

Implementasi Metode CPM, Crashing dan PERT Pada Penjadwalan Proyek Pembangunan Masjid dan Asrama Yatim Piatu Barokah Amanah Mustaqbal

Sutrisno¹, Audi Pramudya², Rudi Effendi Listyanto³

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

³Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa, Bekasi Indonesia

*Koresponden email: ¹ tris.sutrisno@ft.unsika.ac.id, ² aud1pramudya48@gmail.com

Diterima: 16 Februari 2023

Disetujui: 25 Februari 2023

Abstract

Scheduling is one of many project management activities that have a crucial role and support the success of a project. The existence of good scheduling is able to minimize delays in project completion and swelling of the budget costs incurred. This study aims to identify the optimal completion time, determine alternative acceleration, as well as the probability of completing the target duration for the construction project of Mosque and Orphan Dormitory Barokah Amanah Mustaqbal Foundation, Karawang. Based on analysis of CPM and PERT, critical path activities are A-C-D-E-F-G-H-K-M-N-O-P-Q-R-S-T with time completion faster than the target set for 90 days. In the CPM method, the project completion time takes 87 days. These results can also be accelerated by crashing programs on 7 alternative project activities, there is: M-P-O-E-Q-H-S. Crashing for a maximum of 8 days requires an increase in labor costs of 6,09% (Rp10.954.109) of the initial cost. The PERT method shows that a project duration of 86,7 days at probability level that can be completed in less than 90 days of 91,31%.

Keywords: *project management, scheduling, CPM, crashing, PERT*

Abstrak

Penjadwalan merupakan satu dari banyak aktivitas manajemen proyek yang memiliki peran krusial dan penunjang keberhasilan suatu proyek. Adanya penjadwalan yang baik mampu meminimumkan keterlambatan penyelesaian proyek dan pembengkakan anggaran biaya yang dikeluarkan. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengidentifikasi waktu penyelesaian optimal, penentuan alternatif percepatan, serta probabilitas penyelesaian target durasi pada proyek pembangunan Masjid dan Asrama Yatim Yayasan Barokah Amanah Mustaqbal, Karawang. Berdasarkan analisis *Critical Path Method* dan *Program Evaluation and Review Technique*, diperoleh jalur kritis pada aktivitas A-C-D-E-F-G-H-K-M-N-O-P-Q-R-S-T dengan waktu penyelesaian lebih cepat dibanding target yang ditetapkan selama 90 hari. Pada metode CPM waktu penyelesaian proyek membutuhkan 87 hari. Hasil tersebut juga dapat dipercepat dengan *crashing program* pada 7 alternatif aktivitas proyek jalur kritis, yaitu: M-P-O-E-Q-H-S. *Crashing* secara maksimal 8 hari membutuhkan kenaikan biaya *labor cost* 6,09%, sebesar Rp10.954.109 dari biaya awal. Metode PERT menghasilkan durasi proyek selama 86,7 hari pada tingkat probabilitas dapat diselesaikan kurang dari waktu 90 hari sebesar 91,31%.

Kata Kunci: *manajemen proyek, penjadwalan, CPM, crashing, PERT*

1. Pendahuluan

Adanya peningkatan ekonomi masyarakat dibarengi dengan meningkatnya jumlah penduduk Indonesia mendorong terjadinya pemerataan infrastruktur di berbagai daerah. Hal ini karena kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas dan layanan umum yang juga meningkat. Pembangunan suatu proyek infrastruktur sendiri sering kali mengalami berbagai macam masalah dan kendala. Secara teoritis, ada 3 kendala atau batasan dalam suatu proyek yang dikenal dengan istilah *triple constraint*. Kendala-kendala tersebut merepresentasikan keseimbangan waktu, sumber daya (biaya), dan mutu [1]. Ketiga kendala atau batasan tersebut saling terintegrasi dan mempengaruhi batasan satu sama lain. Maka dari itu, dibutuhkan adanya manajemen proyek yang kompeten agar suatu proyek dapat sesuai dengan yang diharapkan. Manajemen proyek dapat diartikan sebagai tata cara mengorganisasikan dan mengelola sumber daya pada proyek untuk menyelesaikan proyek dari awal sampai akhir [2].

Pada manajemen proyek bidang konstruksi, implementasi bermacam-macam metode penjadwalan dalam perencanaan dan pengendalian proyek sangat menunjang peningkatan efisiensi, waktu serta biaya.

Penerapan ilmu manajemen pada pelaksanaan bidang proyek konstruksi juga dilakukan melalui aktivitas perencanaan dan penjadwalan. Pada aktivitas tersebut bertujuan untuk mencoba meletakkan dasar tujuan dan dasar sasaran tak terkecuali proses persiapan *resources* untuk mencapai tujuan dan sasaran yang telah ditetapkan [3]. Penjadwalan merupakan kegiatan perhitungan alokasi jadwal (waktu) yang dimiliki pada tiap pelaksanaan bagian pekerjaan atau aktivitas dengan tujuan menyelesaikan proyek secara optimal, tanpa mengesampingkan keterbatasan atau kendala yang ada [4]. Sehingga penjadwalan seringkali dipandang sebagai salah satu faktor krusial penunjang keberhasilan proyek konstruksi.

Metode penjadwalan proyek yang lazim dipakai adalah *Critical Path Method* (CPM) dan *Project Evaluation and Review Technique* (PERT). Secara konsep metode CPM dan PERT memiliki kesamaan, khususnya pada penentuan kegiatan yang ada pada jalur kritis. Perbedaan kedua metode ini terletak pada aplikasi perhitungan probabilitas terpenuhinya jadwal yang ditetapkan dalam aktivitas proyek yang ditemui pada metode PERT. Sehingga pada metode PERT dapat diketahui tingkat akurasi dari jadwal pada aktivitas yang diidentifikasi dalam suatu *network* [5]. Selain itu, umur suatu proyek juga dapat dipercepat melalui metode *crashing*. *Crashing* adalah proses percepatan aktivitas proyek secara sengaja, sistematis, dan analitis melalui perhitungan dan pengujian aktivitas pada jalur kritis [6].

Proyek konstruksi pembangunan masjid dan asrama anak yatim Yayasan Barokah Amanah Mustaqbal, Karawang dilaksanakan mulai dari Bulan Desember 2022 dengan waktu target penyelesaian proyek selama 90 hari. Kondisi tersebut menjadi kendala tersendiri karena pada bulan tersebut termasuk musim penghujan. Kendala yang umum ditemui pada musim hujan pada proyek konstruksi terbuka adalah menurunnya produktivitas tenaga kerja [7]. Mengingat proyek konstruksi yang lazimnya terletak pada area terbuka juga berdampak pada berkurangnya akses dan terganggunya area kerja ketika hujan. Selain itu, proyek juga dibangun di atas tanah berair dan lunak, dapat diperparah oleh adanya musim hujan. Sehingga diperlukan perlakuan khusus, seperti penggunaan *strauss pile* pada fondasi agar mutu dan keamanan proyek terjaga.

Berkaca pada uraian problematika proyek pembangunan di atas, peneliti bertujuan mencari solusi perihal penjadwalan proyek pembangunan masjid dan asrama anak yatim Yayasan Barokah Amanah Mustaqbal agar selesai tepat waktu meski dalam kondisi yang kurang optimal. Proses pencarian solusi dilakukan dengan cara menentukan waktu optimal umur proyek dan peluang percepatan proyek agar waktu penyelesaian proyek dapat tepat waktu sesuai target.

Hasil studi literatur penelitian terdahulu tentang implementasi metode CPM dan PERT oleh Atica Angelin dan Silvi Ariyanti pada proyek *development packaging* PT. XYZ diperoleh hasil penyelesaian proyek dengan metode CPM selama 101 hari dan dengan metode PERT sebesar 102 hari dengan probabilitas 37% dari waktu normal selama 154 hari [8]. Pada penelitian oleh Rialyantha Matahelumual, Octovianus Jamlaay, dan Tonny Sahusilawane di proyek pembangunan Gedung Auditorium IAIN Ambon, menghasilkan waktu penyelesaian proyek dengan metode CPM selama 135 hari, lalu dilakukan *crashing* menjadi 126 hari dengan selisih biaya total proyek turun sebesar 0,15% [9].

Penelitian pada proyek pembangunan Museum XYZ oleh Naura Mutia Astari, Ade Momon Subagyo, dan Kusnadi menghasilkan waktu penyelesaian proyek 102 hari pada metode CPM dan 129 hari pada metode PERT dengan probabilitas 99,8% [10]. Hasil penelitian Wiji Yuwono, M. Elfan Kaukab, dan Yusqi Mahfud pada proyek pembangunan Gedung Kantor Kelurahan Wonorejo Kecamatan Selomerto Kabupaten Wonosobo menunjukkan waktu penyelesaian proyek dengan metode CPM selama 32 hari dan metode PERT selama 49 hari dengan probabilitas 99,38%. Pada penelitian tersebut juga diimplementasikan *crashing* untuk mendapatkan waktu percepatan sebanyak 37 hari dengan tambahan biaya Rp2.368.000 [11]. Pada penelitian CPM dan PERT pada proyek Hayyan Qiscus Pte Ltd oleh Ganesstri Padma Arianie dan Nia Budi Puspitasari menghasilkan waktu penyelesaian proyek dengan metode CPM selama 38 hari dan metode PERT selama 40 hari dengan probabilitas 95,25%. Hasil *crashing*-nya menunjukkan waktu penyelesaian proyek dapat dipersingkat sebanyak 6 hari, dengan tambahan biaya sebesar Rp2.800.000 juta [12].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian penjadwalan proyek ini mengimplementasikan model penelitian kuantitatif – deskriptif. Mengingat tujuan yang dicari adalah analisis optimalisasi waktu pengerjaan proyek yang bisa dicapai dalam situasi dan kondisi yang ada. Adapun lokasi dari subjek penelitian proyek pembangunan masjid dan asrama anak yatim Yayasan Barokah Amanah Mustaqbal terletak di Karangpawitan, Karawang Barat, Kabupaten Karawang, Jawa Barat. Proyek tersebut dikembangkan oleh kontraktor PT. XYZ.

a. Data Penelitian

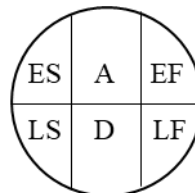
Data pada penelitian ini menggunakan dua jenis sumber data, antara lain: data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui kegiatan wawancara dan observasi langsung oleh peneliti dari pihak penanggung jawab proyek secara langsung. Data ini meliputi rincian aktivitas proyek, durasi aktivitas, dan *labor cost* yang tercantum dalam rencana anggaran biaya (RAB) proyek. Sedangkan, data sekunder didapatkan dari sumber literatur terkait dasar teori penelitian. Selain itu, studi literatur ini juga menjadi dasar *sampling* untuk menentukan gambaran parameter dari penelitian yang akan dilaksanakan.

b. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan pada penelitian ini, antara lain sebagai berikut.

1) *Critical Path Method*

Critical Path Method digunakan untuk menganalisis waktu penyelesaian proyek berdasarkan aktivitas proyek yang terdapat pada jalur kritis. Pada jalur terdapat aktivitas yang jika pelaksanaannya terlambat, dapat mengakibatkan keterlambatan waktu penyelesaian keseluruhan proyek [13]. Dalam aplikasi metode CPM digunakan model jaringan (*Network Planning*) untuk deskripsi identifikasi urutan rangkaian aktivitas. Pada penelitian ini digunakan model jaringan *Activity on Node* (AON) dikarenakan model jaringan ini memiliki banyak kemudahan [14]. Model jaringan AON ini ditampilkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. *Network Planning Activity on Node* (AON)

2) *Crashing Program*

Crashing Program menganalisis batas percepatan waktu efektif dalam aktivitas jalur kritis proyek. Percepatan melalui pengurangan waktu efektif ini dapat diperoleh dari pengurangan waktu dengan biaya terkecil yang ditandai dengan kemiringan garis biaya – waktu terkecil [15]. Kemiringan garis biaya – waktu ini dihitung dengan rumus berikut:

$$Slope = \frac{Crash\ Cost - Normal\ Cost}{Durasi\ Normal - Durasi\ Crash} \quad (1)$$

Pada penelitian ini skenario *crashing* yang dilakukan dengan cara menambah 2 jam kerja/hari sebagai waktu lembur. Produktivitas dari alternatif percepatan ini dihitung dengan rumus – rumus berikut.

$$Produktivitas\ Harian = \frac{Progres\ 100\ \%}{Durasi\ Aktivitas} \quad (2)$$

$$Produktivitas\ Jam\ Normal = \frac{Produktivitas\ Harian}{Jam\ Kerja\ Efektif} \quad (3)$$

$$Produktivitas\ Lembur = Produktivitas\ Normal \times \frac{80}{100} \times waktu\ lembur \quad (4)$$

$$Produktivitas\ Crash = Produktivitas\ Harian + Produktivitas\ Lembur \quad (5)$$

$$Durasi\ Crash = \frac{Progres\ 100\ \%}{Produktivitas\ Crash} \quad (6)$$

$$Upah\ Jam\ Normal = Produktivitas\ Jam\ Normal \times Biaya\ Manpower \quad (7)$$

$$Upah\ Harian\ Normal = Upah\ Jam\ Normal \times Jam\ Kerja\ Efektif \quad (8)$$

$$Upah\ Lembur = (1,5 + 2) \times Upah\ Jam\ Normal \quad (9)$$

$$Upah\ Percepatan = Upah\ Harian\ Normal + Upah\ Lembur \quad (10)$$

$$Crash\ Cost = Upah\ Percepatan \times Durasi\ Crash \quad (11)$$

3) *Program Evaluation and Review Technique*

Program Evaluation and Review Technique difungsikan sebagai variasi dan pembandingan hasil analisis waktu penyelesaian proyek disamping metode CPM. PERT bekerja dengan cara mengestimasi tiga jenis durasi waktu (*triple duration estimate*) aktivitas proyek. Pada PERT juga dihitung nilai distribusi normalnya guna mengetahui probabilitas

hasil PERT terhadap target umur proyek. Penggunaan estimasi-estimasi waktu dalam proses penentuan waktu penyelesaian tiap aktivitas proyek bertujuan supaya lebih realistis [16].

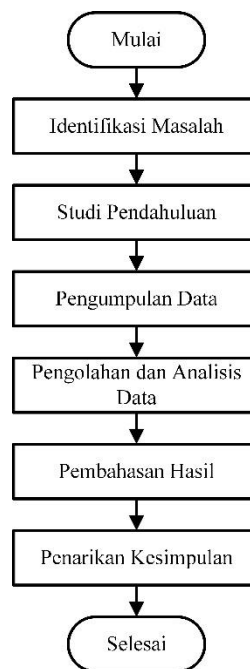
$$Te = \frac{(a+m+b)}{6} \quad (12)$$

$$V = \left[\frac{b-a}{6} \right]^2 \quad (13)$$

$$Z = \frac{Ts - \sum Te_{kritis}}{\sqrt{\sum V_{kritis}}} \quad (14)$$

c. Diagram Alir Penelitian

Pada **Gambar 2** di bawah ditampilkan diagram alir atau *flow chart* yang berisi ringkasan dari tahapan – tahapan yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 2. Flow Chart Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Critical Path Method

Pada aplikasi *Critical Path Method* diperlakukan dahulu identifikasi uraian, hubungan urutan, dan durasi dari setiap aktivitas proyek yang ada. Hubungan antar kegiatan ini menjadi dasar dari penentuan *network planning* (model jaringan) yang akan digunakan pada perhitungan metode CPM. Berikut pada **Tabel 1** disajikan informasi mengenai keseluruhan aktivitas proyek.

Data pada **Tabel 1** dapat digunakan untuk membuat *network diagram* (model jaringan) dan perhitungan metode CPM. Perhitungan dilakukan secara *forward pass* (hitungan maju) yang berfungsi untuk mencari nilai ES (*Earliest Start*) dan EF (*Earliest Finish*). Selanjutnya secara *backward pass* (hitungan mundur) yang berfungsi untuk mencari nilai LS (*Latest Start*) dan LF (*Latest Finish*). Setelah itu, dilakukan perhitungan kelonggaran tiap aktivitas proyek melalui nilai *float* atau *slack*. Pada aktivitas proyek dengan nilai *float* atau *slack* nol dapat diidentifikasi sebagai jalur kritis. Aktivitas pada jalur kritis tidak boleh terlambat karena menjadi jalur aktivitas proyek dengan durasi terlama sehingga jika terlambat dapat mempengaruhi waktu total penyelesaian proyek secara keseluruhan. Berikut disajikan hasil perhitungan tiap komponen metode CPM pada **Tabel 2** hasil perhitungan Metode CPM.

Tabel 1. Daftar aktivitas proyek

No.	Aktivitas	Kode	Kegiatan Pendahulu	Durasi (hari)
1.	<i>Land Clearing</i>	A	-	3
2.	Persiapan Besi	B	-	7
3.	Pembuatan Boplang atau <i>Layout</i>	C	A	3
4.	Penggalian Fondasi	D	C	3
5.	Pembuatan Fondasi <i>Strauss Pile</i>	E	B, D	7
6.	Pemasangan Sloff dan Kolom	F	E	4
7.	Penyetelan <i>Pile Cap</i> dan Pengecoran Kolom	G	F	5
8.	Pemasangan Hebel	H	G	9
9.	Proses Plester dan Bukaannya	I	H	11
10.	Perakitan <i>Roofing</i>	J	H	5
11.	Pengecoran Dak	K	H	4
12.	Pemasangan Ornamen Dinding	L	I	11
13.	Pemasangan Kubah	M	K	11
14.	Pemasangan Atap	N	J, M	5
15.	Pemasangan Plafon	O	N	6
16.	Pemasangan Keramik Dinding	P	L, O	8
17.	Pemasangan Keramik Lantai	Q	P	6
18.	Pemasangan Pintu dan Jendela	R	Q	5
19.	Proses <i>Finishing</i> Pengecatan	S	R	6
20.	Pembersihan Area	T	S	2
Total				121

Sumber: Data Penelitian (2022)

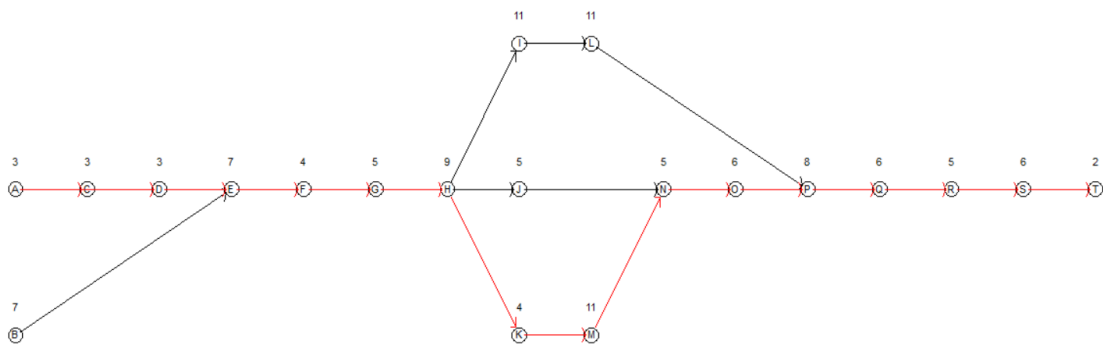
Tabel 2. Hasil perhitungan metode CPM

No.	Aktivitas	Kode	Kegiatan Pendahulu	Durasi (hari)	ES	EF	LS	LF	Float
1.	<i>Land Clearing</i>	A	-	3	0	3	0	3	0
2.	Persiapan Besi	B	-	7	0	7	2	9	2
3.	Pembuatan Boplang atau <i>Layout</i>	C	A	3	3	6	3	6	0
4.	Penggalian Fondasi	D	C	3	6	9	6	9	0
5.	Pembuatan Fondasi <i>Strauss Pile</i>	E	B, D	7	9	16	9	16	0
6.	Pemasangan Sloff dan Kolom	F	E	4	16	20	16	20	0
7.	Penyetelan <i>Pile Cap</i> dan Pengecoran Kolom	G	F	5	20	25	20	25	0
8.	Pemasangan Hebel	H	G	9	25	34	25	34	0
9.	Proses Plester dan Bukaannya	I	H	11	34	45	38	49	4
10.	Perakitan <i>Roofing</i>	J	H	5	34	39	44	49	10
11.	Pengecoran Dak	K	H	4	34	38	34	38	0
12.	Pemasangan Ornamen Dinding	L	I	11	45	56	49	54	4
13.	Pemasangan Kubah	M	K	11	38	49	38	49	0

No.	Aktivitas	Kode	Kegiatan Pendahuluan	Durasi (hari)	ES	EF	LS	LF	Float
14.	Pemasangan Atap	N	J, M	5	49	54	49	54	0
15.	Pemasangan Plafon	O	N	6	54	60	54	60	0
16.	Pemasangan Keramik Dinding	P	L, O	8	60	68	60	68	0
17.	Pemasangan Keramik Lantai	Q	P	6	68	74	68	74	0
18.	Pemasangan Pintu dan Jendela	R	Q	5	74	79	74	79	0
19.	Proses <i>Finishing</i> Pengecatan	S	R	6	79	85	79	85	0
20.	Pembersihan Area	T	S	2	85	87	85	87	0
Total				121					

Sumber: Data Penelitian (2022)

Hasil pembuatan *network planning* (model jaringan) perhitungan CPM juga ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. *Network planning* proyek
Sumber: Data Penelitian (2022)

Berdasarkan perhitungan pada **Tabel 2** dan deskripsi pada **Gambar 3** dapat diperoleh informasi aktivitas jalur kritis pada aktivitas dengan nilai *float* 0. Sehingga diketahui bahwa terdapat 16 aktivitas proyek yang terletak pada kegiatan kritis, yakni: A-C-D-E-F-G-H-K-M-N-O-P-Q-R-S-T

$$\begin{aligned}
 \sum D_{kritis} &= \sum D_{proyek} - \sum D_{nonkritis} \\
 &= \sum D_{proyek} - (D_B + D_I + D_J + D_L) \\
 &= 121 - 34 \\
 &= 87
 \end{aligned}$$

Dari jalur kritis tersebut didapatkan total waktu penyelesaian proyek selama 87 hari. Total waktu penyelesaian tersebut lebih cepat dengan selisih 3 hari dibanding dengan waktu penyelesaian target selama 90 hari.

3.2 *Crashing Program*

Hasil perolehan waktu proyek pada Metode CPM mampu dilakukan percepatan kembali melalui *crashing program*. Proses *Crashing Program* diawali dengan mencari batas durasi *crash* berdasarkan produktivitas harian dari data CPM dan biaya *crash* berdasarkan biaya langsung pada RAB, khususnya biaya tenaga kerja (*labor cost*). Hal ini karena untuk menghitung *slope crashing* pada aktivitas kritis

mempunyai dua variabel tersebut. Pada **Tabel 3** ditunjukkan rincian untuk *labor cost* aktivitas proyek dari RAB.

Tabel 3. Rincian *labor cost*

No.	Kegiatan	Kode	Labor Cost (Rp)
1.	<i>Land Clearing</i>	A	13.650.000
2.	Persiapan Besi	B	13.500.000
3.	Pembuatan Boplang atau <i>Layout</i>	C	1.300.000
4.	Penggalian Fondasi	D	4.550.000
5.	Pembuatan Fondasi <i>Strauss Pile</i>	E	7.800.000
6.	Pemasangan Slop dan Kolom	F	13.000.000
7.	Penyetelan <i>Pile Cap</i> dan Pengecoran Kolom	G	7.800.000
8.	Pemasangan Hebel	H	19.500.000
9.	Proses Plester dan Bukaam	I	20.800.000
10.	Perakitan <i>Roofing</i>	J	8.970.000
11.	Pengecoran Dak	K	3.900.000
12.	Pemasangan Ornamen Dinding	L	1.950.000
13.	Pemasangan Kubah	M	2.600.000
14.	Pemasangan Atap	N	18.200.000
15.	Pemasangan Plafon	O	5.850.000
16.	Pemasangan Keramik Dinding	P	3.900.000
17.	Pemasangan Keramik Lantai	Q	13.650.000
18.	Pemasangan Pintu dan Jendela	R	5.850.000
19.	Proses <i>Finishing</i> Pengecatan	S	10.400.000
20.	Pembersihan Area	T	2.600.000
Total			179.770.000

Sumber: Data Penelitian (2022)

Alternatif percepatan proyek yang dipilih dilakukan dengan lembur dua jam/hari. Pada **Tabel 4** disajikan hasil perhitungan durasi *crash* yang dapat dilakukan.

Tabel 4. Hasil perhitungan durasi *crash*

Aktivitas	Durasi (hari)	Produktivitas Harian (%/hari)	Produktivitas Jam Normal (%/Jam)	Produktivitas 2 Jam Lembur (%/Jam)	Produktivitas <i>Crash</i> (%/hari)	Durasi <i>Crash</i> (hari)
<i>Land Clearing</i>	3	0,33	0,05	0,08	0,41	2,44
Pembuatan Boplang atau <i>Layout</i>	3	0,33	0,05	0,08	0,41	2,44
Penggalian Fondasi	3	0,33	0,05	0,08	0,41	2,44
Pembuatan Fondasi <i>Strauss Pile</i>	7	0,14	0,02	0,03	0,18	5,70
Pemasangan Slop dan Kolom	4	0,25	0,04	0,06	0,31	3,26
Penyetelan <i>Pile Cap</i> dan Pengecoran Kolom	5	0,20	0,03	0,05	0,25	4,07
Pemasangan Hebel	9	0,11	0,02	0,03	0,14	7,33
Pengecoran Dak	4	0,25	0,04	0,06	0,31	3,26
Pemasangan Kubah	11	0,09	0,01	0,02	0,11	8,95
Pemasangan Atap	5	0,20	0,03	0,05	0,25	4,07
Pemasangan Plafon	6	0,17	0,02	0,04	0,20	4,88
Pemasangan Keramik Dinding	8	0,13	0,02	0,03	0,15	6,51
Pemasangan Keramik Lantai	6	0,17	0,02	0,04	0,20	4,88
Pemasangan Pintu dan Jendela	5	0,20	0,03	0,05	0,25	4,07
Proses <i>Finishing</i> Pengecatan	6	0,17	0,02	0,04	0,20	4,88
Pembersihan Area	2	0,50	0,07	0,11	0,61	1,63

Sumber: Data Penelitian (2022)

Pada **Tabel 4** hanya diambil aktivitas proyek pada jalur kritis dengan selisih durasi *crash* dan durasi normal lebih dari 1 hari agar proses *crashing* dapat berjalan efektif dan efisien. Aktivitas proyek tersebut dapat menjadi pilihan alternatif jika diperlukan adanya percepatan penyelesaian waktu proyek maksimal hingga 8 hari. Aktivitas-aktivitas tersebut, antara lain:

- a. Aktivitas E pembuatan fondasi *strauss pile* selama 1 hari.
- b. Aktivitas H pemasangan hebel selama 1 hari.
- c. Aktivitas M pemasangan kubah selama 2 hari.
- d. Aktivitas O pemasangan plafon selama 1 hari.
- e. Aktivitas P pemasangan keramik dinding selama 1 hari.
- f. Aktivitas Q pemasangan keramik lantai selama 1 hari.
- g. Aktivitas S pembersihan area selama 1 hari.

Selanjutnya dilakukan perhitungan *crash cost* yang ditunjukkan pada **Tabel 5** di bawah sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil perhitungan *crash cost*

Aktivitas	Produktivitas Jam Normal (%/Jam)	Labor Cost (Rp)	Upah Normal (Rp./jam)	Upah Normal (Rp/hari)	Upah 2 Jam Lembur (Rp/hari)	Upah Percepatan (Rp/hari)	Crash Cost (hari)
Pembuatan Fondasi <i>Strauss Pile</i>	0,02	7.800.000	159.184	1.114.286	557.143	1.671.429	9.523.255,81
Pemasangan Hebel	0,02	19.500.000	309.524	2.166.667	1.083.333	3.250.000	23.808.139,53
Pemasangan Kubah	0,01	2.600.000	33.766	236.364	118.182	354.545	3.174.418,60
Pemasangan Plafon	0,02	5.850.000	139.286	975.000	487.500	1.462.500	7.142.441,86
Pemasangan Keramik Dinding	0,02	3.900.000	69.643	487.500	243.750	731.250	4.761.627,91
Pemasangan Keramik Lantai	0,02	13.650.000	325.000	2.275.000	1.137.500	3.412.500	16.665.697,67
Proses <i>Finishing</i>	0,02	10.400.000	247.619	1.733.333	866.667	2.600.000	12.697.674,42
Pengecatan							

Sumber: Data Penelitian (2022)

Setelah nilai durasi *crash* dan *crash cost* diperoleh, maka nilai derajat kemiringan dari *cost slope* dapat dihitung. Adapun perhitungannya dapat dilihat di **Tabel 6** berikut.

Tabel 6. Hasil perhitungan *cost slope*

Aktivitas	Kode	Durasi (hari)	Durasi <i>Crash</i> (hari)	Selisih Durasi (hari)	Crash Cost (Rp)	Cost Slope (Rp)
Pembuatan Fondasi <i>Strauss Pile</i>	E	7	5,70	1,30	9.523.255,81	1.323.214,29
Pemasangan Hebel	H	9	7,33	1,67	23.808.139,53	2.572.916,67
Pemasangan Kubah	M	11	8,95	2,05	3.174.418,60	280.681,82
Pemasangan Plafon	O	6	4,88	1,12	7.142.441,86	1.157.812,50
Pemasangan Keramik Dinding	P	8	6,51	1,49	4.761.627,91	578.906,25
Pemasangan Keramik Lantai	Q	6	4,88	1,12	16.665.697,67	2.701.562,50
Proses <i>Finishing</i>	S	6	4,88	1,12	12.697.674,42	2.058.333,33
Pengecatan						

Sumber: Data Penelitian (2022)

Dari **Tabel 6** diketahui bahwa nilai *slope* terkecil dimiliki oleh aktivitas pemasangan kubah sebesar Rp280.681,82/hari, aktivitas tersebut juga memiliki selisih durasi *crash* terbesar selama 2 hari. Sehingga

paling efektif dan efisien jika dipilih. Sementara nilai *cost slope* terbesar dimiliki oleh aktivitas pemasangan keramik lantai dengan selisih waktu *crashing* 1 hari.

Kemudian, apabila proyek dipercepat dengan waktu *crashing* maksimal selama 8 hari dari waktu CPM dan 11 hari dari target penyelesaian proyek menjadi 79 hari, biaya yang dibutuhkan adalah sebesar Rp190.724.109. Biaya tersebut naik sebesar Rp10.954.109 atau 6,09% dari biaya awal. Pada **Tabel 7** disajikan ringkasan perhitungannya.

Tabel 7. Ringkasan perhitungan biaya *crashing* 8 hari

	Durasi (Hari)	Labor Cost (Rp)	Persentase
Proyek Normal CPM	87	179.770.000	100,00%
Proyek Dipercepat/ <i>Crashing</i>	79	190.724.109	106,09%
Selisih	8	10.954.109	6,09%

Sumber: Data Penelitian (2022)

3.3 Program Evaluation and Review Technique

Analisis dan perhitungan pada *Program Evaluation and Review Technique*, secara garis besar hampir sama dengan perhitungan pada *Critical Path Method*. Perhitungan secara *triple duration estimate* dilakukan dengan cara mencari nilai waktu estimasi (T_e) serta nilai variannya yang berasal dari data hasil identifikasi waktu optimis, waktu normal dan waktu pesimis. Berikut pada **Tabel 8** ditampilkan hasil perhitungan dengan metode PERT.

Tabel 8. Hasil perhitungan metode PERT

Kegiatan	Kode	Kegiatan Pendahulu	Waktu Pesimis (b)	Waktu Normal (m)	Waktu Optimis (a)	Waktu Taksiran (te)	Varians
<i>Land Clearing</i>	A	-	4	3	2	3,00	0,11
Persiapan Besi	B	-	10	7	5	7,17	0,69
Pembuatan Boplang atau <i>Layout</i>	C	A	4	3	2	3,00	0,11
Penggalian Fondasi	D	C	5	3	2	3,17	0,25
Pembuatan Fondasi <i>Strauss Pile</i>	E	B, D	9	7	5	7,00	0,44
Pemasangan Sloff dan Kolom	F	E	7	4	3	4,33	0,44
Penyetelan <i>Pile Cap</i> dan Pengecoran Kolom	G	F	7	5	3	5,00	0,44
Pemasangan Hebel	H	G	11	9	6	8,83	0,69
Proses Plester dan Bukaan	I	H	14	11	8	11,00	1,00
Perakitan <i>Roofing</i>	J	H	6	5	3	4,83	0,25
Pengecoran Dak	K	H	7	4	3	4,33	0,44
Pemasangan Ornamen Dinding	L	I	14	11	9	11,17	0,69
Pemasangan Kubah	M	K	13	11	7	10,67	1,00
Pemasangan Atap	N	J, M	6	5	3	4,83	0,25
Pemasangan Plafon	O	N	7	6	4	5,83	0,25
Pemasangan Keramik Dinding	P	L, O	9	8	5	7,67	0,44
Pemasangan Keramik Lantai	Q	P	8	6	4	6,00	0,44
Pemasangan Pintu dan Jendela	R	Q	6	5	3	4,83	0,25
Proses <i>Finishing</i> Pengecatan	S	R	8	6	4	6,00	0,44
Pembersihan Area	T	S	3	2	2	2,17	0,03
Total			158	121	83	120,83	8,69

Sumber: Data Penelitian (2022)

Berdasarkan **Tabel 8**, dapat diperoleh informasi waktu penyelesaian proyek optimal metode PERT dengan menjumlahkan total T_e ($\sum T_e$ kritis) dari aktivitas pada jalur kritis A-C-D-E-F-G-H-K-M-N-O-P-Q-R-S-T. Adapun T_e ($\sum T_e$ kritis) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sum T_{e_{kritis}} &= \sum T_{e_{proyek}} - \sum T_{e_{nonkritis}} \\ &= \sum T_{e_{proyek}} - (T_{e_B} + T_{e_I} + T_{e_J} + T_{e_L}) \\ &= 120,83 - 34,17 \\ &= 86,7\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, proyek dapat diselesaikan dalam waktu 86,7 hari atau lebih cepat 3,3 hari dari target waktu penyelesaian proyek yang ditetapkan di awal dan 0,3 hari dengan metode CPM.

Terakhir adalah perhitungan probabilitas hasil perhitungan waktu penyelesaian proyek melalui metode PERT terhadap waktu target penyelesaian proyek ditetapkan sebelumnya dan jumlah varian aktivitas proyek pada jalur kritis, dimana varian proyek kritisnya adalah:

$$\begin{aligned}\sum V_{kritis} &= \sum V_{proyek} - \sum V_{nonkritis} \\ &= \sum V_{proyek} - (V_B + V_I + V_J + V_L) \\ &= 8,69 - 2,63 \\ &= 6,06\end{aligned}$$

Maka, nilai Z-nya dapat hitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}Z &= \frac{T_s - \sum T_{e_{kritis}}}{\sqrt{\sum V_{kritis}}} \\ &= \frac{90 - 86,7}{\sqrt{6,06}} \\ &= 1,34\end{aligned}$$

Adapun nilai $Z = 1,36$ pada tabel distribusi normal memiliki nilai sebesar 90,98%. Sehingga dapat diartikan peluang waktu penyelesaian proyek kurang dari 90 hari cukup besar. Sementara probabilitas *crashing program* dicari juga dengan rumus tersebut sehingga diperoleh hasil:

$$\begin{aligned}Z &= \frac{T_s - \sum T_{e_{kritis}}}{\sqrt{\sum V_{kritis}}} \\ &= \frac{79 - 86,7}{\sqrt{6,06}} \\ &= -3,13\end{aligned}$$

Hasilnya pada metode tersebut memiliki nilai yang cukup kecil, yaitu sebesar 1%.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian penjadwalan proyek pada proyek pembangunan masjid dan asrama yatim piatu Yayasan Barokah Amanah Mustaqbal menghasilkan waktu penyelesaian proyek yang lebih cepat dibanding target yang ditetapkan. Pada *Critical Path Method* (CPM) diperoleh jalur kritis di aktivitas proyek A-C-D-E-F-G-H-K-M-N-O-P-Q-R-S-T dengan membutuhkan waktu penyelesaian proyek selama 87 hari. Hasil ini memiliki selisih 3 hari lebih cepat dari waktu yang ditargetkan selama 90 hari.

Hasil waktu penyelesaian proyek juga dapat dipercepat dengan melakukan *crashing program*. Pada skenario penambahan sumber daya berupa jam lembur sebanyak 2 jam/hari, diperoleh 7 alternatif aktivitas proyek yang bisa mempercepat waktu penyelesaian proyek maksimal selama 8 hari. Secara berurutan, aktivitas *crashing* yang dapat dipilih secara efektif dan efisien, yaitu: M-P-O-E-Q-H-S. Hal ini karena memiliki nilai *slope* yang lebih kecil dengan waktu yang lebih lama. Adapun biaya *labour* tambahan yang harus dikeluarkan untuk melakukan *crashing* secara maksimal selama 8 hari memakan biaya sebesar Rp10.954.109 atau 6,09% lebih besar dari biaya awal.

Sementara pada hasil analisis *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), waktu penyelesaian proyek untuk jalur kritis aktivitas proyek A-C-D-E-F-G-H-K-M-N-O-P-Q-R-S-T yang dibutuhkan adalah selama 86,7 hari. Hasil tersebut memiliki probabilitas dapat diselesaikan kurang dari waktu target 90 hari sebesar 90,98%. Pada hasil metode PERT terjadi percepatan selama 3,3 hari dibanding waktu penyelesaian proyek yang sudah ditetapkan dan 0,3 hari dibanding hasil metode CPM.

5. Referensi

- [1] P. L. A. Sitanggang, Nathanael Simarmata, Janner Luthan, *Pengantar Konsep Manajemen Proyek untuk Teknik*. Medan: Yayasan Kita Menulis, 2019.
- [2] K. Dimiyati, Hamdan Nurjaman, *Manajemen Proyek*. Bandung: Pustaka Setia, 2014.
- [3] H. A. Rani, *Manajemen Proyek Konstruksi*. Sleman: Deepublish, 2016.
- [4] Sugiyanto, *Manajemen Proyek Rantai Kritis*. Surabaya: Cipta Media Nusantara, 2021.
- [5] S. M. Khoiroh, "Mengoptimalkan Crashing Project Pemasangan Saluran Rumah di Perumahan X dengan Pendekatan CPM-PERT," *J. Tek. Ind. HEURISTIC*, vol. 15, no. 1, pp. 39–48, 2018.
- [6] A. Armalisa, D. Triana, and M. M. Sari, "Metode Crashing Terhadap Penambahan Jam Kerja Optimum pada Proyek Konstruksi," *Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 1–18, 2021.
- [7] Fendy, J. R. Handoko, and Andi, "Pengaturan Risiko Hujan Dalam Kontrak Serta Dampak dan Kendalanya pada Proyek Konstruksi," *Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. IV, no. 2, pp. 1–18, 2015.
- [8] A. Angelin and S. Ariyanti, "Analisis Penjadwalan Proyek New Product Development Menggunakan Metode PERT dan CPM," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 63–70, 2018.
- [9] R. Matahelumual, O. Jamlaay, and T. Sahusilawane, "Analisa Percepatan Proyek dengan Metode Crashing Program pada Proyek Pembangunan Gedung Auditorium IAIN Kota Ambon (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Auditorium IAIN Kota Ambon)," *J. Agreg.*, vol. 1, no. 1, pp. 65–73, 2022.
- [10] N. M. Astari, A. M. Subagyo, and Kusnadi, "Perencanaan Manajemen Proyek dengan Metode CPM (Critical Path Method) Dan PERT (Program Evaluation and Review Technique)," *J. Konstr.*, vol. 13, no. 1, pp. 164–180, 2021.
- [11] W. Yuwono, M. E. Kaukab, and Y. Mahfud, "Kajian Metode PERT-CPM dan Pemanfaatannya dalam Manajemen Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek," *J. Econ. Manag. Account. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 192–214, 2021.
- [12] G. P. Arianie and N. B. Puspitasari, "Perencanaan Manajemen Proyek dalam Meningkatkan Efisiensi dan Efektifitas Sumber Daya Perusahaan (Studi Kasus: Qiscus Pte Ltd)," *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 3, pp. 189–196, 2017.
- [13] A. B. Siswanto, Salim, and M. Afif, *Manajemen Proyek*. Semarang: Pilar Nusantara, 2019.
- [14] R. Yanita, I. F. Ningrum, and K. Mochtar, "Manfaat Penerapan Metode AON (Activity On Node) untuk Penjadwalan Proyek Bangunan Bertingkat Tinggi," *J. IPTEK*, vol. 4, no. 2, pp. 48–55, 2020.
- [15] T. T. Dimiyati and A. Dimiyati, *Operation Research: Model-model Pengambilan Keputusan*. Bandung: Sinar Baru Alfesindo, 2010.
- [16] Johnes, J. Operational research in education. *European journal of operational research*, 243(3), 683-696. 2015.