

**Penentuan Percepatan Penyelesaian Proyek Pada Metode Jalur Kritis
dengan Program *Crash*
(Studi Kasus: Pembangunan Kantor Administrasi Terminal Bus di Kota XYZ)**

*Determination of the Acceleration of Project Completion in the Critical Path Method with the
Crash Program (Case Study: Construction of the Bus Station Administration Office
in City XYZ)*

Wasono¹, Fidia Deny TA² dan Moch Nurul Huda³,

^{1,2,3}Laboratorium Matematika Komputasi Jurusan Matematika FMIPA Universitas Mulawarman

E-mail: wason.khayla32@gmail.com

Abstract

A project requires scheduling so that project completion time can be completed at the targeted time. Critical Path Method (CPM) is one of the scheduling methods that is able to provide solutions to scheduling problems. This method has several project acceleration methods to get the fastest turnaround time with a minimal increase in costs. The acceleration method is the program crashes by not using free float time. Case studies of project scheduling at the bus terminal administration office building in city X have been carried out. Analysis is carried out to obtain a critical path at normal times. At normal times, the implementation time is 385 days with a total cost of Rp. 488,488,000.00. After that the project was accelerated by using a crash program by not using the free float time and the implementation time being 289 days with a direct total project cost of Rp. 520,239,992.00. Based on the time of the acceleration of the crash by not using the free float time, the reduction time was 96 days with the addition of a total direct cost of Rp. 14.252.008.00

Keywords: CPM, crash program, free float time, project scheduling

Pendahuluan

Pembangunan dalam skala besar pada berbagai bidang di tanah air semakin berkembang seiring dengan perkembangan jaman. Proyek pembangunan ini dilaksanakan untuk memenuhi kebutuhan dan kemakmuran masyarakat. Proyek dalam skala besar antara lain pembangunan jembatan, bandara, bendungan, waduk, terminal, rumah sakit dan lainnya. Proyek pembangunan dalam skala besar tersebut memerlukan waktu yang cukup lama, biaya yang besar dan jumlah pekerja yang cukup banyak.

Proyek pembangunan dalam skala besar membutuhkan sebuah perencanaan yang cukup rumit. Hal ini disebabkan karena variabel proyek pembangunan semakin kompleks. Variabel pembangunan seperti biaya, waktu dan pekerja perlu pengaturan agar pembangunan dapat diselesaikan dengan batas waktu yang ditetapkan. Pembagian waktu dalam proyek diperlukan karena menentukan penjadwalan proyek yang akan digunakan sebagai pedoman dalam pelaksanaan proyek.

Suatu proyek secara sederhana dapat didefinisikan sebagai satu gabungan berbagai aktivitas yang saling berkaitan yang harus dilakukan dalam urutan tertentu sebelum keseluruhan tugas dapat diselesaikan. Pengelola proyek selalu ingin mencari metode atau cara-cara yang dapat meningkatkan kualitas perencanaan

waktu dan jadwal untuk menghadapi sejumlah kegiatan dan kompleksitas proyek.

Proses penjadwalan dalam sebuah proyek pembangunan sangat diperlukan untuk menentukan kapan proyek itu akan selesai. Proses penjadwalan harus mampu memperlihatkan hubungan antar sub kegiatan dalam sebuah proyek. Akan tetapi pembuatan jadwal proyek tidak hanya mempertimbangkan maksimal jumlah pekerja serta biaya maksimal yang akan dianggarkan. Prinsip ekonomi diharapkan mampu diterapkan dalam penjadwalan yakni dengan anggaran yang minimal mampu menghasilkan sebuah hasil yang maksimal.

Critical Path Method (CPM) merupakan sebuah model penjadwalan yang mempertimbangkan variabel waktu. Metode ini dapat digunakan dalam perencanaan penjadwalan percepatan proyek apabila terjadi keterlambatan waktu penyelesaian. Pada CPM terdapat beberapa metode percepatan, yaitu program *crash* dengan tidak menggunakan waktu mengambang bebas (*free float time*) dan program *crash* yang menggunakan *free float time*.

Riset Operasi

Riset operasi adalah metode yang memformulasikan dan merumuskan permasalahan sehari-hari baik mengenai bisnis, ekonomi, sosial maupun bidang lainnya kedalam model matematis untuk mendapatkan solusi yang optimal. Menurut

Subagyo dkk (2013), riset operasi berhubungan dengan cara untuk mengambil keputusan optimal yang berasal dari kehidupan nyata dalam penyusunan model matematika, baik deterministik maupun probabilistik. Riset operasi mulai berkembang saat Perang Dunia II pihak sekutu yang dipelopori oleh Kerajaan Inggris Raya yang berseteru dengan negara fasis yang dipelopori oleh Jerman. Riset operasi diterapkan dalam pemerintahan, bisnis, teknik, ekonomi serta ilmu pengetahuan alam dan sosial. Hal ini ditandai dengan kebutuhan untuk mengalokasikan sumber daya yang terbatas dalam pemenuhan permintaan. Beberapa bidang lainnya yang menerapkan riset operasi antara lain akuntansi dan keuangan, pemasaran, operasi produksi, dan teori jaringan kerja (Bustani, 2005)

Critical Path Method (CPM)

Pada jaringan proyek, ada beberapa aktivitas yang pelaksanaannya dapat ditunda, dan ada beberapa aktivitas lain yang penyelesaiannya tidak dapat ditunda. Aktivitas yang tidak dapat ditunda pelaksanaannya disebut aktivitas kritis. Sebaliknya aktivitas yang dapat ditunda pelaksanaannya disebut aktivitas yang tidak kritis. Masalah yang harus diselesaikan dalam jaringan proyek adalah menentukan jalur kritis, yaitu urutan aktivitas kritis, beserta waktu tercepat untuk menyelesaikan seluruh proyek. Salah satu metode yang dipergunakan adalah Metode Jalur Kritis (*Critical Path Method* (CPM)). Metode ini dikembangkan oleh E.I du Pont Nemours & Co sebagai salah satu cara untuk menjadwalkan mulai menjalankan dan memberhentikan pabrik-pabrik utama (Siang, 2014).

Waktu Paling Awal

Perhitungan waktu paling awal sebuah peristiwa bergerak maju dari peristiwa awal ke peristiwa akhir. Tujuan dari perhitungan ini adalah menghitung waktu tercepat terjadinya peristiwa dan waktu tercepat dimulainya serta diselesaikannya kegiatan-kegiatan proyek. Langkah – langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

Untuk peristiwa awal proyek (hari ke-nol), karena tidak ada peristiwa yang mendahului, maka :

$$TE_1 = 0 \text{ dan berlaku persamaan :} \\ ES_{(i,j)} = TE_{(i,j)} = 0 \quad (1)$$

Untuk peristiwa selanjutnya,

$$ES_{(i,j)} = TE_{(i)} \\ EF_{(i,j)} = ES_{(i,j)} + D_{(i,j)} \\ EF_{(i,j)} = TE_{(i)} + D_{(i,j)} \\ EF_{(i,j)} = TS_{(j)} \quad (2)$$

Untuk peristiwa yang menggabungkan beberapa kegiatan atau peristiwa terkumpul. Suatu peristiwa hanya terjadi bila kegiatan-kegiatan yang mendahuluinya telah diselesaikan, sehingga:

$$TE_{(j)} = maks \{EF_{(i_1,j)}, EF_{(i_2,j)}, \dots, EF_{(i_n,j)}\} \quad (3)$$

Waktu Paling Lambat

Perhitungan waktu paling lambat sebuah peristiwa bergerak mundur dari peristiwa akhir ke peristiwa awal proyek. Tujuan dari perhitungan ini adalah menghitung waktu terlambat terjadinya peristiwa dan waktu paling lambat dimulainya dan diselesaikannya kegiatan-kegiatan proyek. Langkah-langkah penentuan waktu paling lambat adalah sebagai berikut,

Untuk peristiwa akhir berlaku:

$$TL_{(i)} = TE_{(j)} \quad (4)$$

Untuk peristiwa mundur berikutnya,

$$LS_{(i,j)} = LF_{(i,j)} - D_{(i,j)} \\ LS_{(i,j)} = LF_{(i,j)} - D_{(i,j)} = TL_{(j)} \quad (5)$$

Untuk peristiwa yang mengeluarkan beberapa kegiatan atau peristiwa menyebar. Setiap kegiatan hanya dapat dimulai, apabila peristiwa yang mendahuluinya telah terjadi, sehingga :

$$TL_{(i)} = min \{LS_{(i,j)1}, LS_{(i,j)2}, \dots, LS_{(i,j)n}\} \quad (6)$$

Waktu Mengambang Total (Total Float Time)

Waktu mengambang total ($TF_{(i,j)}$) untuk kegiatan (i,j) adalah selisih antara waktu paling lambat dimulainya kegiatan dengan waktu paling cepat dimulainya kegiatan. Definisi lain dari waktu mengambang total adalah selisih antara waktu paling lambat diselesaikannya kegiatan dengan waktu paling cepat diselesaikannya kegiatan. Waktu mengambang total dirumuskan,

$$TF_{(i,j)} = LS_{(i,j)} - ES_{(i,j)} \\ TF_{(i,j)} = TL_{(j)} - TS_{(i)} - D_{(i,j)} \quad (7)$$

Waktu Mengambang Bebas (Free Float Time)

Secara umum waktu mengambang bebas adalah jumlah waktu dimana penyelesaian suatu kegiatan dapat diundur tanpa mempengaruhi waktu paling cepat dimulainya kegiatan yang lain. Waktu mengambang bebas adalah selisih antara waktu tercepat terjadinya peristiwa j pada akhir kegiatan (i,j) dengan waktu tercepat diselesaikannya kegiatan (i,j). Waktu mengambang bebas dirumuskan,

$$FF_{(i,j)} = TE_j - EF_{(i,j)} \\ FF_{(i,j)} = TE_j - TE_i - D_{(i,j)} \quad (8)$$

Penentuan Jalur Kritis

Jalur kritis pada jaringan kerja adalah jalur yang terdiri dari rangkaian kegiatan dalam sebuah proyek, yang bila terlambat akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan. Jalur kritis juga merupakan sebuah jalur yang membutuhkan waktu paling lama dalam penyelesaian proyek. Syarat kegiatan kritis adalah waktu mengambang total dan bebas kegiatan tersebut sama dengan nol.

$$TF_{(i,j)} = FF_{(i,j)} = 0 \text{ serta nilai } TE_{(i,j)} = TL_{(i,j)} \quad (9)$$

Percepatan Proyek Menggunakan Program Crash

Penentuan biaya optimal dan waktu penyelesaian tercepat pada penjadwalan proyek dapat menggunakan program percepatan. Program *crash* adalah salah satu program percepatan pada jalur kritis yang mempertimbangkan waktu dan biaya pada percepatannya. Program *crash* ini dapat mempercepat waktu penyelesaian proyek dengan kenaikan biaya yang minimal. Tujuan dari program *crash* ini adalah mempercepat waktu penyelesaian proyek dari jadwal sebelumnya dengan kenaikan biaya langsung yang minimal. Jika dalam kondisi normal, durasi waktu proyek normal $D_{(i,j)}$ dengan besarnya biaya langsung $C_{D(i,j)}$ kemudian durasi waktu *crash* adalah $d_{(i,j)}$ dengan besarnya biaya langsung *crash* $C_{d(i,j)}$ maka *slope* biaya setiap kegiatan dapat dihitung sebagai berikut :

$$S_{(i,j)} = \frac{C_{D(i,j)} - C_{d(i,j)}}{D_{(i,j)} - d_{(i,j)}} \quad (10)$$

Hasil dan Pembahasan

Analisa Waktu

Pada analisa waktu dipelajari tingkah laku dari kegiatan-kegiatan yang ada pada pelaksanaan proyek tersebut. Selain itu dalam analisa waktu diperoleh skala prioritas pada setiap tahap, sehingga apabila terjadi perubahan waktu pelaksanaan suatu kegiatan akan dapat diamati

akibat dari perubahan waktu tersebut. Perubahan waktu dapat berakibat terhadap kegiatan selanjutnya sehingga keputusan dapat diambil dengan cepat. Tujuan dari analisa waktu proyek pada kasus ini adalah untuk menentukan jalur khusus yang memalui beberapa tahapan. Tahapan tersebut adalah menentukan waktu paling awal, waktu paling lambat, waktu mengambang total dan waktu mengambang bebas dengan diakhiri penetapan jalur kritis.

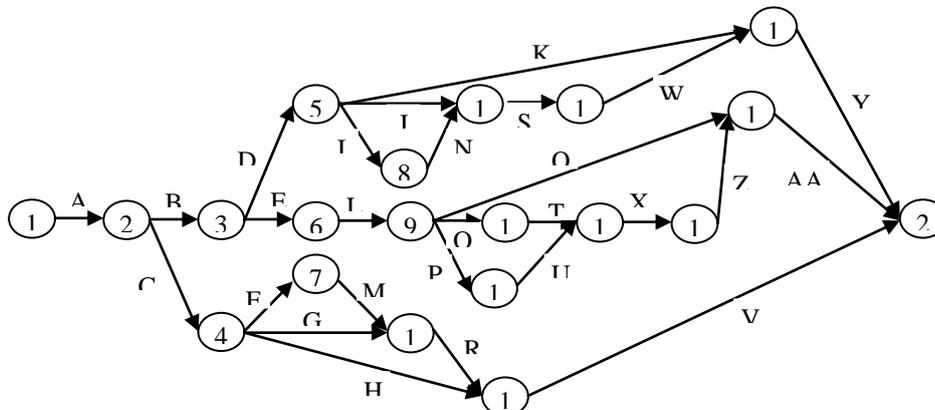
Bagan Kerja proyek

Kegiatan pembangunan kantor administrasi di Terminal Bus Kota X terdiri dari 27 kegiatan proyek. Kegiatan diawali dengan pekerjaan struktur lantai I (A) dan diakhiri dengan Pengecatan Lantai III (AA). Tabel hubungan ketergantungan antar kegiatan-kegiatan pada proyek ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Hubungan ketergantungan antar kegiatan – kegiatan pada proyek

N o	Kegiatan	Kegiatan Pendahulu	N o	Kegiatan	Kegiatan Pendahulu
1	A (1,2)	-	15	O(9,12)	L
2	B (2,3)	A	16	P(9,13)	L
3	C (2,4)	A	17	Q(9,19)	L
4	D (3, 5)	B	18	R(10,14)	M,G
5	E (3, 6)	B	19	S(11,15)	J,N
6	F (4,7)	C	20	T(12,16)	O
7	G (4,10)	C	21	U(13,16)	P
8	H(4,14)	C	22	V(14,20)	H,R
9	I(5,8)	D	23	W(15,17)	S
)	
10	J(5,11)	D	24	X(16,18)	T, U
11	K(5,17)	D	25	Y(17,20)	K, W
12	L(6,9)	E	26	Z(18,19)	X
13	M(7,10)	F		AA	Q, X
)		27	(19,20)	
14	N(8,11)	I			

Berdasarkan Tabel 1, dapat dibuatkan bagan jaringan kerja dengan memperhatikan ketergantungan setiap kegiatan proyek. Bagan kerja proyek dapat dilihat di Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Kerja Jaringan Proyek

Waktu Paling Awal

Perhitungan waktu paling awal dari peristiwa 1 sampai dengan peristiwa terakhir dengan menggunakan persamaan (1), (2) dan (3) pada tinjauan pustaka. Contoh perhitungan peristiwa 1 dan 10 adalah sebagai berikut : Peristiwa Nomor 1

$$TE_{(1)} = 0$$

$$ES_{(1,2)} = TE_{(1)} = 0$$

Peristiwa nomor 10

Pada peristiwa nomor 10 ada dua kegiatan yang menuju peristiwa nomor 10, maka perhitungannya sebagai berikut :

$$EF_{(4,10)} = TE_{(4)} + D_{(4,10)} = 84 + 49 = 133$$

$$EF_{(7,10)} = TE_{(7)} + D_{(7,10)} = 133 + 35 = 168$$

$$TE_{(10)} = \max \{EF_{(4,10)}, EF_{(7,10)}\} = \max \{133, 168\} = 168$$

Waktu Paling Akhir

Pada perhitungan waktu paling akhir dihitung waktu paling akhir sampai pada peristiwa awal. Rumus perhitungan menggunakan persamaan (4), (5) dan (6). Sebagai contoh diambil perhitungan pada peristiwa nomor 19 dan 9. Perhitungan tersebut adalah sebagai berikut,

Persitiwa nomor 19

$$LS_{(19,20)} = TL_{(20)} - D_{(19,20)} = 385 - 28 = 357 = TL_{(19)}$$

Peristiwa nomor 9

$$LS_{(9,12)} = TL_{(12)} - D_{(9,12)} = 273 - 35 = 238$$

$$LS_{(9,13)} = TL_{(13)} - D_{(9,13)} = 273 - 21 = 252$$

$$TL_{(9)} = \min \{LS_{(9,12)}, LS_{(9,13)}\} = \min \{238, 252\} = 238$$

Waktu Mengambang Total

Pada perhitungan waktu mengambang total suatu kegiatan digunakan rumus persamaan (7). Berdasarkan data hasil perhitungan waktu paling awal dan waktu paling akhir maka perhitungan dapat dilakukan. Sebagai contoh diambil kegiatan A(1,2) adalah sebagai berikut, Kegiatan A(1,2) dengan $TL_{(2)} = 35$, $TE_{(1)} = 0$ dan $D_{(1,2)} = 35$, maka :

$$TF_{(1,2)} = TL_{(2)} - TE_{(1)} - D_{(1,2)} = 35 - 0 - 35 = 0$$

Waktu Mengambang Bebas

Perhitungan waktu mengambang bebas menggunakan rumus pada persamaan (8). Berdasarkan perhitungan waktu paling awal dan waktu paling akhir serta data waktu setiap kegiatan maka waktu mengambang bebas dapat dihitung. Sebagai contoh diambil kegiatan A(1,2), perhitungannya sebagai berikut, Kegiatan A(1,2) dengan $TE_{(2)} = 35$, $TE_{(1)} = 0$, $D_{(1,2)} = 35$, maka :

$$FF_{(1,2)} = TE_{(2)} - TE_{(1)} - D_{(1,2)} = 35 - 0 - 35 = 0$$

Hasil perhitungan dari waktu paling awal, waktu paling akhir, waktu mengambang total dan waktu mengambang bebas dapat di lihat di Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan waktu mengambang total dan mengambang bebas

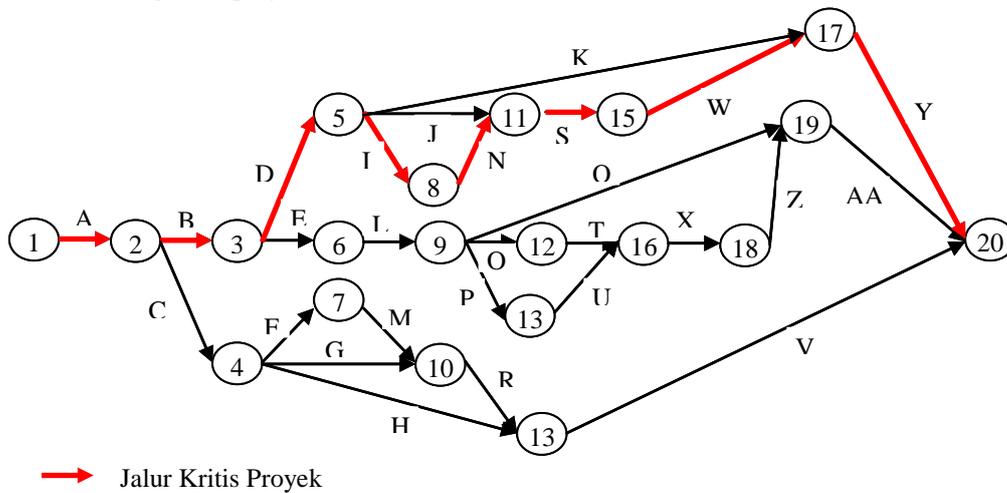
Kegiatan	D	Paling awal		Paling lambat		(TF)	(FF)
		(ES)	(EF)	(LS)	(LF)		
A	35	0	35	0	35	0	0
B	77	35	112	35	112	0	0
C	49	35	84	189	238	154	0
D	35	112	147	112	147	0	0
E	49	112	161	154	203	42	0
F	49	84	133	238	287	154	0
G	49	84	133	273	322	189	35
H	14	84	98	329	343	245	91
I	49	147	196	147	196	0	0
J	28	147	175	196	224	49	49
K	14	147	161	322	336	175	175
L	35	161	196	203	238	42	0
M	35	133	168	287	322	154	0
N	28	196	224	196	224	0	0
O	35	196	231	238	273	42	0
P	21	196	217	252	273	56	0
Q	14	196	210	343	357	147	105
R	21	168	189	322	343	154	0
S	84	224	308	224	308	0	0
T	14	231	245	273	287	42	0
U	14	217	231	273	287	56	14
V	42	189	231	343	385	154	154
W	28	308	336	308	336	0	0
X	49	245	294	287	336	42	0
Y	49	336	385	336	385	0	0
Z	21	294	315	336	357	42	0
AA	28	315	343	357	385	42	42

Penetapan Jalur Kritis

Berdasarkan perhitungan nilai TE, TL, FT dan FF pada setiap kegiatan maka ditetapkan kegiatan kritis. Kegiatan kritis diperoleh dengan memperhatikan nilai TF yaitu nilai TF = 0 sesuai dengan persamaan (9). Kegiatan kritis tersebut adalah kegiatan A(1,2), B(2,3), D(3,5), I(5,8), N(8,11), Q(9,12), S(11,15), W(15,17) dan Y(17,20). Berdasarkan kegiatan kritis yang

diperoleh maka jalur kritis proyek adalah 1 → 2 → 3 → 5 → 8 → 11 → 15 → 17 → 20. Berdasarkan jalur kritis proyek yang diperoleh maka durasi kegiatan proyek adalah 385 hari

dengan biaya langsung totalnya adalah Rp. 488.488.000,00. Gambar diagram jaringan kerja proyek dengan jalur kritis adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Jalur Kritis Proyek

Percepatan Proyek Dengan Program Crash

Percepatan proyek menggunakan program crash memerlukan empat variable yaitu waktu normal, waktu crash, biaya normal dan biaya crash. Perhitungan waktu crash adalah dengan menggunakan batasan waktu percepatan yang dibatasi setiap kegiatan maksimum dapat dipercepat 75% dari waktu normal. Kemudian untuk pekerja dapat melakukan kerja lembur akibat percepatan waktunya adalah 4 jam perharinya. Perhitungan waktu normal, waktu crash, biaya normal dan biaya crash didapatkan kemudian dapat di hitung slope setiap kegiatan dengan persamaan (10). Sebagai contoh slope dari kegiatan A(1,2) adalah sebagai berikut ,

$$m_{1,2} = \frac{16.080.000 - 12.320.000}{35 - 27} = 470.000$$

Hasil perhitungan slope untuk semua kegiatan dirangkum dalam Tabel. 3.

Setelah perhitungan slope biaya untuk setiap kegiatan diperoleh, maka percepatan proyek dapat dilakukan. Percepatan proyek pada metode menggunakan free float time sampai diperoleh all crash point adalah diawali dengan percepatan kesatu. Berdasarkan jalur kritis pada waktu normal yaitu 1 → 2 → 3 → 5 → 8 → 11 → 15 → 17 → 20 dan data slope biaya diperoleh, Nilai minimal slope biaya

$$= \min \{m_{1,2}, m_{2,3}, m_{3,5}, m_{5,8}, m_{8,11}, m_{11,15}, m_{15,17}, m_{17,20}\}$$

$$= \min \{470.000, 680.000, 464.500, 72.333, 272.000, 176.000, 40.000, 94.333\}$$

$$= 40.000$$

Tabel 3. Hasil perhitungan slope biaya setiap kegiatan

Kegiatan	Waktu Normal	Waktu Crash	Slope Biaya (Rp)
A (1,2)	35	27	400.000
B (2,3)	77	56	680.000
C (2,4)	49	37	375.333
D (3,5)	35	27	464.500
E (3,6)	49	37	330.000
F (4,7)	49	37	40.333
G (4,10)	49	37	17.333
H (4,14)	14	11	13.333
I (5,8)	49	37	72.333
J (5,11)	28	21	16.000
K (5,17)	14	11	13.333
L (6,9)	35	27	101.500
M (7,10)	35	27	204.000
N (8,11)	28	21	272.000
O (9,12)	35	27	65.500
P (9,13)	21	16	3.200
Q (9,19)	14	11	13.333
R (10,14)	21	16	56.800
S (11,15)	84	63	176.000
T (12,16)	14	11	154.667
U (13,16)	14	11	26.667
V (14,20)	42	32	157.600
W (15,17)	28	21	40.000
X (16,18)	49	37	94.000
Y (17,20)	49	37	94.333
Z (18,19)	21	16	14.400
AA (19,20)	28	21	56.000

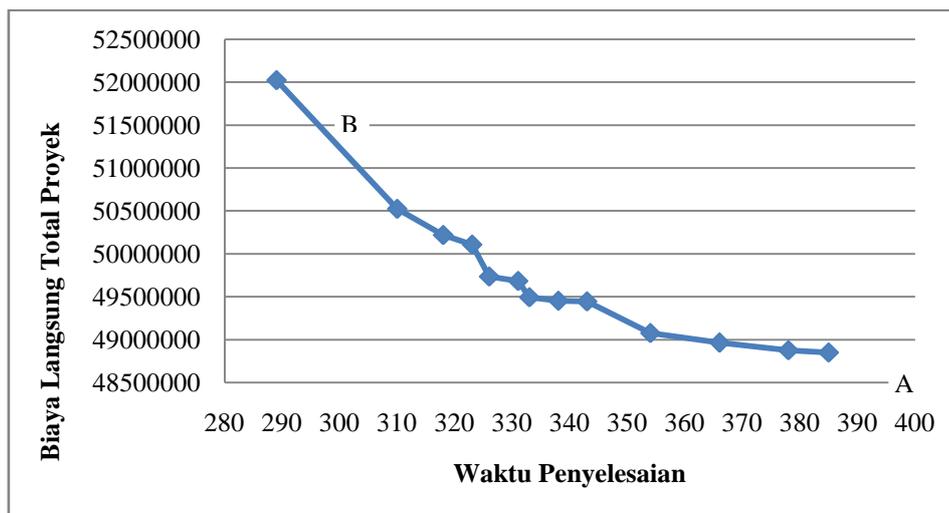
Nilai minimal dari slope biaya diatas merupakan slope biaya dari kegiatan W(15,17) dengan waktu crash 21 hari. Oleh sebab itu dilakukan percepatan pada kegiatan W(15,17) menjadi 21 hari. Berdasarkan percepatan tersebut maka waktu penyelesaian proyek menjadi 378 hari dan biaya total langsung proyek menjadi :

$$= \text{Rp. } 488.488.000 + ((28 - 21) \times \text{Rp. } 40.000)$$

$$= \text{Rp. } 488.768.000,$$

Jalur kritis akibat dari percepatan kesatu ini tetap yaitu pada jalur 1 → 2 → 3 → 5 → 8 → 11 → 15 → 17 → 20. Kemudian dilakukan percepatan kedua, ketiga dan seterusnya sampai pada percepatan keduabelas. Pada percepatan keduabelas diperoleh waktu penyelesaian menjadi 289 hari atau 96 hari lebih cepat dari pada waktu normal. Biaya total langsung proyek menjadi Rp. 520.239.992,00. Percepatan proyek pada percepatan keduabelas ini menjadi percepatan terakhir karena semua kegiatan kritis

pada jalur normal sudah dipercepat semua hal ini menunjukkan bahwa percepatan proyek sudah selesai atau *all crash point* telah tercapai. Hal ini diperkuat dengan batasan bahwa percepatan maksimal adalah 75% (385 hari x 75% = 289 hari). Hasil akhir percepatan memperlihatkan bahwa da efisiensi biaya sebesar Rp. 14.252.008,00 (Rp. 534.492.000 – 520.239.992). Percepatan berikutnya tidak akan mempercepat waktu penyelesaian proyek tapi akan menaikkan biaya langsung. Hubungan biaya langsung total dengan waktu pelaksanaan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik biaya langsung total waktu normal dan waktu *crash*

Berdasarkan kurva diatas titik A adalah titik normal (385, 448.448.000) pada titik ini penundaan waktu penyelesaian tidak akan menurunkan biaya langsung total. Pada titik B(289, 519.581.992) percepatan proyek tidak akan mempercepat waktu penyelesaian tetapi hanya menaikkan biaya langsung total.

Kesimpulan

Pada penjadwalan proyek pembangunan kantor administrasi terminal bus di kota X dapat diambil kesimpulan waktu normal pelaksanaan proyek adalah 385 hari dengan biaya langsung total Rp. 488.488.000,00. Kemudian jalur kritis pada penjadwalan proyek tersebut adalah 1 → 2 → 3 → 5 → 8 → 11 → 15 → 17 → 20. Pada percepatan proyek dengan program *crash* yang tidak menggunakan *free float time*, proyek dapat diselesaikan dalam waktu 289 hari dengan biaya total langsung adalah Rp. 520.239.992,00

Daftar Pustaka

Bustani, Henry.2005. *Fundamental Operation Research*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.

Dimiyati, T.T dan Ahmad Dimiyati. 2000. *Operation Research: Model – model Pengambilan Keputusan, Edisi Ke-5*. Bandung : PT Sinar Baru ALgesindo.

Siang, Jong Jek. 2014. *Riset Operasi dlam Pendekatan Algoritmis*. Yogyakarta: Penerbit Andi

Siswanto. (2007). *Operation Research Jilid II*. Jakarta: Erlangga.

Subagyo, P. Dkk. (2013). *Dasar - Dasar Operation Research Edisi Kedua*. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Ekonomi UGM.

Taha, A.H. 1993. *Riset Operasi Jilid 2*. Jakarta : Bina Rupa Aksara.