
PENERAPAN METODE CPM DAN TIME-COST TRADE-OFF DALAM MENGELOLA WAKTU SERTA BIAYA PROYEK KONSTRUKSI X

Ikhtisholiah^{1*}, M. Hasbil Izza Wardana², Irawan Agustiar³
Fakultas Teknik, Universitas Gresik, Gresik, Indonesia
Corresponding Author: Ikhtisholiah@gmail.com*

History:

Received : 25 Februari 2025
Revised : 26 Februari 2025
Accepted : 28 Februari 2025
Published : 01 Maret 2025

Publisher: LPPM Universitas Darma Agung

Licensed: This work is licensed under
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0>



Abstrak

Proyek perumahan X di Kecamatan Cerme, Kabupaten Gresik, merupakan proyek pembangunan yang bertujuan untuk menyediakan hunian berkualitas dengan biaya terjangkau. Namun, dalam pelaksanaannya, proyek ini menghadapi tantangan dalam pengelolaan waktu dan biaya. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas metode *critical path method* (CPM) dan *time-cost trade-off* dalam mempercepat penyelesaian proyek tanpa menyebabkan lonjakan biaya yang signifikan. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan mengumpulkan data proyek melalui survei, wawancara dengan kontraktor, serta analisis dokumen proyek. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode CPM untuk mengidentifikasi jalur kritis yang mempengaruhi durasi proyek, sementara metode *time-cost trade-off* digunakan untuk mengevaluasi pengaruh percepatan waktu terhadap biaya konstruksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proyek yang semula direncanakan selesai dalam 90 hari mengalami keterlambatan dan baru selesai dalam 100 hari. Dengan penerapan metode CPM dan *time-cost trade-off*, durasi proyek dapat dipersingkat menjadi 84 hari dengan menambahkan 1 jam lembur per hari, 80 hari dengan 2 jam lembur, dan 78 hari dengan 3 jam lembur. Meskipun percepatan ini meningkatkan biaya konstruksi, perhitungan menunjukkan bahwa kenaikan biaya tetap berada dalam batas yang dapat diterima. Penelitian ini memberikan rekomendasi bagi kontraktor dan pengembang dalam mengoptimalkan perencanaan proyek untuk meminimalkan keterlambatan dan pengeluaran tambahan. Penerapan metode CPM dan *time-cost trade-off* terbukti dapat menjadi solusi efektif dalam meningkatkan efisiensi waktu dan biaya proyek konstruksi.

Kata kunci: Biaya Konstruksi; CPM; Manajemen Waktu; Percepatan Proyek; *Time-Cost Trade-Off*

Abstract

The X housing project in Cerme District, Gresik Regency, is a development project that aims to provide quality housing at affordable costs. However, in its implementation, this project faces challenges in time and cost management. This research was conducted to analyze the effectiveness of the Critical Path Method (CPM) and time-cost trade-off method in accelerating project completion without causing a significant spike in costs. The research method used is a quantitative approach by collecting project data through surveys, interviews with contractors, and analysis of project documents. The data obtained was analyzed using the CPM method to identify the critical path that affects the project duration, while the TIME-COST TRADE-OFF method was used to

evaluate the effect of time acceleration on construction costs. The results showed that the project that was originally planned to be completed in 90 days was delayed and was completed in 100 days. By applying the CPM and time-cost trade-off methods, the project duration can be shortened to 84 days by adding 1 hour of overtime per day, 80 days with 2 hours of overtime, and 78 days with 3 hours of overtime. Although this acceleration increases the construction cost, calculations show that the cost increase remains within acceptable limits. This research provides recommendations for contractors and developers in optimizing project planning to minimize delays and additional expenses. The application of CPM and time-cost trade-off methods proved to be an effective solution in improving the time and cost efficiency of construction projects.

Keywords: *Construction Cost; CPM; Time Management; Project Acceleration; Time-Cost Trade-Off*

Pendahuluan

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor utama dalam pembangunan suatu negara. Sektor ini memiliki peran strategis dalam menunjang berbagai aktivitas sosial dan ekonomi melalui pembangunan infrastruktur, seperti jalan, jembatan, gedung perkantoran, perumahan, serta fasilitas publik lainnya. Infrastruktur yang memadai menjadi tulang punggung bagi pertumbuhan ekonomi karena dapat meningkatkan konektivitas, mempercepat distribusi barang dan jasa, serta memperbaiki kualitas hidup masyarakat secara keseluruhan. Perkembangan industri konstruksi tidak hanya berdampak pada pertumbuhan ekonomi secara langsung, tetapi juga memberikan efek berganda pada sektor-sektor lain seperti manufaktur, jasa, dan teknologi (Smith *et al.*, 2020; Rahman & Wijaya, 2020). Oleh karena itu, efektivitas dan efisiensi dalam pelaksanaan proyek konstruksi menjadi aspek yang sangat krusial.

Namun, proyek konstruksi sering kali menghadapi berbagai tantangan yang dapat mempengaruhi keberhasilannya. Salah satu permasalahan utama dalam manajemen proyek konstruksi adalah keterlambatan dalam penyelesaian proyek. Keterlambatan ini dapat berdampak signifikan terhadap peningkatan biaya, penundaan penggunaan fasilitas, serta menurunkan tingkat kepercayaan pemangku kepentingan terhadap pihak yang bertanggung jawab atas proyek tersebut (Kerzner, 2017; Putri, 2019). Berbagai faktor dapat menyebabkan keterlambatan proyek, antara

lain perubahan desain yang tidak terduga, kondisi cuaca yang tidak mendukung, keterbatasan tenaga kerja terampil, serta ketidakseimbangan dalam alokasi sumber daya (Ogunlana, 2020; Saputra, 2021). Selain itu, kendala dalam pengadaan bahan material, permasalahan perizinan, serta ketidaksempurnaan dalam perencanaan juga dapat menyebabkan proyek tidak berjalan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

Dalam menghadapi tantangan ini, diperlukan pendekatan yang lebih sistematis dalam perencanaan dan pengendalian proyek guna memastikan bahwa proyek dapat berjalan sesuai dengan rencana awal. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam manajemen proyek adalah *critical path method* (CPM). CPM adalah metode analisis jaringan yang memungkinkan identifikasi jalur kritis dalam sebuah proyek, sehingga manajer proyek dapat menentukan aktivitas-aktivitas yang harus diprioritaskan agar proyek selesai tepat waktu (Kerzner, 2017; Wibowo, 2022). Identifikasi jalur kritis sangat penting karena jika salah satu aktivitas dalam jalur ini mengalami keterlambatan, maka keseluruhan proyek juga akan mengalami keterlambatan. Oleh karena itu, dengan mengetahui jalur kritis, pengelola proyek dapat melakukan pemantauan lebih ketat terhadap aktivitas yang memiliki dampak paling besar terhadap jadwal penyelesaian proyek.

Selain itu, metode *time-cost trade-off* juga dapat diterapkan untuk mengevaluasi hubungan antara waktu dan biaya guna

mengoptimalkan efisiensi proyek (Kusuma & Fajar, 2022). Dalam banyak kasus, percepatan penyelesaian proyek dapat dilakukan dengan menambah sumber daya atau jam kerja lembur, tetapi hal ini juga akan meningkatkan biaya proyek. Oleh karena itu, pengelola proyek harus melakukan analisis keseimbangan antara waktu dan biaya agar dapat mencapai efisiensi yang optimal (Hendrickson, 2021; Dewi, 2023). Dengan menggabungkan metode CPM dan Time-Cost Trade-Off, pengelola proyek dapat melakukan evaluasi yang lebih akurat terkait dengan estimasi waktu dan biaya proyek konstruksi, serta mengambil keputusan yang lebih tepat dalam mengalokasikan sumber daya.

Seiring dengan perkembangan zaman, proyek konstruksi semakin mengalami peningkatan dalam aspek kompleksitas, baik dari sisi teknis maupun finansial. Kompleksitas ini sering kali memunculkan ketidakpastian dan risiko yang dapat menyebabkan keterlambatan serta pembengkakan anggaran dalam pelaksanaan proyek. Risiko-risiko ini meliputi perubahan kebijakan pemerintah, fluktuasi harga material, keterlambatan dalam pengadaan bahan, serta permasalahan dalam koordinasi antar-pihak yang terlibat dalam proyek. Selain itu, perkembangan teknologi dan inovasi dalam industri konstruksi juga menuntut adaptasi yang lebih cepat agar proyek dapat berjalan sesuai dengan standar terkini. Oleh karena itu, dalam menghadapi tantangan ini, manajemen proyek berperan penting dalam memastikan proyek dapat berjalan sesuai dengan jadwal dan dalam batas biaya yang telah ditetapkan (Smith *et al.*, 2020; Lestari, 2020).

Dalam konteks penelitian ini, studi dilakukan terhadap proyek konstruksi X di Kecamatan Cerme, Kabupaten Gresik, dengan menggunakan metode CPM guna mengevaluasi efektivitas manajemen waktu dan biaya dalam proyek tersebut. Proyek ini dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi

serta menghadapi berbagai tantangan dalam penyelesaiannya. Dengan menganalisis proyek ini, diharapkan dapat diperoleh wawasan yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi keterlambatan proyek serta strategi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi manajemen proyek konstruksi.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini akan berfokus pada beberapa aspek utama dalam manajemen proyek konstruksi, yaitu analisis jalur kritis dalam proyek konstruksi, evaluasi manajemen waktu dan biaya proyek, serta strategi mitigasi risiko dalam proyek konstruksi. Jalur kritis merupakan serangkaian aktivitas dalam proyek yang memiliki durasi terpanjang dan tidak memiliki fleksibilitas dalam jadwalnya. Jika salah satu aktivitas dalam jalur kritis mengalami keterlambatan, maka keseluruhan proyek akan terdampak (Aibinu & Jagboro, 2019; Surya, 2018). Oleh karena itu, identifikasi jalur kritis sangat penting dalam perencanaan proyek agar dapat dilakukan strategi mitigasi yang tepat guna menghindari keterlambatan proyek. Dengan menggunakan metode CPM dan *time-cost trade-off*, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterkaitan antara durasi penyelesaian proyek dan biaya yang dikeluarkan. Dengan memahami hubungan ini, pengelola proyek dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya guna mencapai efisiensi yang lebih baik.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, antara lain manajer proyek dalam mengelola proyek secara lebih efisien dengan mengoptimalkan waktu dan biaya, kontraktor dalam menyediakan strategi yang dapat digunakan untuk mengurangi risiko keterlambatan dan meningkatkan profitabilitas proyek, akademisi sebagai bahan referensi bagi penelitian lebih lanjut di bidang manajemen proyek konstruksi, serta pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya dalam memberikan masukan dalam perumusan kebijakan terkait manajemen

proyek infrastruktur. Dengan menerapkan metode CPM dan *time-cost trade-off*, penelitian ini dapat menjadi dasar dalam meningkatkan efektivitas manajemen proyek serta membantu berbagai pihak dalam mengembangkan strategi perencanaan yang lebih matang. Selain itu, penelitian ini juga berperan dalam memperkaya literatur mengenai metode optimasi proyek, khususnya dalam konteks industri konstruksi di Indonesia.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, pendekatan kuantitatif diterapkan melalui pengumpulan informasi, survei, dan observasi langsung pada proyek konstruksi X di Kecamatan Cerme. Data utama diperoleh dari kontraktor yang terlibat, mencakup perencanaan proyek, jadwal pelaksanaan, dan kendala yang dihadapi selama proses konstruksi. Untuk memfasilitasi analisis data dan visualisasi hasil, *Microsoft Excel* digunakan sebagai alat bantu dalam pengolahan data, pembuatan grafik, dan tabel yang relevan.

Langkah awal penelitian melibatkan penelitian lapangan untuk memahami kondisi aktual proyek. Selanjutnya, identifikasi masalah dilakukan dengan merumuskan permasalahan terkait perencanaan dan pelaksanaan proyek berdasarkan kontrak yang telah disepakati. Data proyek dikumpulkan secara rinci, termasuk jadwal perencanaan dan realisasi, guna mengidentifikasi perbedaan antara rencana dan pelaksanaan di lapangan.

Analisis perbandingan durasi rencana dan realisasi proyek dilakukan menggunakan pendekatan S-curve. Data yang dikumpulkan dianalisis melalui beberapa tahap, mulai dari penyusunan jadwal awal, pengumpulan data realisasi proyek, hingga penyesuaian rencana kerja jika ditemukan penyimpangan waktu. Penentuan jalur kritis proyek dilakukan dengan metode *critical path method* (CPM) untuk mengidentifikasi aktivitas yang memiliki dampak langsung terhadap durasi keseluruhan proyek. Selain itu, perhitungan

biaya dan waktu menggunakan metode *time-cost trade-off* diterapkan untuk mengevaluasi dampak percepatan waktu terhadap biaya proyek. Pendekatan serupa telah diterapkan dalam penelitian sebelumnya (Hikmah, 2024; Mandiyo, 2015).

Hasil dan Pembahasan

Gambaran Umum Proses Kegiatan Proyek

Proyek pembangunan perumahan Cerme X merupakan proyek konstruksi yang direncanakan selesai dalam 90 hari berdasarkan Surat Perintah Kerja (SPK) yang dikeluarkan oleh pengembang kepada kontraktor. Namun, dalam pelaksanaannya, proyek ini mengalami keterlambatan dan baru selesai dalam 100 hari. Pekerjaan dilakukan oleh tiga tenaga kerja, terdiri dari dua tukang ahli dan satu asisten atau kuli. Kontraktor proyek, berinisial A.C., bertanggung jawab atas pelaksanaan pembangunan, termasuk pengadaan tenaga kerja dan manajemen waktu.

Material konstruksi dipesan sesuai kebutuhan proyek melalui perusahaan konstruksi yang telah bekerja sama dengan kontraktor, sementara sebagian besar alat kerja disediakan oleh pengembang proyek. Informasi dasar mengenai tahapan pekerjaan, urutan kegiatan, serta estimasi waktu tercepat dan normal diperoleh melalui wawancara dengan kontraktor proyek. Data ini menjadi dasar dalam analisis jalur kritis dan optimasi biaya serta waktu menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time-Cost Trade-Off*.

Analisis Jaringan Kerja Waktu Normal Dengan Menggunakan CPM

Proses analisis jaringan kerja dengan waktu normal dilakukan menggunakan metode yang sama seperti pada analisis jaringan kerja dengan waktu percepatan. Berdasarkan ringkasan informasi terkait kinerja proyek serta data yang diperoleh dari berbagai informan yang terlibat dalam proyek,

jaringan kerja dengan durasi waktu normal disusun dan disempurnakan secara sistematis.

Dalam penyusunan jaringan kerja ini, setiap tahapan pekerjaan diidentifikasi secara rinci, termasuk hubungan antaraktivitas, durasi pelaksanaan masing-masing kegiatan, serta urutan pekerjaan yang harus dilakukan untuk mencapai efisiensi dalam proyek. Informasi yang dikumpulkan meliputi estimasi waktu pelaksanaan berdasarkan kondisi

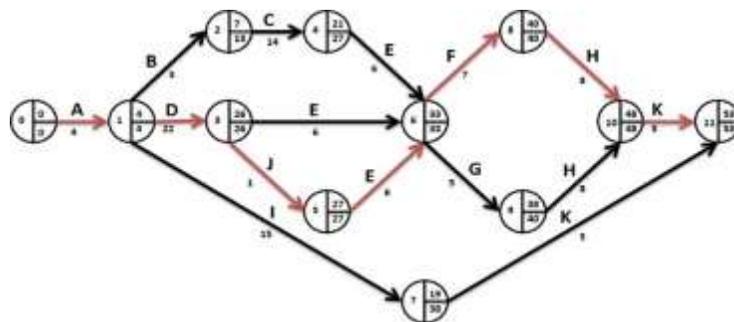
normal tanpa percepatan, serta potensi kendala yang dapat mempengaruhi jadwal proyek. Dengan analisis ini, jalur kritis dalam proyek dapat ditentukan, sehingga dapat diketahui aktivitas mana yang memiliki fleksibilitas dalam jadwal dan aktivitas mana yang harus diprioritaskan agar proyek dapat diselesaikan sesuai dengan target waktu yang telah ditetapkan. Tabel urutan aktivitas waktu normal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Urutan Aktivitas Waktu Normal
(Sumber: Proyek Pembangunan Perumahan Cerme X, 2019)

N O	URUTAN KEGIATAN	S. KEGIATAN	KEGIATAN SELANJUTNYA	DURASI NORMAL
1	Pekerjaan Persiapan	A	B,D,I	4 Hari
2	Pekerjaan Tanah	B	C,D	3 Hari
3	Pekerjaan Bata Ringan	C	E	14 Hari
4	Pekerjaan Beton	D	E	22 Hari
5	Pekerjaan Atap dan Plafond	E	H,J	6 Hari
6	Pekerjaan Kusen	F	K	7 Hari
7	Pekerjaan Keramik	G	I	5 Hari
8	Pekerjaan Cat	H	F,G	8 Hari
9	Pekerjaan Sanitair	I	F	15 Hari
10	Pekerjaan Listrik	J	H	1 Hari
11	Pekerjaan Lain Lain	K	---	5 Hari

Saat merencanakan proyek ini, mulai 10 Juni 2019 dan berakhir pada 8 September 2019, standar waktu yang digunakan adalah 90 hari kerja sesuai SPK

yang diterima kontraktor. Data urutan aktivitas waktu normal yang ditunjukkan pada Tabel 1 menjadi diagram jaringan cepat yang dpat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Jaringan Kerja Waktu Normal

sehingga diketahui data total *float* pada aktivitas waktu normal disajikan pada Tabel

2.

Tabel 2 Total *Float* pada Aktivitas Waktu Normal

AKTIVIT AS	RUMUS	TOTAL
A	$TF(0,1) = 4 - 0 - 4$	0
B	$TF(1,2) = 13 - 4 - 3$	6
C	$TF(2,4) = 27 - 7 - 14$	6
D	$TF(1,3) = 26 - 4 - 22$	0
E	$TF(5,6) = 33 - 27 - 6$	0
F	$TF(6,8) = 40 - 33 - 7$	0
G	$TF(6,9) = 40 - 33 - 5$	2
H	$TF(8,10) = 48 - 40 - 8$	0
I	$TF(1,7) = 38 - 4 - 15$	19
J	$TF(3,5) = 27 - 26 - 1$	0
K	$TF(10,11) = 53 - 48 - 5$	0

Identifikasi jalur kritis pada gambar di atas dan menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek pembangunan rumah tersebut. Diagram jaringan terdiri dari 7 (tujuh) jalur. Jalur diagram jaringan untuk durasi waktu normal disajikan sebagai berikut.

- A,B,C,E,F,H,K
- A,B,C,E,G,H,K
- A,D,E,F,H,K
- A,D,E,G,H,K
- A,D,J,E,F,H,K
- A,D,J,E,G,H,K
- A,I,K

Maka jalur kritisnya adalah A, D, J, E, F, H, K. Berdasarkan jalur kritis ini, pekerjaan persiapan, pekerjaan beton, pekerjaan instalasi listrik, pekerjaan atap dan langit-langit, pekerjaan rangka jendela, pengecatan, dan pekerjaan lainnya. Menentukan kapan proyek pembangunan rumah akan selesai sesuai dengan waktu yang

ditentukan dalam CPM. Untuk mengetahui seberapa cepat pekerjaan konstruksi berlangsung, tambahkan durasi setiap aktivitas jalur kritis dan kemudian didapatkan hasil 90 hari untuk penyelesaian proyek konstruksi pembangunan rumah.

Analisis Jaringan Kerja Waktu Cepat Dengan Menggunakan CPM

Proses analisis jaringan kerja dengan waktu percepatan dilakukan dengan metode yang sama seperti analisis jaringan kerja dengan waktu normal. Berdasarkan data aktivitas proyek yang telah dikumpulkan serta hasil penjadwalan ulang menggunakan metode *critical path method* (CPM) dan *time-cost trade-off*, jaringan kerja untuk durasi normal dan percepatan disusun guna melakukan perbandingan yang dapat dilihat pada Tabel 3.

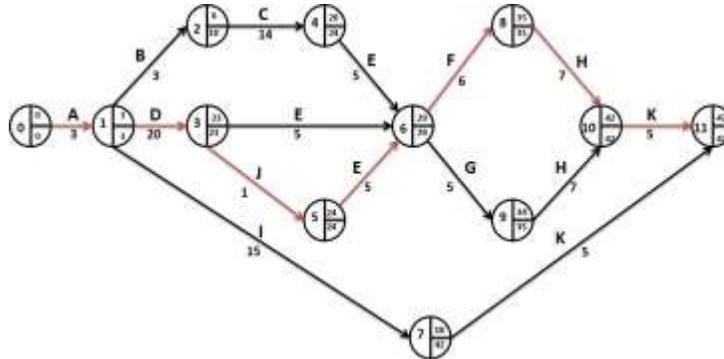
Tabel 3 Urutan

Aktivitas Waktu Cepat

NO	URUTAN KEGIATAN	S. KEGIATAN	KEGIATAN LANJUTAN	DURASI NORMAL	DURASI CEPAT
1	Pekerjaan Persiapan	A	B,D,I	4 Hari	3,5 Hari
2	Pekerjaan Tanah	B	C,D	3 Hari	3 Hari
3	Pekerjaan Bata Ringan	C	E	14 Hari	14 Hari
4	Pekerjaan Beton	D	E	22 Hari	20 Hari
5	Pekerjaan Atap dan Plafond	E	H,J	6 hari	5 Hari
6	Pekerjaan Kusen	F	K	7 Hari	6 Hari
7	Pekerjaan Keramik	G	I	5 Hari	5 Hari
8	Pekerjaan Cat	H	F,G	8 Hari	7 Hari
9	Pekerjaan Sanitair	I	F	15 Hari	15 Hari
10	Pekerjaan Listrik	J	H	1 Hari	1 Hari
11	Pekerjaan Lain Lain	K	---	5 Hari	4,5 Hari

Maka didapatkan hasil 84 (delapan puluh empat) hari kerja dicapai dalam waktu singkat dalam perencanaan proyek rumah ini yang dimulai pada tanggal 10 Juni 2019 dan berakhir

pada tanggal 2 September 2019. Tabel 3 dapat dirubah menjadi diagram jaringan cepat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Jaringan Kerja Waktu Cepat

sehingga diketahui data total float pada

aktivitas waktu cepat disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Total Float pada Aktivitas Waktu Cepat

AKTIVITAS	RUMUS	TOTAL
A	$TF(0,1) = 3 - 0 - 3$	0
B	$TF(1,2) = 10 - 3 - 3$	4
C	$TF(2,4) = 24 - 6 - 14$	4
D	$TF(1,3) = 23 - 3 - 20$	0

E	TF (5,6) = 29 – 24 – 5	0
F	TF (6,8) = 35 – 29 – 6	0
G	TF (6,9) = 35 – 29 - 5	1
H	TF (8,10) = 42 – 35 – 7	0
I	TF (1,7) = 42 – 3 – 15	24
J	TF (3,5) = 24 – 23 - 1	0
K	TF (10,11) = 47 – 42 –	0
	5	

Pada Gambar 2, identifikasi jalur kritis dan hitung berapa lama waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek pembangunan rumah tersebut. ditemukan jalur kegiatan kritis dan kemudian menghitung waktu kegiatan kerja menggunakan cara yang sama diagram jaringan kerja waktu standar. Perbandingannya terletak pada waktu penyelesaian kerja proyek yang berbeda. Selain itu, diagram jaringan waktu cepat memiliki 7 (tujuh) jalur kegiatan yang sama dengan diagram jaringan kerja waktu standar disajikan sebagai berikut.

- a. A,B,C,E,F,H,K
- b. A,B,C,E,G,H,K
- c. A,D,E,F,H,K
- d. A,D,E,G,H,K
- e. A,D,J,E,F,H,K
- f. A,D,J,E,G,H,K
- g. A,I,K

Bahkan jalur kritisnya juga sama yaitu. A, D, J, E, F, H, K. Berdasarkan jalur kritis ini, tidak ada aktivitas kritis lagi selain jalur kritis dari pekerjaan persiapan, pekerjaan beton, instalasi listrik, pekerjaan atap, kusen, pengecatan dan pekerjaan lainnya. Menentukan kapan proyek konstruksi pembangunan rumah akan selesai dengan waktu yang telah ditentukan dalam CPM. sehingga diketahui berapa lama yang diperlukan untuk menyelesaikan pembangunan, tambahkan semua durasi setiap kegiatan jalur kritis kemudian diperoleh waktu pekerjaan cepat 84 (delapan

puluh empat) hari untuk penyelesaian proyek pembangunan rumah tersebut.

Analisis dengan Metode *Time Cost Trade Off*

Metode *time-cost trade-off* digunakan dalam manajemen proyek untuk menganalisis hubungan antara waktu dan biaya dalam penyelesaian proyek. Metode ini bertujuan untuk menemukan keseimbangan optimal antara durasi proyek dan biaya yang dikeluarkan. Dengan memperdagangkan waktu dan mengorbankan biaya tambahan, proyek dapat diselesaikan lebih cepat dibandingkan dengan jadwal normalnya. Dalam penelitian ini, percepatan proyek dilakukan dengan cara meningkatkan jam lembur karyawan, sehingga durasi proyek dapat dipersingkat, tetapi dengan konsekuensi peningkatan biaya tenaga kerja.

Secara umum, pendekatan *time-cost trade-off* dilakukan dengan cara crashing, yaitu mempercepat aktivitas pada jalur kritis dengan menambah sumber daya, seperti tenaga kerja atau alat, yang akan meningkatkan biaya langsung proyek (Ahuja *et al.*, 1994; Setiawan, 2019). Namun, percepatan proyek harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak mengorbankan kualitas pekerjaan atau menyebabkan ketidakseimbangan dalam alokasi sumber daya (Kerzner, 2017; Yulianto, 2019). Perhitungan analisis dengan metode *time-cost trade-off* dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\frac{(Volume)}{(Prod.perjam \times jam \text{ kerja}) + (\sum jam \text{ lembur} \times penurunan \text{ prod} \times prod.perjam)} \tag{1}$$

Sehingga diketahui hasil dari metode *time cost trade off* dari penambahan waktu jam

kerja 1 hingga 3 jam kerja seperti pada Tabel 5-7.

Tabel 5 Durasi *Crashing* Akibat Penambahan 1 (Satu) Jam Kerja Lembur pada Waktu Normal

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	VOLUME	DURASI JAM KERJA	DURASI WAKTU NORMAL	DURASI AKIBAT <i>CRASHING</i> 1 JAM
1	Pekerjaan Persiapan	A	2.270	32Jam	4 Hari	3,5 Hari
2	Pekerjaan Beton	D	27.260	178Jam	22 Hari	20 Hari
3	Pekerjaan Atap dan Plafond	E	12.380	48Jam	6 Hari	5 Hari
4	Pekerjaan Kusen	F	10.460	56Jam	7 Hari	6 Hari
5	Pekerjaan cat	H	8.540	64Jam	8 Hari	7 Hari
6	Instalansi Listrik	J	2.230	8Jam	1 Hari	1 Hari
7	Pekerjaan Lain lain	K	830	40Jam	5 Hari	4,5 Hari

Tabel 6 Durasi *Crashing* Akibat Penambahan 2 (Dua) Jam Kerja Lembur pada Waktu Normal

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	VOLUME	DURASI JAM KERJA	DURASI WAKTU NORMAL	DURASI AKIBAT <i>CRASHING</i> 2 JAM
1	Pekerjaan Persiapan	A	2.270	32Jam	4 Hari	3 Hari
2	Pekerjaan Beton	D	27.260	178Jam	22 Hari	18 Hari
3	Pekerjaan Atap dan Plafond	E	12.380	48Jam	6 Hari	5 Hari
4	Pekerjaan Kusen	F	10.460	56Jam	7 Hari	5,5 Hari

5	Pekerjaan cat	H	8.540	64Jam	8 Hari	6,5 Hari
6	Instalansi Listrik	J	2.230	8Jam	1 Hari	1 Hari
7	Pekerjaan Lain lain	K	830	40Jam	5 Hari	4 Hari

Tabel 7 Durasi *Crashing* Akibat Penambahan 3 (Tiga) Jam Kerja Lembur pada Waktu Normal

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	VOLUME	DURASI JAM KERJA	DURAS	
					I WAKTU NORMAL	DURASI AKIBAT <i>CRASHING</i> 3 JAM
1	Pekerjaan Persiapan	A	2.270	32Jam	4 Hari	3 Hari
2	Pekerjaan Beton	D	27.260	178Jam	22 Hari	17,5 Hari
3	Pekerjaan Atap dan Plafond	E	12.380	48Jam	6 Hari	4,5 Hari
4	Pekerjaan Kusen	F	10.460	56Jam	7 Hari	5 Hari
5	Pekerjaan cat	H	8.540	64Jam	8 Hari	6 Hari
6	Instalansi Listrik	J	2.230	8Jam	1 Hari	1 Hari
7	Pekerjaan Lain lain	K	830	40Jam	5 Hari	4 Hari

Dari Tabel 5-7 dapat dilihat dengan penambahan 1 (satu) jam lembur menjadi 3 (tiga) jam lembur yang dapat menggambarkan durasi maksimum proyek adalah seperti di bawah ini:

1(satu) jam penambahan waktu kerja= 84 Hari.

2(dua) jam penambahan waktu kerja= 80 Hari.

3(tiga) jam penambahan waktu kerja= 78 Hari.

Biaya Crashin=Gaji pekerja/jam x Total pekerja x Tambahan jam lembur x Durasi waktu *crashing* (2)

Sehingga diketahui perhitungan biaya *crashing* seperti pada Tabel 8-10.

Perhitungan *Crash Cost*

A. Biaya *Crashing*

Biaya tambahan segera untuk melakukan aktivitas dalam kondisi *crashing* (dalam waktu sesingkat mungkin setelah aktivitas dilakukan). Rumus perhitungan biaya *crashing* pekerjaan persiapan ditambah 1 jam lembur dapat dilihat pada Persamaan 2.

Tabel 8 Perhitungan Biaya *Crashing* pada Aktivitas Kritis Akibat Penambahan 1 (Satu) Jam Lembur

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	BIAYA CRASHING
1	Pekerjaan Persiapan	A	Rp 190.000,-
2	Pekerjaan Beron	D	Rp 1.312.520,-
3	Pekerjaan Atap dan Plafond	E	Rp 328.130,-
4	Pekerjaan Kusen	F	Rp 393.756,-
5	Pekerjaan Cat	H	Rp 459.382,-
6	Pekerjaan Listrik	J	Rp 65.626,-
7	Pekerjaan Lain lain	K	Rp 295.317,-

Tabel 9 Perhitungan Biaya *Crashing* pada Aktivitas Kritis Akibat Penambahan 2 (Dua) Jam Lembur

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	BIAYA CRASHING
1	Pekerjaan Persiapan	A	Rp 590.622,-
2	Pekerjaan Beron	D	Rp 3.543.732,-
3	Pekerjaan Atap dan Plafond	E	Rp 984.370,-
4	Pekerjaan Kusen	F	Rp 1.082.807,-
5	Pekerjaan Cat	H	Rp 1.279.681,-
6	Pekerjaan Listrik	J	Rp 196.874,-
7	Pekerjaan Lain lain	K	Rp 787.496,-

Tabel 10 Perhitungan Biaya *Crashing* pada Aktivitas Kritis Akibat Penambahan 3 (Tiga) Jam Lembur

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	BIAYA CRASHING
1	Pekerjaan Persiapan	A	Rp 984.366,-
2	Pekerjaan Beron	D	Rp

			5.742.135.-
3	Pekerjaan Atap dan Plafond	E	Rp 1.476.549,-
4	Pekerjaan Kusen	F	Rp 1.640.610,-
5	Pekerjaan Cat	H	Rp 1.968.732,-
6	Pekerjaan Listrik	J	Rp 328.122,-
7	Pekerjaan Lain lain	K	Rp 1.312.488,-

Harga Kondisi Waktu Normal dan Harga Akibat Waktu Crashing

A. Biaya untuk kondisi normal

Harga diketahui dengan pasti bila kondisi biaya untuk durasi normal sebelum keruntuhan adalah 90 hari kerja sejak pelaksanaan proyek.

B. Biaya crashing

Pengeluaran diketahui secara akurat pada saat kondisi durasi normal runtuh setelah 1 (satu) jam - 3 (tiga) jam lembur. Untuk menentukan perhitungan total biaya untuk kondisi normal dan biaya penambahan jam kerja lembur 1 – 3 jam kerja menggunakan Persamaan 3-4 seperti di bawah ini.

Biaya Kondisi Normal

$$\text{Harga} = \text{Gaji pekerja per hari} \times \text{total pekerja} \times \text{durasi waktu normal} \quad (3)$$

Harga Kondisi waktu Crashing lembur

$$\text{Harga} = \text{Gaji pekerja perhari} \times \text{Total pekerja} \times \text{durasi waktu akibat crashing jam lembur} + \text{Biaya crashing akibat 1jam lembur} \quad (4)$$

Maka didapatkan hasil perhitungan Biaya Durasi Waktu Normal dan Durasi Akibat Crashing 1 (satu) jam lembur pada Tabel 11-13.

Tabel 11. Perhitungan Biaya Durasi Waktu Normal dan Durasi Akibat Crashing 1 (Satu) Jam Lembur

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	DURASI WAKTU NORMAL	BIAYA DURASI AKIBAT CRASHING	SELISIH
1	Pekerjaan Persiapan	A	Rp 1.400.000,-	Rp 977.500,-	Rp 422.500,-
2	Pekerjaan Beton	D	Rp 7.700.000,-	Rp 8.312.520,-	-Rp 612.520,-
3	Pekerjaan Plafond dan Atap	E	Rp 2.100.000,-	Rp 2.078.130,-	Rp 21.870,-
4	Pekerjaan Kusen	F	Rp 2.450.000,-	Rp 2.493.756,-	-Rp 45.756,-
5	Pekerjaan Cat	H	Rp 2.800.000,-	Rp 2.909.382,-	-Rp 109.382,-

6	Pekerjaan Listrik	J	Rp 350.000,-	Rp 415.626,-	-Rp 65.626,-
7	Pekerjaan Lain lain	K	Rp 1.750.000,-	Rp 1.870.315,-	-Rp 120.315,-

Tabel 12 Perhitungan Biaya Durasi Waktu Normal dan Durasi Akibat Crashing 2 (Dua) Jam Lembur

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	BIAYA		
			DURASI WAKTU NORMAL	DURASI AKIBAT CRASHING	SELISIH
1	Pekerjaan Persiapan	A	Rp 1.400.000,-	Rp 1.640.622,-	-Rp 240.622,-
2	Pekerjaan Beton	D	Rp 7.700.000,-	Rp 9.843.732,-	-Rp 2.143.732,-
3	Pekerjaan Plafond dan Atap	E	Rp 2.100.000,-	Rp 2.734.370,-	-Rp 634.370,-
4	Pekerjaan Kusen	F	Rp 2.450.000,-	Rp 3.007.807,-	-Rp 557.807,-
5	Pekerjaan Cat	H	Rp 2.800.000,-	Rp 3.554.681,-	-Rp 754.682,-
6	Pekerjaan Listrik	J	Rp 350.000,-	Rp 546.874,-	-Rp 196.874,-
7	Pekerjaan Lain lain	K	Rp 1.750.000,-	Rp 2.187.469,-	-Rp 437.467,-

Tabel 13 Perhitungan Biaya Durasi Waktu Normal dan Durasi Akibat Crashing 3 (Tiga) Jam Lembur

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	BIAYA		
			DURASI WAKTU NORMAL	DURASI AKIBAT CRASHING	SELISIH
1	Pekerjaan Persiapan	A	Rp 1.400.000,-	Rp 2.034.366,-	-Rp 634.366,-
2	Pekerjaan Beton	D	Rp 7.700,-	Rp 11.867.135,-	-Rp 4.167.135,-
3	Pekerjaan Plafond dan Atap	E	Rp 2.100.000,-	Rp 3.051.549,-	-Rp 951.549,-
4	Pekerjaan Kusen	F	Rp 2.450.000,-	Rp 3.390.610,-	-Rp 940.610,-
5	Pekerjaan Cat	H	Rp 2.800.000,-	Rp 4.068.732,-	-Rp 1.268.732,-
6	Pekerjaan Listrik	J	Rp 350.000,-	Rp 678.122,-	-Rp 328.122,-
7	Pekerjaan Lain lain	K	Rp 1.750.000,-	Rp 2.712.488,-	-Rp 962.488,-

Tabel berikut merupakan perhitungan biaya dalam kondisi normal untuk aktivitas yang tidak berada pada jalur kritis dalam kondisi

kontinu normal yang dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14 Perhitungan Biaya Durasi Waktu Normal Pada Aktivitas yang Tidak Berada di Jalur Kritis

NO	URUTAN AKTIVITAS	SIMBOL AKT.	DURASI	BIAYA WAKTU NORMAL
1	Pekerjaan Tanah	B	Rp	1.050.000,-
2	Pekerjaan Bata Ringan	C	Rp	4.900.000,-
3	Pekerjaan Sanitair	I	Rp	1.750.000,-
4	Pekerjaan Keramik	G	Rp	5.250.000,-

Dari Tabel 14 terlihat bahwa dengan penambahan 1 (satu) jam lembur hingga 3 (tiga) jam lembur, juga dapat dilihat perbedaan biaya proyek maksimum akibat percepatan sebagai berikut.

Durasi waktu normal tanpa penambahan jam lembur = Rp. 31.500.000,-

1 (satu) jam penambahan waktu lembur = Rp. 32.007.229,-

2 (dua) jam penambahan waktu lembur = Rp. 36.465.555,-

3 (tiga) jam penambahan waktu lembur = Rp. 40.753.002,-

menunjukkan bahwa kenaikan biaya tetap berada dalam batas yang dapat diterima, yaitu dari Rp. 31.500.000,- (tanpa percepatan) menjadi Rp. 32.007.229,- untuk 1 jam lembur, Rp. 36.465.555,- untuk 2 jam lembur, dan Rp. 40.753.002,- untuk 3 jam lembur.

Implikasi dari penelitian ini adalah bahwa metode CPM dan *time-cost* trade-Off dapat menjadi strategi yang efektif bagi kontraktor dalam merencanakan percepatan proyek tanpa menyebabkan lonjakan biaya yang tidak terkendali. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi pengembang dan kontraktor dalam menentukan kebijakan optimal untuk pengelolaan waktu dan biaya proyek konstruksi. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menganalisis lebih lanjut variabel yang berkontribusi terhadap keterlambatan proyek serta faktor yang dapat meningkatkan produktivitas tenaga kerja. Sementara itu, pengembang atau developer diharapkan dapat mengimplementasikan metode CPM dan PERT secara lebih efektif

SIMPULAN

Berdasarkan analisis percepatan waktu dan biaya dengan metode Critical Path Method (CPM), Re-Scheduling Kurva-S, dan Time Cost Trade-Off pada proyek pembangunan rumah di Perumahan X, penelitian ini menemukan bahwa proyek memiliki tujuh lintasan kritis dalam kondisi normal maupun percepatan. Aktivitas kritis ini mencakup pekerjaan persiapan, beton, instalasi listrik, atap dan plafon, kusen, pengecatan, serta pekerjaan lainnya.

Temuan utama penelitian menunjukkan bahwa proyek yang semula direncanakan selesai dalam 90 hari mengalami keterlambatan hingga 100 hari. Namun, dengan penerapan metode CPM dan Time-Cost Trade-Off, durasi proyek dapat dipersingkat menjadi 84 hari dengan 1 jam lembur per hari, 80 hari dengan 2 jam lembur, dan 78 hari dengan 3 jam lembur. Meskipun percepatan ini meningkatkan biaya konstruksi, perhitungan

dalam perencanaan serta pemantauan proyek di masa mendatang guna meningkatkan efisiensi dan efektivitas pelaksanaan konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahuja, H. N., Dozzi, S. P., & AbouRizk, S. M. (1994). *Project Management: Techniques in Planning and Controlling*. John Wiley & Sons
- Aibinu, A. A., & Jagboro, G. O. (2019). The effects of construction delays on project delivery in Nigerian construction industry. *International Journal of Project Management*, 20(8), 593-599.
- Dewi, M. K., & Santoso, R. (2023). Manajemen Waktu dan Biaya pada Proyek Perumahan di Jakarta. *Jurnal Manajemen Konstruksi Indonesia*, 5(2), 122-134.
- Hendrickson, C. (2021). *Project management for construction: Fundamental concepts for owners, engineers, architects, and builders* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Hikmah, S. N. N. (2024). Penjadwalan Ulang Menggunakan Critical Path Method (CPM) dan Time Cost Trade Off (TCTO) pada Proyek Reparasi Kapal Camara Nusantara 5. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(1). [https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ naval/article/view/42859](https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/42859)
- Ilwaru, V.Y.I, Rahakbauw, D. L., and J. Tetimelay. (2018). Penjadwalan Waktu Proyek Pembangunan Rumah Dengan Menggunakan Cpm (Critical Path Method). *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 12 (2), pp. 061–068.
- Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). Wiley.
- Kusuma, A., & Fajar, M. (2022). Studi Kasus Penerapan Manajemen Proyek dalam Pembangunan Infrastruktur. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 13(1), 33-47.
- Lestari, A. P., & Nugroho, D. (2020). Implementasi Value Engineering pada Proyek Jalan Tol. *Jurnal Transportasi dan Infrastruktur*, 11(1), 55-68.
- Mandiyo, P. (2015). Aplikasi Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Konstruksi: Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Indonesia. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 9(2), 123-130. <https://journal.umy.ac.id/index.php/st/article/view/703/853>
- Nicholas, J. M., & Steyn, H. (2020). *Project Management for Engineering, Business and Technology*. Routledge.
- Ogunlana, S. O. (2020). Factors affecting project delays in developing countries: The case of Thailand. *Construction Management and Economics*, 18(1), 15-30.
- Putri, S. N., & Ramadhan, R. (2019). Evaluasi Keterlambatan Proyek Konstruksi di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 15(1), 45-56.
- Rahman, A. A., & Wijaya, H. (2020). Optimalisasi Manajemen Konstruksi Menggunakan Metode CPM dan PERT. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 10(2), 100-110.
- Saputra, D., & Hasan, B. (2021). Analisis Risiko pada Proyek Infrastruktur Menggunakan Metode Monte Carlo. *Jurnal Infrastruktur Indonesia*, 8(3), 67-78.
- Setiawan, F., & Hidayat, A. (2019). Pengaruh Kualitas Manajemen terhadap Keberhasilan Proyek Konstruksi. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(2), 78-89.
- Smith, J., Brown, K., & Wilson, L. (2020). Evaluating construction project efficiency: A case study approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(6), 04020050.
- Surya, R., & Permana, T. (2018). Evaluasi Efisiensi Proyek dengan Metode Time-Cost Trade-Off. *Jurnal Teknik dan Manajemen Konstruksi*, 9(3), 112-124.

- Wibowo, Y., & Prasetyo, L. (2022). Studi Perbandingan Metode CPM dan Lean Construction pada Proyek Gedung. *Jurnal Teknik Sipil Nasional*, 7(4), 99-111.
- Yulianto, B., & Wijaya, P. (2021). Efektivitas Penerapan Manajemen Risiko dalam Proyek Pembangunan Gedung. *Jurnal Teknologi Konstruksi*, 6(2), 44-59.