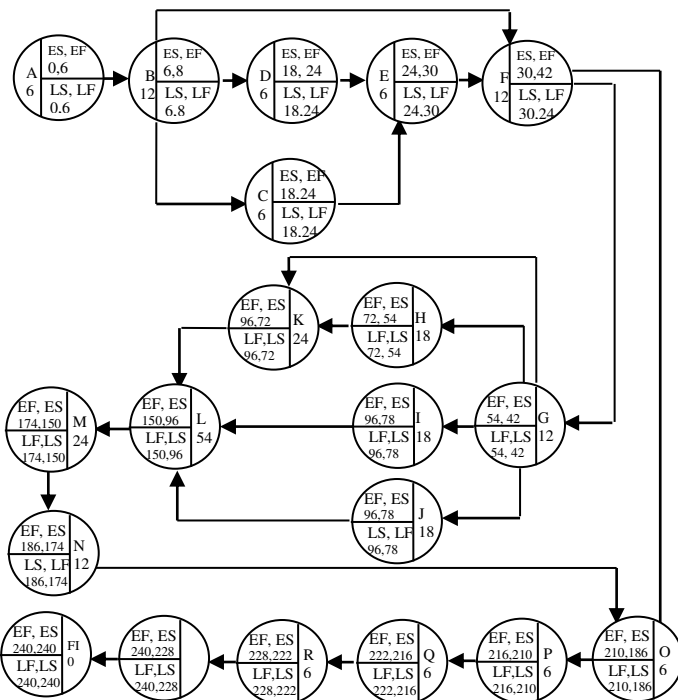
Tabel 3 terdapat 2 kegiatan yang bukan jalur kritis yaitu kegiatan ke-9 dan kegiatan ke 10 atau kegiatan I dan

kegiatan J. Rumus yang digunakan adalah rumus (2-12), maka $S_9=LS_9-ES_9$ sehingga $S_9= 96-78 = 24$. *Slack* kegiatan ke-9 $\neq 0$ maka kegiatan ke-9 bukan merupakan jalur kritis. Artinya jika kegiatan ke-9 mengalami keterlambatan tidak akan mempengaruhi keterlambatan penyelesaian seluruh proyek. Nilai *slack* $\neq 0$ kedua adalah pada kegiatan ke-10 yaitu sebesar 24 hari. Artinya jika kegiatan ke-10 mengalami keterlambatan tidak akan mempengaruhi keterlambatan penyelesaian seluruh proyek.

Tabel 3. Perhitungan jalur kritis

Kegiatan ke-	Waktu kegiatan (Hari)/t	ES	EF	LS	LF	SL	KRITIS/TIDAK
1	6	0	6	0	6	0	YA
2	12	6	18	6	18	0	YA
3	6	18	24	18	24	0	YA
4	6	18	24	18	24	0	YA
5	6	24	30	24	30	0	YA
6	12	30	42	30	42	0	YA
7	12	42	54	42	54	0	YA
8	18	54	72	54	72	0	YA
9	18	54	72	78	96	24	TIDAK
10	18	54	72	78	96	24	TIDAK
11	24	72	96	72	96	0	YA
12	54	96	150	96	150	0	YA
13	24	150	174	150	174	0	YA
14	12	174	186	174	186	0	YA
15	24	186	210	186	210	0	YA
16	6	210	216	210	216	0	YA
17	6	216	222	216	222	0	YA
18	6	222	228	222	228	0	YA
19	12	228	240	228	240	0	YA

Jaringan diagram network beserta jalur kritisnya pada tabel diatas digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Gambar Diagram Jaringan dan lintasan kritis

Dari rangkaian kegiatan diatas yang memiliki lintasan kritis adalah lintasan A-B-C-D-E-F-G-H-K-L-M-N-O-P-Q-R-S memiliki kategori aktivitas kritis karena memiliki nilai *slack* = 0. Artinya jika kegiatan-kegiatan tersebut mengalami keterlambatan menyebabkan keterlambatan penyelesaian seluruh proyek. Total hari penyelesaian dari lintasan kritis diatas sebesar 240 hari. Artinya penyelesaian seluruh rangkaian proyek seharusnya dapat dilaksanakan selama 240 hari.

4.2.4. Manfaat dan Kerugian CPM

Penggunaan CPM terbukti memiliki beberapa manfaat diantaranya adalah:

1. Penjadwalan waktu proyek lebih efisien (Tabel 3).
2. Kegiatan-kegiatan yang bersifat paralel dapat dilakukan secara bersamaan sehingga kegiatan lain dapat terselesaikan dalam satu rangkaian waktu proyek (lihat Gambar 4).
3. CPM dapat mengidentifikasi kegiatan proyek secara detail, sehingga kegiatan-kegiatan yang bersifat kritis dapat diutamakan agar tidak mempengaruhi penyelesaian kegiatan lainnya.

Adapun kerugian CPM adalah jika salah satu kegiatan proyek mengalami keterlambatan maka seluruh kegiatan dalam rangkaian proyek akan terlambat, sehingga CPM tidak memberikan toleransi keterlambatan pada salah satu kegiatan dalam rangkaian proyek.

5. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. CPM lebih mudah dan optimal digunakan dalam perencanaan proyek dibanding tool komersial lain yang sifatnya hanya memvisualisasikan metode CPM.
2. CPM merupakan metode perencanaan proyek yang bersifat pasti dengan mengidentifikasi seluruh kegiatan proyek dari awal hingga akhir, sehingga alokasi waktu, biaya dan sumberdaya dapat diperhatikan dan setiap perubahan alokasi waktu, biaya dan sumberdaya dapat dipantau dengan baik.
3. Menggunakan CPM mempermudah metode praktis dalam perencanaan proyek.
4. Efisien dalam perencanaan proyek.

Daftar Pustaka

- [1] Andi Eka Putra, *Analisis Pengendalian Waktu dan Biaya dengan Metode Crash Program (Studi Kasus: Pembangunan Bali Adat Belalawan, Tesis Fakultas Teknik Sipil, Program Magister Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, 2013.*
- [2] Sugiyarto, Siti Qomariyah, dan Faizal Hamzah. *Analisis network planning dengan cpm (critical path method) dalam rangka efisiensi waktu dan biaya proyek*, ISSN 2354-8630, e-Jurnal Matriks Teknik Sipil vol. 1 no. 4/Desember 2013/408, 2013
- [3] Rogelio Acuña. *Analysis Of Project Planning Using CPM And PERT*, In Pathial Fulfillment Of Math 4395-Senior

-
- Project, Department Of Computer And Mathematical Sciences, Spring 2010
- [4] James E. Kelley, Jr.F And Morgan R. Walker. *Critical-Path Planning And Scheduling*, Proceedings Of The Eastern Joint Computer Conference, 1959.
 - [5] P. Stelth (MSc) - Professor G. Le Roy (PhD), *Projects' Analysis through CPM (Critical Path Method)*, School of Doctoral Studies (European Union) Journal - July, 2009 No. 1, 2009.
 - [6] Newbold, R.C.. *Project Management in the Fast Lane - Applying the Theory of Constraints*, St. Lucie Press, Boca Raton, FL, 1998.
 - [7] John. M. Nicolas, 2004, *Project Management for Business and Engineering: Principles and Practice* 2nd ed. Burlington: Elsevier Inc, 2004.
 - [8] Earl B. Anderson R. Stanton Hales, *Critical Path Method Applied to Research Project Planning: Pacific Southwest Fire Economics Evaluation Experiment Station*, Rep. PSW-93. Berkeley, CA: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 1986. 12 p, 1986.
 - [9] Harold Kerzner, Ph.D., *Project Management, A Systems Approach To Planning, Scheduling, And Controlling*, 9th Edition, Division of Business Administration Baldwin-Wallace College, Berea, Ohio, 2005.
 - [10] Holliday, I., Building e-government in East and Southeast Asia: *Regional rhetoric and national (in) action*. *Public Administration & Development*, 22(4), 323-335, 2002
 - [11] Bernard W Taylor. *Introduction To Management Science*, 2011
 - [12] Iman Hartono, *Manajemen Proyek : Dari konseptual sampai operasional*, 1995.