

# Implementasi Metode *Time Cost Trade-Off* Pembangunan Gedung Pabrik Manufaktur

## (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Pabrik PT. Atmi Kreasi Prima)

Fajar Maulana<sup>1</sup>, T.N. Handayani<sup>1</sup>, Djoko Sulistyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

e-mail : [fajarmaulana2598@mail.ugm.ac.id](mailto:fajarmaulana2598@mail.ugm.ac.id)<sup>1</sup>, [tantri.n.h@ugm.ac.id](mailto:tantri.n.h@ugm.ac.id)<sup>1</sup>

### INTISARI

Keterlambatan proyek berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi (*loss of opportunities*) bagi *owner*, termasuk penundaan operasional bangunan dan hilangnya kesempatan menghasilkan pendapatan. Apabila terjadi keterlambatan, kontraktor akan menghadapi masalah berupa pelanggaran kontrak karena tidak mampu menyelesaikan proyek secara tepat waktu. Solusi yang efektif adalah mempercepat jadwal proyek dengan tetap mempertahankan biaya seminimal mungkin, sehingga tercapai efisiensi waktu dan biaya. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan percepatan waktu dan biaya berdasarkan produktivitas kontraktor dan percepatan biaya dan waktu berdasarkan wawancara responden. Salah satu metode percepatan jadwal proyek yaitu *time cost trade off* - (TCTO) . Analisis ini dimulai dengan studi literatur terkait *time cost trade off* - (TCTO) dan pengumpulan data biaya, jadwal, serta produktivitas dari kontraktor. Selanjutnya dilakukan wawancara dengan 31 expert untuk memvalidasi perubahan durasi dan biaya proyek akibat percepatan. Baik data produktivitas kontraktor maupun data dari expert selanjutnya disimulasikan dalam konsep *Time Cost Trade Off*. Hasil analisis berdasarkan produktivitas kontraktor menunjukkan bahwa proyek yang direncanakan selama 103 minggu dapat dipercepat menjadi 84 minggu, sedangkan data dari expert menunjukkan percepatan hanya sampai 86 minggu. Namun begitu, biaya percepatan kontraktor sebesar Rp 8.864.640.563 dan percepatan dari expert Rp 7.253.294.838. Penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan oleh manajemen konstruksi pabrik dalam proses optimasi biaya dan waktu untuk menghindari kerugian materi maupun moral.

Kata kunci: Durasi, Biaya , *trade off*, Konstruksi Pabrik

### 1 PENDAHULUAN

Kawasan Industri Kendal (KIK) memiliki luas mencapai 2.200 hektar merupakan wilayah strategis perekonomian nasional khususnya di Jawa Tengah. Keberadaan Kawasan ini berhasil menarik investor asing dan memulai pabriknya di Indonesia sehingga mampu membuka banyak lapangan pekerjaan bagi masyarakat sekitar. Investasi asing yang masuk telah disambut baik oleh para pelaku usaha konstruksi sebagai bagian dari rantai bisnis. Salah satu tantangan yang dihadapi adalah penyelesaian waktu proyek yang lebih cepat sehingga perlu dilakukan suatu metode percepatan yang tidak hanya mempertimbangkan waktu, tetapi juga biaya (Yilmaz et al., 2023).

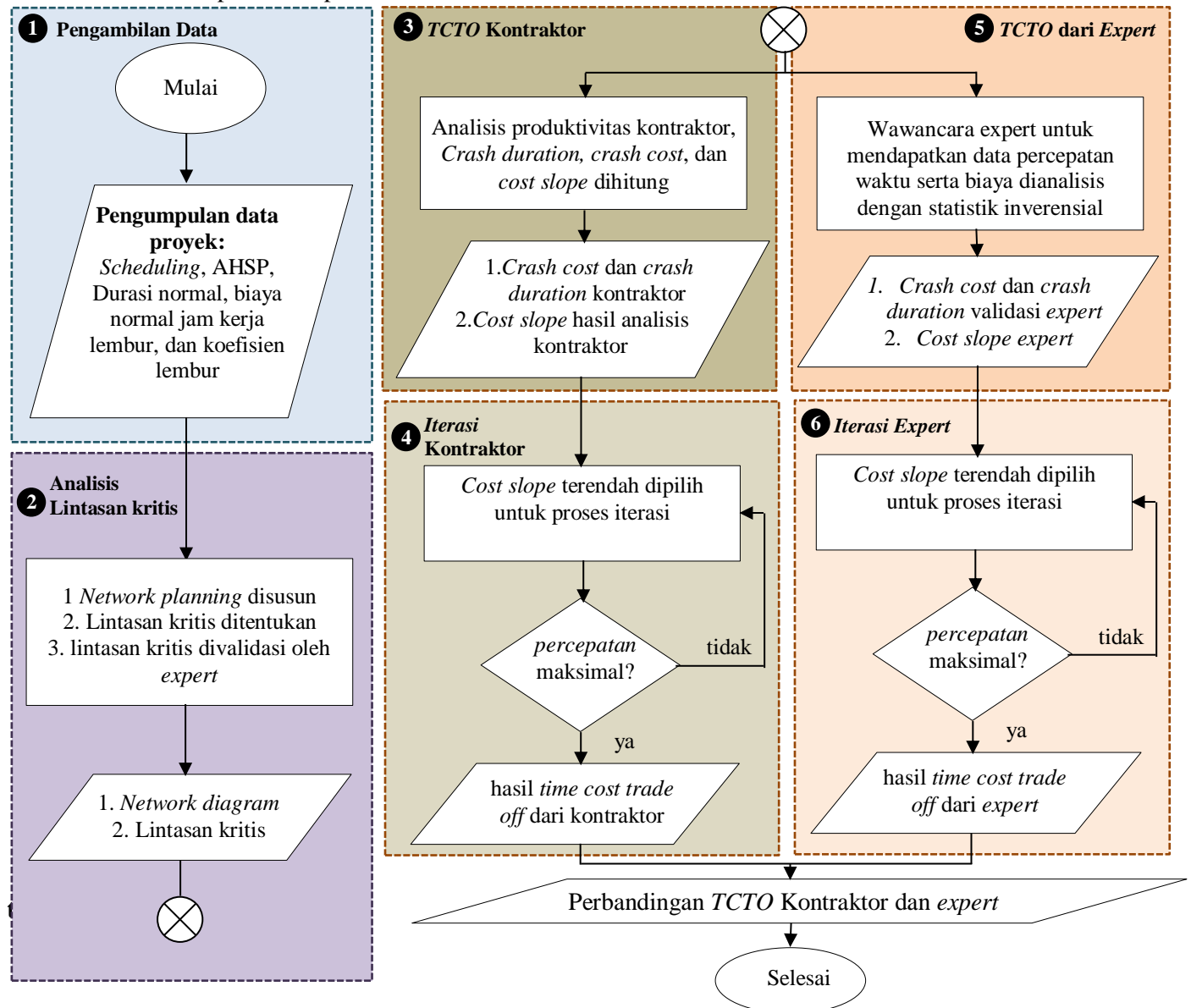
Dalam konteks *Time-Cost Trade Off* (TCTO), salah satu strategi percepatan proyek adalah melalui penambahan jam lembur. Penelitian terdahulu TCTO menunjukkan bahwa dengan penambahan tenaga kerja pada konstruksi gedung dapat mempercepat proyek sebesar 25% dari durasi perencanaan (Malifa et al., 2019). Proyek yang mirip dipercepat dengan menambah indeks tenaga kerja sebesar 25% dapat meningkatkan efisiensi waktu sebesar 0,03% dan efisiensi biaya sebesar 0,07% dari perencanaan (Musa, 2022). Proyek lain dilakukan skenario percepatan dengan penambahan jam lembur 1 jam dan 3 jam menghasilkan penambahan 3 jam kerja lebih efisien, dengan penghematan biaya 89,31% dan pengurangan waktu 41,55% dari kondisi normal (Nabila, 2023). Penelitian lain menunjukkan adanya penerapan *time cost trade off* (TCTO) untuk mempercepat durasi sebanyak 15,7% dan kenaikan biaya sebanyak 4,2% berdasarkan wawancara dari kontraktor (Azzahra et al., 2024). Penelitian lain melalui wawancara *stakeholder* menemukan bahwa penerapan *Time-Cost Trade Off* (TCTO) dapat memperpendek durasi proyek sebesar 0,6% dari jadwal normal, dengan konsekuensi kenaikan biaya sebesar 3,1% dari anggaran awal (Adi et al., 2016). Penelitian *time cost trade off* (TCTO) membandingkan dua strategi percepatan proyek: (1) penerapan jam lembur dan (2) sistem kerja shift. Hasil analisis menunjukkan bahwa proyek yang menerapkan shift kerja mampu mengurangi durasi hingga 39% dibandingkan jadwal normal, sementara metode lembur hanya mencapai percepatan 22% (Jayantari et al., 2022).

Metode TCTO dapat digunakan untuk menganalisis keterlambatan proyek dimana dapat menunjukkan kemungkinan keterlambatan. Suatu penelitian menerapkan *Time-Cost Trade-Off* (TCTO) untuk meminimalkan

keterlambatan proyek gedung beton bertulang. Hasil analisis menunjukkan bahwa strategi TCTO berhasil mengurangi potensi keterlambatan hingga 0.03% dari total durasi, dengan kompensasi kenaikan biaya hanya 0.26% dari anggaran awal (Saputra et al., 2023). Penelitian diatas menunjukkan bahwa TCTO dapat digunakan untuk mensimulasikan percepatan dengan berbagai skenario. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tidak hanya mempertimbangkan *expert adjustment*, tetapi juga mempertimbangkan produktivitas dari kontraktor. Selain itu, penelitian dahulu selalu menggunakan gedung beton bertulang, dimana pembahasan mengenai baja masih terbatas. Hal tersebut menjadi alasan studi kasus dalam penelitian ini diambil proyek konstruksi baja.

## 2 METODE PENELITIAN

Metode Penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut:



**Gambar 2.1** Diagram alir penelitian

### 2.1 Pengambilan data

Lokasi penelitian dilakukan di Kawasan Industri Kendal (KIK) pada sebuah gedung pabrik struktur baja dengan luas bangunan 16.574,2 m<sup>2</sup> dengan nilai proyek Rp 19.230.772.370. Analisis data pada pekerjaan gedung pabrik manufaktur dilakukan menggunakan data scheduling, Harga Satuan Pekerjaan (HSP), biaya normal, biaya kerja lembur, jam kerja normal, jam kerja lembur, serta koefisien lembur.

## 2.2 Analisis Lintasan Kritis

Setelah didapatkan data lapangan yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan analisis lintasan kritis sesuai data durasi dan *predecessor* pada setiap pekerjaan kemudian dilakukan verifikasi *network* diagram oleh *expert* melalui proses wawancara kepada 3 orang *expert*. *Expert* tersebut berpengalaman dalam mengerjakan konstruksi baja sebagai kontraktor maupun konsultan yang berpengalaman selama 5 tahun keatas. Hasil dari analisis lintasan kritis tersebut digunakan sebagai dasar pada analisis *time cost trade off* pada tahap selanjutnya

## 2.3 TCTO berdasarkan kontraktor

Nilai produktivitas dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai produktivitas harian dan produktivitas lembur sesuai dengan koefisien yang telah ditentukan oleh kontraktor. Kebijakan jam lembur yang digunakan oleh kontraktor mengikuti standar lembur Undang-Undang Kemenaker RI NOMOR KEP.102 /MEN/VI/2004 sebagai berikut:

jam kerja Normal : 08.00-16.00 WIB atau 8 jam

Jam istirahat : 12.00-13.00 WIB

Jam Lembur : 17.00-22.00 atau 4 jam kerja

Koef. Lembur : 0,6

Hasil produktivitas total digunakan untuk menghitung percepatan waktu (*crash duration*). *Crash duration* merupakan total waktu percepatan yang dapat dilakukan pada aktivitas kritis sehingga proyek secara keseluruhan dapat dipercepat (Farida & Anenda, 2022). Rumus menentukan *Crash Duration* (CD) ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$CD = \frac{Vol. pekerjaan}{(ph+pl)} \quad (1)$$

Persamaan tersebut menunjukkan *ph* sebagai produktivitas per hari dan *pl* sebagai produktivitas lembur.

Proses selanjutnya adalah penentuan *crash cost*. Dalam menghitung *Crash Cost* dibutuhkan informasi upah pekerja/hari, upah lembur, yaitu sebesar 1,25 kali dari gaji per jam dan total upah /hari maka Nilai *Crash Cost* (CC) dihitung dengan persamaan:

$$CC = T_u \times (P_h + P_l) \times CD \quad (2)$$

*Cost slope* atau kemiringan biaya adalah perbandingan antara pertambahan biaya dan percepatan waktu penyelesaian proyek. Sebelum dilakukan proses iterasi. *Cost slope* (CS) dihitung dengan persamaan berikut (Prabowo, 2023):

$$CS = \frac{(CC-NC)}{(ND-CD)} \quad (3)$$

## 2.4 TCTO berdasarkan Expert

Setelah mengumpulkan data teknis proyek (item pekerjaan, biaya normal, durasi normal, dan *network* diagram), tahap berikutnya melibatkan wawancara dengan 31 responden. Tujuannya adalah memahami persepsi praktisi mengenai batas maksimal percepatan waktu dan kenaikan biaya yang realistis menurut pengalaman mereka. Profil responden yang ditargetkan adalah *project manager*, *engineer*, konsultan, dan mandor dengan rentang pengalaman <2 tahun, 2-5 tahun, 5-10 tahun, dan >10 tahun. Hasil data yang telah dikumpulkan selanjutnya dilakukan analisis statistik inferensial dengan menghitung rata-rata percepatan durasi dan penambahan biaya pada setiap pekerjaannya.

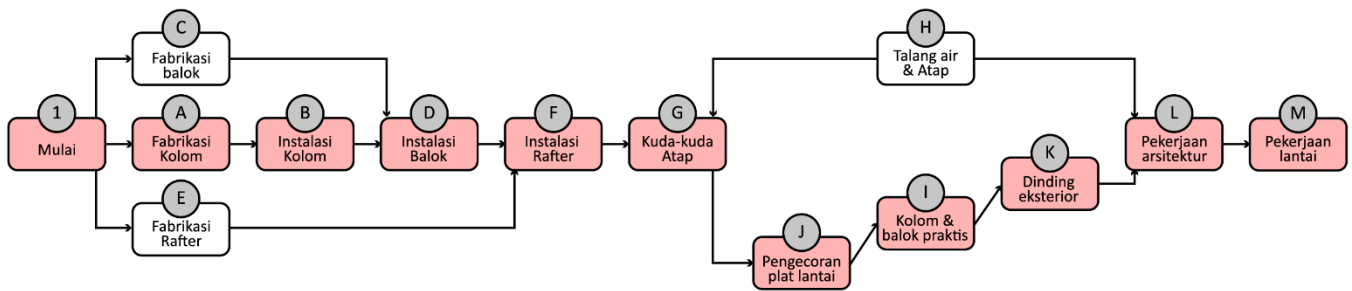
## 2.5 Proses Iterasi dan Hasil

Setelah didapatkan *cost slope* dilakukan proses iterasi pada TCTO kontraktor maupun *Expert*. Proses iterasi dilakukan dua kali yaitu proses *normal to crash* dan *crash to normal*. Untuk melakukan iterasi pertama, dipilih aktivitas kritis dengan *cost slope* terendah sehingga didapat penambahan biaya paling sedikit. Proses iterasi dilakukan secara terus menerus hingga didapatkan *time cost trade-off* paling optimal.

# 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

## 3.1 Analisis Lintasan Kritis

Penentuan lintasan kritis bergantung pada *predecessor* dan durasi proyek pada setiap pekerjaan. Pembuatan *predecessor* dan lintasan kritis dapat dilihat pada gambar **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 network Diagram

Hasil penyusunan *predecessor* setelah berdiskusi dengan *expert* yang mempertimbangkan unsur *safety* pada pekerjaan atap dan lantai bawah. Seperti pada pekerjaan kuda kuda atap didahulukan sebelum dilakukan pengecoran plat lantai. Lintasan kritis digambarkan pada kotak pekerjaan berwarna merah dan kemungkinan kecil terjadi perubahan lintasan kritis, sebab pada pekerjaan C dan E memiliki durasi yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan pekerjaan A dan B maupun pekerjaan A hingga D. selain itu pekerjaan J,I, dan K jika ditotal jumlahnya jauh lebih banyak dibandingkan hanya dengan pekerjaan H.

### 3.2 Hasil TCTO berdasarkan Kontraktor

Sebagai contoh analisis berdasarkan data kontraktor pada pekerjaan A setelah dilakukan perhitungan produktivitas harian dan lembur, dapat dilakukan langkah *crash duration* sebagai berikut:

#### Crash duration

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Volume}}{(\text{prod./hari} + \text{prod.lembur}) \times 6} \\
 &= \frac{96.569}{(1.147 + 393,12) \times 6} \\
 &= 11 \text{ Minggu}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan *crash cost* pada contoh pekerjaan A:

$$\begin{aligned}
 \text{Upah /jam (up)} &= \frac{\text{Rp } 23.361}{7 \text{ jam kerja}} \\
 &= \text{Rp } 3.337 \\
 \text{Upah Lembur (ul)} &= \left( \frac{\text{Rp } 9.900}{7} \times 4 \text{ jam} \times 1,25 \right) + \left( \frac{\text{Rp } 10.414}{7} \times 4 \right) \\
 &= \text{Rp } 13.022 \\
 \text{Total Upah (tu)} &= \text{Rp } 13.022 + (\text{Rp } 3.337 \times 7 \text{ jam kerja}) \\
 &= \text{Rp } 36.383
 \end{aligned}$$

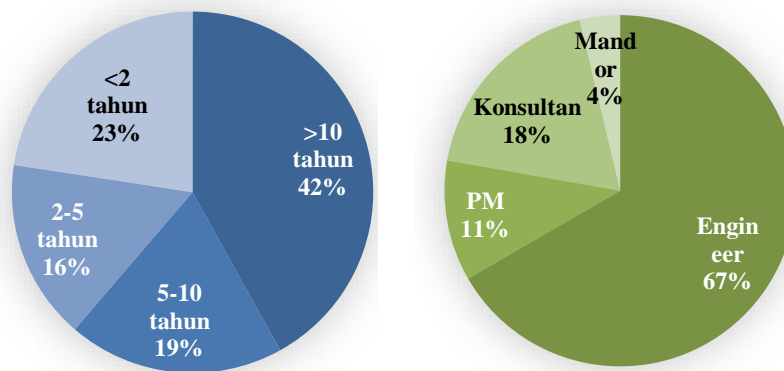
Setelah perhitungan upah harian dan upah lembur, dapat dilakukan perhitungan *crash cost* di bawah ini

$$\begin{aligned}
 \text{Crash Cost (CC)} &= \text{Rp } 36.383 \times (1.147 + 393,12) \times 6 \text{ hari} \times 11 \text{ minggu} + (\text{biaya material}) \\
 &= \text{Rp } 5.758.894.729
 \end{aligned}$$

Proses perhitungan ini dilakukan pada setiap pekerjaan.

### 3.3 Hasil TCTO berdasarkan Expert

Wawancara dilakukan kepada responden sebanyak 31 responden dengan pengalaman dan latar belakang yang beragam. Diagram *pie* di bawah ini menunjukkan responden didominasi oleh *engineer* dengan pengalaman kerja > 10 tahun. Klasifikasi rasio jumlah responden ditunjukkan pada **Gambar 3.2**

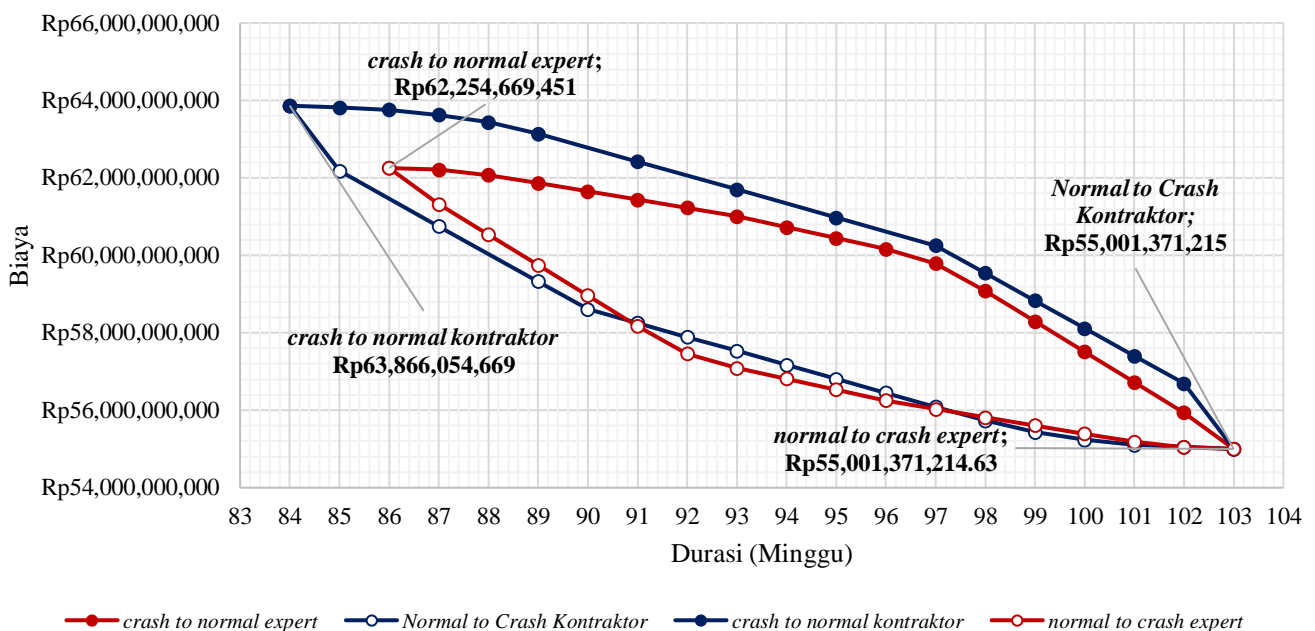


**Gambar 3.2** Diagram *pie* persentase profil responden

Data yang didapat dari *expert* lalu dilakukan statistik inersia dengan cara menghitung rata-rata waktu dan biaya pada masing-masing pekerjaan.

### 3.4 Proses Iterasi

Hasil iterasi *TCTO* data kontraktor dan *expert* dapat digambarkan pada grafik yang terdapat pada **Gambar 3.3** berikut:



**Gambar 3.3** Grafik *time cost trade off* berdasarkan *expert* dan kontraktor

Grafik di atas menggambarkan perbandingan hasil analisis *time cost trade off* waktu dan biaya berdasarkan data dari kontraktor dan *expert*. Hasil analisis menunjukkan bahwa berdasarkan data kontraktor, pekerjaan dapat dipercepat hingga 84 minggu, dengan delta biaya sebesar Rp 8.864.683.454. Sementara menurut persepsi *expert*, percepatan dapat dilakukan menjadi 86 minggu dengan delta biaya sebesar Rp 7.253.298.236. Percepatan yang dilakukan kontraktor lebih optimis dibandingkan persepsi *expert*. Selama periode percepatan dari 103 minggu hingga 91 minggu, grafik *normal to crash* dari *expert* dan data kontraktor memiliki nilai delta biaya yang mirip sehingga grafiknya landai. Namun, pada minggu 91 hingga minggu 86 grafik *normal to crash* dari *expert* nilai delta biayanya membesar, dimana persepsi *expert* menunjukkan biaya yang lebih tinggi dibandingkan analisis data kontraktor. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pendekatan *expert* lebih hemat biaya (menghemat Rp1,61 miliar) meskipun durasinya 2 minggu lebih lama. Untuk Proyek dengan toleransi waktu, skenario *expert* (86 minggu) lebih menguntungkan karena mengoptimalkan biaya sedangkan proyek yang sangat terikat waktu, skenario kontraktor (84 minggu) dapat dipertimbangkan jika nilai strategis 2 minggu lebih cepat melebihi Rp1,61 miliar. Manajer proyek

perlu mempertimbangkan risiko kualitas dan produktivitas. Percepatan ekstrem berpotensi menyebabkan kelelahan tenaga kerja, penurunan kualitas, atau ketidakstabilan jadwal.

#### 4 KESIMPULAN

Proyek yang terlambat berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi (*loss of opportunities*) bagi owner, termasuk penundaan operasional bangunan dan hilangnya kesempatan menghasilkan pendapatan. Penelitian ini mengkaji strategi percepatan proyek *time-cost trade-off* (TCTO) dengan membandingkan dua pendekatan: berdasarkan produktivitas kontraktor dan rekomendasi *experti*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kontraktor dapat mempercepat proyek dari durasi normal selama 103 minggu menjadi 84 minggu dengan biaya Rp 8.864.640.563, sementara rekomendasi ahli lebih efisien, yakni 86 minggu dengan biaya Rp 7.253.294.838. Temuan ini membuktikan bahwa pendekatan berbasis expert mampu mengurangi biaya percepatan secara signifikan. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan acuan kuantitatif bagi manajer proyek dalam mengevaluasi opsi percepatan, sekaligus menegaskan pentingnya pertimbangan ahli untuk optimasi biaya. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan, yakni belum mempertimbangkan penambahan tenaga kerja atau penerapan shift kerja, yang berpotensi memberikan alternatif percepatan lebih fleksibel. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan eksplorasi skenario percepatan dengan variasi penambahan tenaga kerja dan jam kerja *shift*. Selain itu, dapat dikembangkan integrasi dengan *tools scheduling* yang lebih dinamis seperti BIM atau *machine learning* untuk meningkatkan akurasi simulasi. Studi lanjutan juga dapat mempertimbangkan faktor risiko dan produktivitas kerja saat mengevaluasi *time-cost trade-off* (TCTO) agar rekomendasi yang dihasilkan lebih komprehensif. Dengan demikian, penelitian mendatang akan mampu menyempurnakan strategi percepatan proyek secara lebih akurat.

#### REFERENSI

- Adi, R. R. B., Traulia, D. E., Wibowo, M. A., & Kistiani, F. (2016). Analisa Percepatan Proyek Method Crash Program (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Mixed Use Sentraland). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 5(2), 148–158.
- Azzahra, Y., Lusiana, L., Rafie, R., Syahrudin, S., & Nuh, S. M. (2024). Time Cost Trade Off Analysis on Project Acceleration With Additional Working Hours (Overtime) (Case Study: Building Rehabilitation Project on Dekranasda Hall of West Kalimantan). *Jurnal Teknik Sipil*, 23(4), 564. <https://doi.org/10.26418/jts.v23i4.71535>
- Farida, Y., & Anenda, L. P. (2022). Network Planning Analysis on Road Construction Projects by CV. X Using Evaluation Review Technique (PERT) – Critical Path Method (CPM) and Crashing Method. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(4), 377–390. <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.04.029>
- Jayantari, M. W., Predana, I. M. A., & Wade, Y. R. (2022). Analisis Biaya Serta Percepatan Durasi Proyek Menggunakan Metode Crashing dengan Sistem Waktu Gilir Kerja dan Lembur (Studi Kasus: Puskesmas Wolowaru, Kabupaten Ende). *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 1(1), 20–26. <https://doi.org/10.38043/reinforcement.v1i1.4098>
- Malifa, Y., Dundu, A. K. T., & Malingkas, G. Y. (2019). Konstruksi Menggunakan Metode Crashing ( Studi Kasus : Pembangunan Rusun IAIN Manado ). *Jurnal Sipil Statik*, 7(6), 681–688.
- Musa, R. (2022). Kajian Percepatan Durasi Pelaksanaan Pembangunan Gedung Utama Kantor Kementerian Agama Kabupaten Mamuju Pasca Gempa Provinsi Sulawesi Barat. *Jurnal Konstruksi: Teknik, Infrastruktur Dan Sains*, 1(6), 20–29.
- Nabila, F. (2023). A Analysis of Time and Cost Optimization in Building Contruction Using Time Cost Trade Off Method. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 4(2), 199–210. <https://doi.org/10.37253/jcep.v4i2.8662>
- Prabowo, P. P. (2023). Analisis Percepatan Waktu dan Biaya Konstruksi dengan Penambahan Jam Kerja ( Lembur ) Menggunakan Metode Time Cost Trade Off ( Studi Kasus Proyek Pembangunan Rumah Tinggal di Jalan Salak Kota Tegal ). *Era Sains: Jurnal Penelitian Sains, Keteknikan Dan Informatika*, 1(3), 122–132.
- Saputra, A. G., Diantoro, W., Taufiq, M., Khamid, A., & Wahidin. (2023). Pengendalian Biaya dan Waktu pada Proyek Pembangunan Factory 2 PT Hoga Rekza Garmen di Wilayah Garut (Studi Kasus pada Lantai 1 dan Mezanine). *Keteknikan Dan Informatika*, 1(3), 66.
- Yilmaz, M., Dede, T., & Grzywiński, M. (2023). Investigating multi-objective time, cost, and risk problems using the Grey Wolf Optimization algorithm. *Budownictwo o Z optymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 12(2023.12), 79–86. <https://doi.org/10.17512/bozpe.2023.12.09>