

Perhitungan Percepatan Waktu dan Biaya dengan Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) pada Pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur

Ane Aulia Destiane, Aan Fauzi, dan Ragil Purnamasari

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: aanfauzi@its.ac.id

Abstrak—Pada penelitian ini bertujuan mengatasi keterlambatan pada pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur dengan deviasi yang terjadi di lapangan sampai -36,420% pada minggu ke-40 pelaksanaan proyek sehingga mengalami keterlambatan selama 100 hari kerja. Dilakukan analisa percepatan memakai metode *Time Cost Trade Off* pada minggu ke-40 karena mengalami keterlambatan pekerjaan mencapai deviasi yang paling maksimal. Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) atau pertukaran waktu dan biaya adalah pemampatan waktu pelaksanaan proyek dengan tujuan untuk mendapatkan waktu (durasi) maupun biaya optimum proyek dengan pengurangan durasi proyek. Pemakaian metode percepatan ini bertujuan agar dapat mempersingkat waktu pelaksanaan proyek dengan penambahan biaya seminimum mungkin terhadap kegiatan yang dipercepat. Dalam melakukan percepatan, dilakukan pada aktivitas yang berada pada lintasan kritis agar lebih efisien. Analisis percepatan dilakukan pada struktur lantai 1 hingga lantai atap dengan jumlah 9 lantai. Alternatif percepatan yang digunakan adalah alternatif penambahan tenaga kerja dan alternatif penambahan *shift* kerja dengan metode perhitungan pada kelima tahap kompresi iterasi. Kedua alternatif tersebut nantinya akan digunakan dalam saat melakukan kompresi iterasi. Hasil dari analisis percepatan dengan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) didapatkan bahwa pada tahap kelima kompresi iterasi dengan alternatif penambahan tenaga kerja dan penambahan *shift* kerja menghasilkan waktu dan biaya yang paling optimum. Didapatkan percepatan waktu dari durasi dan total biaya keterlambatan awal sebesar 198 hari dan biaya Rp18.931.543.453,00 menjadi 98 hari dengan biaya Rp14.658.150.989,00. Dimana hasil percepatan iterasi 5 merupakan alternatif percepatan yang paling efisien dan paling optimum dikarenakan dapat mengatasi keterlambatan selama 100 hari sesuai kontrak awal dan memiliki biaya total yang paling murah.

Kata Kunci—Biaya, Durasi, *Shift* Kerja, Tenaga Kerja, *Time Cost Trade Off* (TCTO).

I. PENDAHULUAN

PADA proyek konstruksi umumnya memiliki batas waktu (*deadline*), yang berarti proyek harus selesai sebelum atau tepat dari waktu yang ditentukan dari suatu kontrak proyek. Sehubungan dengan masalah proyek ini, keberhasilan dan kegagalan dalam sebuah proyek konstruksi erat kaitannya dengan aspek waktu dan biaya. Keberhasilan suatu proyek dapat diukur dan dilihat dari waktu penyelesaiannya yang singkat dengan penggunaan biaya seminimal mungkin tanpa mengabaikan mutu item pekerjaannya. Oleh karena itu,

dibutuhkanlah pengelolaan proyek secara sistematis agar pelaksanaan proyek sesuai dengan waktu kontrak atau mungkin bisa lebih cepat dari waktu kontrak sehingga dana yang dikeluarkan bisa memberikan keuntungan dan mencegah denda.

Tapi dalam realitanya, pelaksanaan proyek dilapangan selalu dibatasi oleh kendala-kendala dan mengalami keterlambatan akibat perencanaan dan penjadwalan yang kurang efektif. Juga disebabkan oleh masalah yang tidak terlihat atau tidak dapat diprediksi menjadi kendala utama dalam membuat *action plan*. Seperti perubahan cuaca, perubahan lingkup pekerjaan dan kesalahan yang diketahui setelah pelaksanaan di lapangan. Oleh karena itu, kemungkinan terjadinya penyimpangan rencana, durasi kegiatan dan waktu pelaksanaan di lapangan sangat tinggi. Maka, akibat adanya keterlambatan tersebut kontraktor proyek harus membuat skenario percepatan untuk mengembalikan tingkat kemajuan proyek ke rencana semula [1].

Penelitian ini meninjau proyek pembangunan Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur sebagai studi kasus untuk melakukan perhitungan mengenai waktu dan biayanya jika dilakukan percepatan untuk mengejar keterlambatan proyek konstruksinya. Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur merupakan bangunan fasilitas pembelajaran 9 lantai yang nantinya difungsikan sebagai ruang kuliah bersama dan laboratorium. Gedung perkuliahan ini berlokasi di Jalan Rungkut Madya No.1, Kecamatan Gunung Anyar, Kota Surabaya. Proyek yang didirikan di atas lahan seluas ± 2.392 m² serta luas bangunan sebesar $\pm 48.874,8$ m² ini dimulai pada minggu ke-2 bulan Oktober 2020 dan direncanakan selesai pada akhir minggu ke-1 bulan November 2021 dengan nilai kontrak Rp87.415.500.000,00. Pada rencana kontrak awal, proyek pembangunan Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur ini akan selesai dengan durasi 391 hari kalender. Tetapi, terjadi keterlambatan pada pelaksanaan di lapangan dengan deviasi sampai dengan -36,420% pada minggu ke-40 pelaksanaan proyek sehingga mengalami keterlambatan selama 100 hari kerja. Keterlambatan proyek terjadi karena beberapa kendala teknis seperti cuaca yang menghambat proses pekerjaan dan keterlambatan kedatangan material sehingga penjadwalan menjadi berantakan. Berakibat pada peresmian Gedung mengalami kemunduran 3 bulan dari kontrak awal sehingga kontraktor dikenakan biaya denda.

Perencanaan percepatan dilakukan pihak pelaksana dengan tujuan menghindari keterlambatan penyelesaian proyek dan dapat mempercepat penyelesaian proyek sehingga selesai tepat waktu bahkan bisa lebih cepat daripada perencanaan awal untuk menghindari biaya denda proyek yang harus dibayarkan [2]. Di dalam penelitian ini akan dilakukan analisis skenario percepatan dengan metode yang digunakan dalam perhitungan adalah metode *Time Cost Trade Off* (pertukaran waktu dan biaya). Tujuan dari metode ini adalah untuk mempercepat waktu pengerjaan proyek dan menganalisis pengaruh waktu yang dapat dipersingkat dengan menambahkan biaya pada kegiatan yang akan dipercepat untuk menentukan percepatan yang paling maksimum dan biaya yang paling minimum [3].

Analisis percepatan pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN "Veteran" Jawa Timur ini diharapkan dapat mengembalikan waktu keterlambatan sesuai kontrak proyek yang telah ditentukan, dapat mengurangi dampak kerugian finansial yang dikeluarkan akibat proyek tersebut mengalami keterlambatan, dapat meningkatkan efisiensi dalam pelaksanaan proyek dengan mengidentifikasi item pekerjaan yang perlu dipercepat sehingga dapat meningkatkan produktivitas keseluruhan. Diharapkan pula dapat menjadi acuan bagi pihak kontraktor sebagai pelaksana di lapangan untuk menentukan solusi yang tepat jika terjadi keterlambatan dalam pelaksanaan proyek konstruksi untuk mengurangi kerugian-kerugian yang diakibatkan akibat keterlambatan pelaksanaan proyek.

II. URAIAN PENELITIAN

A. *Time Cost Trade Off*

Time Cost Trade Off adalah proses yang sistematis, analitis, dan disengaja dengan melakukan pengujian dimana semua kegiatan proyek difokuskan pada kegiatan yang berada di lintasan kritis. Kompresi dilakukan lebih dahulu pada kegiatan yang mempunyai *cost slope* terendah pada lintasan kritis. Dengan kata lain *Time Cost Trade Off* adalah dengan mengurangi durasi pelaksanaan kegiatan pada lintasan kritis [4].

Perlu diperhatikan bahwa kompresi hanya dilakukan pada kegiatan yang berada di dalam lintasan kritis. Karena, jika melakukan kompresi pada kegiatan yang tidak berada di dalam lintasan kritis durasi penyelesaian proyek secara keseluruhan tidak akan berkurang. Menurut Mahapatni (2019), kompresi dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut [1]: (1) Penyusunan jaringan kerja proyek dengan menuliskan *cost slope* dari setiap kegiatan, (2) Dilakukannya kompresi pada setiap kegiatan yang berada di lintasan kritis dan kegiatan yang memiliki *cost slope* terendah, (3) Mengatur ulang jaringan kerja pekerjaan proyek, (4) Mengulangi langkah kedua, langkah ini akan berhenti apabila terjadi penambahan lintasan kritis. Tetapi, apabila terdapat lebih dari satu lintasan kritis, maka langkah kedua serentak dilakukan pada semua lintasan kritis dan perhitungan *cost slope* nya dijumlahkan, dan 5) Langkah keempat dihentikan ketika salah satu lintasan kritis dimana kegiatan-kegiatannya sudah jenuh seluruhnya atau tidak dapat dikompresi lagi sehingga pengendalian biaya menjadi optimal.

B. *Crashing*

Crashing atau sering disebut percepatan proyek menurut Eriyanto, W (2006) merupakan proses mereduksi suatu pekerjaan yang nantinya berpengaruh pada waktu penyelesaian proyek [4]. *Crashing* adalah metode percepatan yang disengaja, sistematis, dan analitis dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek konstruksi yang dipusatkan pada kegiatan yang terdapat di dalam lintasan kritis. Nantinya kegiatan yang berada di dalam lintasan kritis akan diperkirakan variabel *cost* nya untuk menentukan pengurangan durasi yang paling maksimal dan paling ekonomis.

Crashing bertujuan agar pekerjaan selesai dengan pertukaran silang waktu dan biaya dengan menambahkan jumlah tenaga kerja, jumlah *shift* kerja, jumlah jam kerja, jumlah ketersediaan bahan, dan juga penggunaan alat yang lebih produktif [5].

Metode *crashing* sumber daya yang berada di lintasan kritis dapat dipindahkan ke lintasan kritis agar pekerjaan lebih optimal. Tetapi dalam proses pemindahan sumber daya tersebut dibatasi oleh titik jenuh agar proses ini mendapatkan hasil yang efektif. Saat melakukan metode *crashing*, terdapat beberapa cara dalam melakukan percepatan durasi pada suatu proyek, yaitu: (1) Penambahan Jumlah Tenaga Kerja, (2) Penambahan Jumlah *Shift* Kerja, (3) Penambahan Jumlah Jam Kerja, (4) penambahan atau Pergantian Alat yang Lebih Produktif, dan (5) Perubahan Metode Kerja.

C. *Hubungan Waktu dan Biaya*

Dalam pelaksanaan sebuah proyek konstruksi, waktu dan biaya sangatlah penting dan saling berhubungan satu sama lain. Biaya optimal didapatkan dari biaya total minimum proyek, dimana untuk mendapatkan biaya minimum proyek tersebut harus memiliki durasi yang seminimal mungkin. Berdasarkan Kisworo (2017), dijelaskan beberapa istilah untuk menganalisis hubungan waktu dan biaya dalam sebuah proyek konstruksi, yaitu [6]: Waktu Normal (*Normal Duration*) adalah durasi yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan proyek konstruksi dari awal sampai selesai sesuai dengan penjadwalan awal dengan tingkat produktivitas kerja yang normal, Waktu Percepatan (*Crash Duration*) adalah durasi yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan proyek konstruksi dari awal sampai selesai setelah adanya percepatan sehingga terdapat perubahan pada produktivitas kerja, Biaya Normal (*Normal Cost*) adalah biaya yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan proyek konstruksi dari awal sampai selesai sesuai dengan durasi atau waktu normal, dan Biaya Percepatan (*Crash Cost*) adalah biaya yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan proyek konstruksi dari awal sampai selesai setelah adanya percepatan.

D. *Analisa Biaya K3*

Keselamatan dan Kesehatan Kerja Konstruksi yang selanjutnya disebut K3 Konstruksi adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja pada Pekerjaan Konstruksi. Setiap pembangunan proyek konstruksi wajib melibatkan ahli K3 konstruksi dan menerapkan SMK3 yang harus dipatuhi oleh seluruh pekerja yang terlibat dalam pembangunan proyek konstruksi.

III. METODELOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Tahapan metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah analisis deskriptif dengan metode studi kasus.

B. Studi Literatur

Bahan studi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah: (1) Literatur perencanaan proyek, (2) Literatur pengendalian suatu proyek, (3) Analisis *Time Cost Trade Off*, (4) Referensi penggunaan *Microsoft Project*, (5) Wawancara pihak proyek.

C. Pengumpulan Data

Data primer pada penelitian ini meliputi observasi di lapangan (harga bahan material dan harga sewa alat) dan wawancara di lapangan dengan pihak kontraktor atau pelaksana proyek. Data ini nantinya akan digunakan untuk perhitungan Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP) normal proyek karena disini tidak mendapatkan RAB proyek dari kontraktor.

Data sekunder pada penelitian ini meliputi Kurva S Proyek, Gambar Kerja, Rencana Kerja dan Syarat-Syarat (RKS), BoQ Proyek dan HSPK Surabaya Tahun 2020.

D. Analisis Data

1) Pengolahan Data

Pengolahan data meliputi: penentuan biaya normal dan durasi normal, indentifikasi hubungan antar kegiatan, dan penyusunan *network planning* dengan metode *precedence diagram method* (pdm) melalui bantuan aplikasi *ms. project* 2013.

2) Pelaksanaan Percepatan Proyek

Pelaksanaan percepatan proyek meliputi: penentuan Rencana *Crashing*, dan perhitungan *Crash Duration*, *Crash Cost*, dan *Cost Slope*.

3) Perhitungan Time Cost Trade Off

Perhitungan *time cost trade off* meliputi: perhitungan durasi dan biaya setelah percepatan, membandingkan waktu dan biaya rencana percepatan, serta kesimpulan dan saran

Nilai Kontrak	: Rp79.468.717.163,02 (belum termasuk PPN 10%)
Luas Lahan	: 2.393 m ²
Luas Bangunan	: 48.875 m ²
Tinggi Bangunan	: 49,82 m
Waktu Pelaksanaan	: 392 hari kalender
Jumlah Lantai	: 9 Lantai + Lantai Atap

Ditinjau dari kesepakatan kontrak, waktu pelaksanaan pekerjaan struktur pada Gedung UPN ini dimulai dari tanggal 14 Oktober 2020 sampai 07 November 2021. Tetapi dalam pengerjaannya, proyek tersebut mengalami keterlambatan mencapai 100 hari jika ditinjau dari presentase progress realisasi pada minggu ke-40. Berdasarkan hal itu maka akan dilakukan analisis percepatan pada proyek tersebut sehingga mendapatkan durasi yang tepat dengan menggunakan biaya yang optimum.

B. Daftar Kegiatan Kritis

Hubungan antar masing-masing aktivitas, *predecessor*, serta durasi dari masing-masing pekerjaan perlu diketahui terlebih dahulu yang kemudian dilakukan pembuatan jaringan kerja (*network planning*) untuk mengetahui hubungan antar aktivitas secara lebih jelas dan untuk mengidentifikasi lintasan kritis. Tabel 1 merupakan aktivitas yang termasuk lintasan kritis hasil dari identifikasi jalur kritis.

C. Perhitungan Crash Duration

Crash Duration adalah proses menentukan durasi minimum yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu kegiatan dalam proyek. Durasi ini disebut juga sebagai “durasi *crash*” atau “durasi terkecil”.

Dalam perhitungan ini, dianalisis setiap kegiatan dalam proyek untuk menentukan apakah ada cara untuk menyelesaikannya lebih cepat daripada waktu yang dijadwalkan semula. Dengan memperpendek durasi kegiatan-kegiatan tersebut, maka durasi total proyek dapat dikurangi. Adapun contoh *Crash Duration* yang telah ditentukan dari Sisa Pekerjaan di minggu ke-40 pada Proyek Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur adalah dihitung berdasarkan rumus Persamaan sebagai berikut:

$$Crash\ Duration = \frac{Volume\ Pekerjaan}{Produktivitas\ Percepatan}$$

1) Pekerjaan Bekisting Tangga Lantai 5

Normal Duration	= 4 hari
Volume Pekerjaan	= 44,89 m ²
Produktivitas Percepatan	= 17,96 m ² /hari
Crash Duration	= $\frac{Volume\ Pekerjaan}{Produktivitas\ Percepatan}$
	= $\frac{44,89}{17,96} = 3\ hari$

2) Pekerjaan Besi Beton U-39 Pelat Lantai 5

Normal Duration	= 6 hari
Volume Pekerjaan	= 17.736,80 kg
Produktivitas Percepatan	= 5.912,27 kg/hari
Crash Duration	= $\frac{Volume\ Pekerjaan}{Produktivitas\ Percepatan}$
	= $\frac{17736,80}{5912,27} = 3\ hari$

3) Pekerjaan Bekisting Kolom Lantai 5

Normal Duration	= 4 hari
Volume Pekerjaan	= 396,80 m ²

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Data Umum Proyek

Bangunan Gedung UPN memiliki kriteria struktur bangunan 9 lantai. Adapun untuk gambaran umum data proyek pembangunan Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur adalah sebagai berikut:

Nama Proyek	: Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur
Lokasi Proyek	: Jl. Rungkut Madya No.1, Gunung Anyar, Surabaya.
Jenis Proyek	: Pembangunan Gedung Kuliah 9 Lantai
Fungsi Proyek	: Sekolah
Pemilik	: UPN “Veteran” Surabaya
Kontraktor	: PT. Sasmito
Konsultan	: PT Bangun Sejajar Prima
Perencana	

Tabel 1.
Aktivitas Jalur Kritis

Kode	Uraian Pekerjaan	Kode	Uraian Pekerjaan	Kode	Uraian Pekerjaan
1	Bekisting Tangga Lantai 4	19	Bekisting Plat Lantai 7	37	Besi Beton U-39 Balok Lantai Atap
2	Besi Beton U-39 Balok Lantai 5	20	Besi Beton U-39 Kolom Lantai 7	38	Bekisting Balok Lantai Atap
3	Bekisting Balok Lantai 5	21	Bekisting Kolom Lantai 7	39	Besi Beton U-39 Pelat Lantai Atap
4	Besi Beton U-39 Plat Lantai 5	22	Bekisting Tangga Lantai 7	40	Bekisting Pelat Lantai Atap
5	Bekisting Plat Lantai 5	23	Besi Beton U-39 Balok Lantai 8	41	Besi Beton U-39 Kolom Lantai Atap
6	Besi Beton U-39 Kolom Lantai 5	24	Bekisting Balok Lantai 8	42	Bekisting Kolom Lantai Atap
7	Bekisting Kolom Lantai 5	25	Besi Beton U-39 Plat Lantai 8	43	Kolom WF 350×175×7×11
8	Bekisting Tangga Lantai 5	26	Bekisting Plat Lantai 8	44	Kontruksi Kuda-Kuda dengan WF 350×175×7×11
9	Besi Beton U-39 Balok Lantai 6	27	Besi Beton U-39 Kolom Lantai 8	45	Voute dengan WF 350×175×7×11
10	Bekisting Balok Lantai 6	28	Bekisting Kolom Lantai 8	46	Konsol WF. 200.100.5,5,8
11	Besi Beton U-39 Plat Lantai 6	29	Bekisting Tangga Lantai 8	47	Double Plat Dudukan / Baseplat 500×500×12
12	Bekisting Plat Lantai 6	30	Besi Beton U-39 Balok Lantai 9	48	Endplat T = 12 mm
13	Besi Beton U-39 Kolom Lantai 6	31	Bekisting Balok Lantai 9	49	Pekerjaan Perakitan Atap Gedung Utama
14	Bekisting Kolom Lantai 6	32	Besi Beton U-39 Plat Lantai 9	50	Gording CNP. 150.65.20.3,2 mm
15	Bekisting Tangga Lantai 6	33	Bekisting Plat Lantai 9	51	Kolom WF. 200.100.5,5,8
16	Besi Beton U-39 Balok Lantai 7	34	Besi Beton U-39 Kolom Lantai 9	52	Kuda-Kuda dengan WF. 200.100.5,5,8
17	Bekisting Balok Lantai 7	35	Bekisting Kolom Lantai 9	53	Double Plat Dudukan / Baseplat 400×400×12
18	Besi Beton U-39 Plat Lantai 7	36	Bekisting Tangga Lantai 9	54	Pekerjaan Perakitan Atap Joglo

Tabel 2.

Perbandingan Waktu dan Biaya Sebelum dan Sesudah Dilakukan Percepatan dengan Kompresi Iterasi 1, Iterasi 2, Iterasi 3, Iterasi 4 dan Iterasi 5

Iterasi	Durasi	Uraian Pekerjaan	Direct Cost	Indirect Cost	Total Cost
1	198	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Normal)	Rp12.569.605.595,00	Rp6.361.937.858,00	Rp18.931.543.453,00
	160	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Iterasi 1)	Rp12.814.665.252,00	Rp6.077.486.656,00	Rp18.892.151.908,00
2	160	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Iterasi 1)	Rp12.814.665.252,00	Rp6.077.486.656,00	Rp18.892.151.908,00
	135	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Iterasi 2)	Rp12.789.541.962,00	Rp4.656.632.799,00	Rp17.446.174.761,00
3	135	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Iterasi 2)	Rp12.789.541.962,00	Rp4.656.632.799,00	Rp17.446.174.761,00
	135	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Iterasi 3)	Rp12.844.628.634,00	Rp4.656.632.799,00	Rp17.501.261.433,00
4	135	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Iterasi 3)	Rp12.844.628.634,00	Rp4.656.632.799,00	Rp17.501.261.433,00
	111	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Iterasi 4)	Rp13.365.284.165,00	Rp2.274.207.464,00	Rp15.639.491.629,00
5	111	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Iterasi 4)	Rp13.365.284.165,00	Rp2.274.207.464,00	Rp15.639.491.629,00
	98	Pekerjaan Lantai 5 - Lantai Atap (Iterasi 5)	Rp13.520.346.180,00	Rp1.137.804.808,00	Rp14.658.150.989,00

$$\text{Produktivitas Percepatan} = 132,27 \text{ m}^2/\text{hari}$$

$$\text{Crash Duration} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Percepatan}} = \frac{396,80}{132,27} = 3 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Koef Kepala Tukang Normal} &= 0,04 \\ \text{Koef Tukang Normal} &= 0,18 \\ \text{Koef Pekerja Normal} &= 0,35 \\ \text{Jumlah Mandor Normal} &= 1 \\ \text{Jumlah Kepala Tukang Normal} &= 2 \\ \text{Jumlah Tukang Normal} &= 10 \\ \text{Jumlah Pekerja Normal} &= 20 \\ \text{Jumlah Tambahan Mandor} &= 1 \\ \text{Jumlah Tambahan Kepala Tukang} &= 1 \\ \text{Jumlah Tambahan Tukang} &= 3 \\ \text{Jumlah Tambahan Pekerja} &= 7 \end{aligned}$$

D. Perhitungan Crash Cost

Crash Cost adalah proses menentukan biaya tambahan yang diperlukan untuk mempercepat kegiatan dalam proyek. Ketika durasi kegiatan dikurangi melalui perhitungan crash duration, biaya tambahan seringkali akan timbul.

Perhitungan Crash Cost melibatkan identifikasi kegiatan-kegiatan yang dapat dipangkas waktu dan menentukan biaya tambahan yang harus dikeluarkan untuk mengurangi durasi kegiatan tersebut. Biaya tambahan ini dapat meliputi biaya tenaga kerja tambahan, penggunaan sumber daya yang lebih mahal, atau biaya lain yang berkaitan dengan percepatan kegiatan. Adapun contoh perhitungan Crash Cost dari Sisa Pekerjaan di minggu ke-40 pada Proyek Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Crash Cost} &= \left(N + \frac{\text{Koef. Pekerja Normal} \times \text{Jml Tamb. Pekerja}}{\text{Jml Pekerja Normal}} \times V \right) \\ \text{Crash Cost} &= \text{Rp}291.439,00 + \left(\frac{0,02 \times 2}{1} \times \text{Rp}2.646,17 \right) \\ &\quad + \left(\frac{0,04 \times 2}{1} \times \text{Rp}2.293,35 \right) \\ &\quad + \left(\frac{0,18 \times 13}{10} \times \text{Rp}2.205,14 \right) \\ &\quad + \left(\frac{0,35 \times 27}{20} \times \text{Rp}2.028,73 \right) \times 396,80 \text{ m}^2 \\ &= \text{Rp}125.883.956,00 \end{aligned}$$

1) Percepatan dengan Penambahan Tenaga Kerja

Di bawah ini merupakan perhitungan crash cost pada item Bekisting Kolom Lantai 5:

$$\begin{aligned} \text{Volume (V)} &= 396,80 \text{ m}^2 \\ \text{Harga Normal (N)} &= \text{Rp}291.439,00 \\ \text{Total Harga Normal} &= \text{Rp}115.642.956,00 \\ \text{HSD Mandor} &= \text{Rp}2.646,17 \\ \text{HSD Kepala Tukang} &= \text{Rp}2.293,35 \\ \text{HSD Tukang} &= \text{Rp}2.205,14 \\ \text{HSD Pekerja} &= \text{Rp}2.028,73 \\ \text{Koef Mandor Normal} &= 0,02 \end{aligned}$$

2) Percepatan dengan Penambahan Shift Kerja

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 17736,80 \text{ kg} \\ \text{Harga Normal} &= \text{Rp}15.350,00/\text{kg} \\ \text{Total Harga Normal} &= \text{Rp}272.263.726,00 \\ \text{HSD Shift Tenaga Kerja Normal} &= \text{Rp}1.116,00 \\ \text{HSD Shift Tenaga Kerja Tambahan} &= \text{Rp}1.116,00 \\ \text{Crash Cost} &= N + (\text{Biaya Shift Tambahan} + \text{Pajak}) \times V \\ &= \text{Rp}15.350,00 + (\text{Rp}1.116,00 + \text{Rp}111,60) \times 17.736,80 \\ &= \text{Rp}294.046.628,00 \end{aligned}$$

Menurut Pasal 81 angka 21 Undang-Undang Nomor 11

Tabel 3.
Perbandingan Biaya Percepatan dengan Biaya Denda Keterlambatan

No	Iterasi TCTO	Biaya Total Tambahkan Setelah Percepatan	Biaya Akibat Keterlambatan		Total Biaya	Biaya Denda Akibat Keterlambatan	Cek (Biaya Total < Biaya Denda)
			Biaya Denda Sisa Iterasi	Biaya Tim Manajemen			
1	Normal	Rp 0,00	Rp 0,00	Rp 0,00	Rp 0,00	Rp4.370.779.444,00	OK
2	Terlambat	Rp1.184.853.606,00	Rp4.370.779.444,00	Rp 0,00	Rp5.555.633.050,00	Rp4.370.779.444,00	Not OK
3	Iterasi 1	Rp1.145.462.062,00	Rp4.370.779.444,00	Rp 91.619.663,00	Rp5.607.861.169,00	Rp4.370.779.444,00	Not OK
4	Iterasi 2	Rp 835.887.570,00	Rp3.234.376.789,00	Rp 91.619.663,00	Rp4.161.884.021,00	Rp4.370.779.444,00	OK
5	Iterasi 3	Rp 890.974.242,00	Rp3.234.376.789,00	Rp 91.619.663,00	Rp4.216.970.693,00	Rp4.370.779.444,00	OK
6	Iterasi 4	Rp1.127.178.571,00	Rp1.136.402.655,00	Rp147.324.179,00	Rp2.410.905.405,00	Rp4.370.779.444,00	OK
7	Iterasi 5	Rp1.282.240.586,00	Rp 0,00	Rp147.324.179,00	Rp1.429.564.765,00	Rp4.370.779.444,00	OK

Tahun 2020 tentang Cipta Kerja setiap perusahaan wajib melaksanakan waktu kerja meliputi 7 jam 1 hari dan 40 jam 1 minggu untuk 6 hari kerja dalam 1 minggu; atau 8 jam 1 hari dan 40 jam 1 minggu untuk 5 hari kerja dalam 1 minggu. Disini dalam penentuan HSD *Shift* Tenaga Kerja Tambahan, tidak dilakukan penambahan biaya untuk sistem shift meski bekerja pada malam hari, selama karyawan bekerja shift dalam waktu kerja normal harian, yakni 7 jam sehari dan 48 jam seminggu atau 8 jam sehari dan 40 jam seminggu, maka tidak ada tambahan upah. Namun, jika dipekerjakan melebihi waktu tersebut, maka karyawan yang bersangkutan berhak atas uang lembur.

E. Hubungan Waktu dan Biaya

Grafik hubungan antara waktu dan biaya dibuat dengan tujuan untuk menunjukkan apakah berkurangnya durasi proyek mempengaruhi biaya proyek setelah dilakukan percepatan dengan ke-5 iterasi. Berikut merupakan perbandingan serta perhitungan efisiensi biaya dan waktu akibat percepatan pada kelima iterasi.

1) Iterasi 1

Dari hasil analisis percepatan yang telah dilakukan dengan Kompresi Iterasi 1, proyek dapat dipercepat hingga 38 hari dari durasi normal (keterlambatan) 198 hari menjadi 160 hari. Pada Tabel 2. dan Gambar 1. ditunjukkan bahwa total biaya akibat percepatan lebih murah dibandingkan dengan biaya normal (keterlambatan). Hal ini dikarenakan dengan dipercepatnya waktu pelaksanaan proyek, maka biaya tidak langsung akan berkurang. Namun dengan melakukan percepatan, biaya langsung yang dikeluarkan akan bertambah. Pada analisis percepatan dengan Iterasi 1 didapatkan hasil bahwa durasi proyek bisa dipercepat selama 38 hari (efisiensi 19,19%) dengan penambahan biaya langsung sebesar Rp245.059.657,73 (efisiensi 0,21%).

2) Iterasi 2

Dari hasil analisis percepatan yang telah dilakukan dengan Kompresi Iterasi 2, proyek dapat dipercepat hingga 37 hari dari Iterasi 1 dengan durasi 160 hari menjadi 135 hari. Pada Tabel 2. dan Gambar 1. ditunjukkan bahwa total biaya akibat percepatan Iterasi 2 lebih murah dibandingkan dengan biaya Iterasi 1. Hal ini dikarenakan dengan dipercepatnya waktu pelaksanaan proyek, maka biaya tidak langsung akan berkurang. Namun dengan melakukan percepatan, biaya langsung yang dikeluarkan akan bertambah. Pada analisis percepatan dengan Iterasi 2 didapatkan hasil bahwa durasi proyek bisa dipercepat selama 37 hari (efisiensi 15,63%) dengan penambahan biaya langsung sebesar Rp25.123.290,26 (efisiensi 7,65%).

3) Iterasi 3

Dari hasil analisis percepatan yang telah dilakukan dengan Kompresi Iterasi 3, durasi proyek tidak mengalami percepatan dari Iterasi 2 dengan durasi 160 tetap 160 hari. Pada Tabel 2. dan Gambar 1. ditunjukkan bahwa total biaya akibat Iterasi 3 lebih mahal dibandingkan dengan biaya Iterasi 2. Hal ini dikarenakan dengan melakukan percepatan waktu pelaksanaan proyek, maka biaya langsung akan naik sedangkan pada biaya tidak langsung iterasi ini tidak mengalami penurunan dikarenakan durasi proyek tidak mengalami percepatan. Pada analisis percepatan dengan Iterasi 3 didapatkan hasil bahwa durasi proyek tidak bisa dipercepat (efisiensi 00,00%) dengan penambahan biaya langsung sebesar Rp55.086.672,34 (efisiensi -0,32%). Namun disini penulis tetap memasukan Iterasi 3 karena nantinya saat melakukan iterasi selanjutnya, durasi total proyek tetap akan menurun dikarenakan percepatan item pekerjaan di Iterasi 3 ini.

4) Iterasi 4

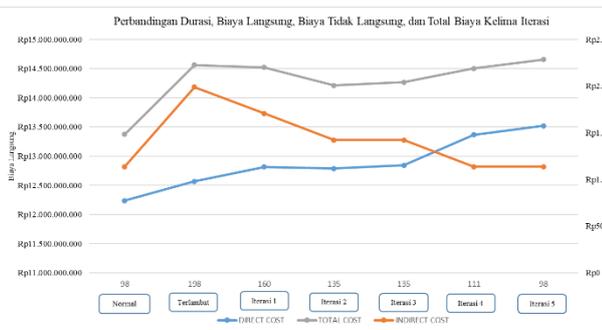
Dari hasil analisis percepatan yang telah dilakukan dengan Kompresi Iterasi 4, proyek dapat dipercepat hingga 24 hari dari Iterasi 3 dengan durasi 135 hari menjadi 111 hari. Pada Tabel 2. dan Gambar 1. ditunjukkan bahwa total biaya akibat percepatan Iterasi 4 lebih murah dibandingkan dengan biaya Iterasi 3. Hal ini dikarenakan dengan dipercepatnya waktu pelaksanaan proyek, maka biaya tidak langsung akan berkurang. Namun dengan melakukan percepatan, biaya langsung yang dikeluarkan akan bertambah. Pada analisis percepatan dengan Iterasi 4 didapatkan hasil bahwa durasi proyek bisa dipercepat selama 24 hari (efisiensi 17,78%) dengan penambahan biaya langsung sebesar Rp520.655.530,79 (efisiensi 10,64%).

5) Iterasi 5

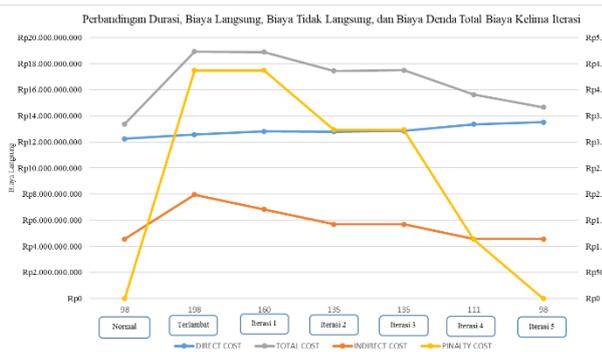
Dari hasil analisis percepatan yang telah dilakukan dengan Kompresi Iterasi 5, proyek dapat dipercepat hingga 13 hari dari Iterasi 4 dengan durasi 111 hari menjadi 111 hari. Pada Tabel 2. dan Gambar 1. ditunjukkan bahwa total biaya akibat percepatan Iterasi 5 lebih murah dibandingkan dengan biaya Iterasi 3. Hal ini dikarenakan dengan dipercepatnya waktu pelaksanaan proyek, maka biaya tidak langsung akan berkurang. Namun dengan melakukan percepatan, biaya langsung yang dikeluarkan akan bertambah. Pada analisis percepatan dengan Iterasi 5 didapatkan hasil bahwa durasi proyek bisa dipercepat selama 13 hari (efisiensi 11,71%) dengan penambahan biaya langsung sebesar Rp155.062.015,30 (efisiensi 6,27%).

F. Biaya Denda

Sanksi mengenai biaya denda keterlambatan proyek per



Gambar 1. Grafik perbandingan durasi, biaya langsung, biaya tidak langsung, dan total biaya dari kelima iterasi percepatan.



Gambar 2. Grafik perbandingan durasi, biaya langsung, biaya tidak langsung, biaya denda dan total biaya dari kelima iterasi percepatan.

hari diatur dalam Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. Apabila biaya denda > jaminan pelaksanaan, maka diambil biaya denda sama dengan biaya pelaksanaan. Menurut Pasal 33 poin 3a Peraturan Presiden Nomor 12 Tahun 2021 besaran nilai jaminan pelaksanaan untuk nilai penawara antara 80% (delapan puluh persen) sampai dengan 100% (seratus persen) dari nilai HPS, Jaminan Pelaksanaan sebesar 5% (lima persen) dari nilai kontrak. Besarnya biaya denda keterlambatan umumnya dihitung sebagai berikut:

$$\text{Biaya Denda} = \text{Durasi Keterlambatan} \times 0,001 \times \text{Total Kontrak}$$

$$\text{atau Biaya Denda} = 5\% \times \text{Total Kontrak}$$

Proyek mengalami keterlambatan dengan durasi >50 hari, oleh karena itu biaya denda jadi melampaui jaminan pelaksanaan. Sehingga untuk kasus ini diambil biaya denda maksimal 5% dari nilai kontrak atau setara dengan keterlambatan 50 hari. Namun nantinya jika pada saat melakukan percepatan iterasi ternyata durasi keterlambatan sudah <50 hari, maka perhitungan denda akan dikembalikan menjadi 1/1000 dari harga kontrak per harinya.

Berikut adalah perhitungan biaya keterlambatan (denda) pada Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium dan Perkuliahan UPN “Veteran” Jawa Timur:

$$\begin{aligned} \text{Biaya Total Proyek} &= \text{Rp}87.415.588.879,00 \\ \text{Biaya Denda per-Hari} &= \text{Rp}87.415.588.879,00 \times 0,001\% \\ &= \text{Rp}87.415.589,00 \end{aligned}$$

$$\text{Durasi Keterlambatan Proyek} = 100 \text{ hari}$$

Karena keterlambatan >50 hari maka biaya denda diambil sebesar 5% dari total kontrak. Sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya Denda} &= \text{Rp}87.415.588,87 \times 90,05\% \\ &= \text{Rp}4.370.779.444,00 \end{aligned}$$

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa biaya tambahan akibat percepatan iterasi 1 dan iterasi 2 membutuhkan biaya yang

lebih mahal apabila dibandingkan dengan biaya dendanya, sedangkan iterasi 3 sampai iterasi 5 membutuhkan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan biaya denda yang harus dikeluarkan akibat keterlambatan pelaksanaan proyek. Oleh karena itu, alternatif iterasi 3 sampai iterasi 5 dapat digunakan sebagai alternatif percepatan. Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan durasi, biaya langsung, biaya tidak langsung, biaya denda dan total biaya dari kelima iterasi percepatan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perhitungan percepatan dengan menggunakan metode pertukaran waktu dan biaya atau *Time Cost Trade Off* (TCTO) pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: (1) Durasi setelah adanya percepatan didapatkan durasi optimum yang dihasilkan setelah dilakukan analisis percepatan *Time Cost Trade Off* (TCTO) pada kelima iterasi antara lain: Iterasi 1 dilakukan percepatan pada pekerjaan struktur lantai 5 hingga lantai atap dan didapatkan durasi percepatan menjadi 160 hari kerja dari 198 hari kerja, yaitu 38 hari lebih cepat dari durasi normal dengan efisiensi sebesar 19,19%. Iterasi 2 dilakukan percepatan pada pekerjaan struktur lantai 5 hingga lantai atap dan didapatkan durasi percepatan menjadi 135 hari kerja dari 198 hari kerja, yaitu 63 hari lebih cepat dari durasi normal dengan efisiensi sebesar 31,82%. Iterasi 3 dilakukan percepatan pada pekerjaan struktur lantai 5 hingga lantai atap dan didapatkan durasi percepatan tidak mengalami kemajuan 135 hari kerja dari 135 hari kerja dengan efisiensi sebesar 00,00%. Iterasi 4 dilakukan percepatan pada pekerjaan struktur lantai 5 hingga lantai atap dan didapatkan durasi percepatan menjadi 111 hari kerja dari 198 hari kerja, yaitu 87 hari lebih cepat dari durasi normal dengan efisiensi sebesar 43,94%. Iterasi 5 dilakukan percepatan pada pekerjaan struktur lantai 5 hingga lantai atap dan didapatkan durasi percepatan menjadi 98 hari kerja dari 198 hari kerja, yaitu 100 hari lebih cepat dari durasi normal dengan efisiensi sebesar 50,51%. (2) Biaya Setelah Adanya Percepatan didapatkan biaya optimum yang dihasilkan setelah dilakukan analisis percepatan *Time Cost Trade Off* (TCTO) pada kelima iterasi antara lain: Iterasi 1 membutuhkan total biaya sebesar Rp18.892.151.908,00 dengan efisiensi sebesar 0,21%, yaitu lebih murah Rp39.391.544,00 dari biaya total normal atau sebelum dilakukan percepatan sebesar Rp18.931.543.453,00. Iterasi 2 membutuhkan total biaya sebesar Rp17.446.174.761,00 dengan efisiensi sebesar 7,85%, yaitu lebih murah Rp1.485.368.692,00 dari biaya total normal atau sebelum dilakukan percepatan sebesar Rp18.931.543.453,00. Iterasi 3 membutuhkan total biaya sebesar Rp17.501.261.433,00 dengan efisiensi sebesar 7,56%, yaitu lebih murah Rp1.430.282.020,00 dari biaya total normal atau sebelum dilakukan percepatan sebesar Rp18.931.543.453,00. Iterasi 4 membutuhkan total biaya sebesar Rp15.639.491.629,00 dengan efisiensi sebesar 17,39%, yaitu lebih murah Rp3.292.051.824,00 dari biaya total normal atau sebelum dilakukan percepatan sebesar Rp18.931.543.453,00. Iterasi 5 membutuhkan total biaya sebesar Rp14.658.150.989,00 dengan efisiensi sebesar 22,57%, yaitu lebih murah Rp4.273.392.464,00 dari biaya total normal atau sebelum dilakukan percepatan sebesar Rp18.931.543.453,00. Berdasarkan hasil analisis waktu dan biaya setelah adanya percepatan, didapatkan bahwa percepatan Kompresi Iterasi 5

menghasilkan waktu dan biaya yang paling optimal dibandingkan percepatan keempat iterasi yang lain. Iterasi 5 dapat mempercepat pekerjaan selama 100 hari dari 198 hari menjadi 98 hari dengan efisiensi sebesar 50,51% dan biaya total setelah percepatan sebesar Rp14.658.150.989,00 dengan rincian Biaya Langsung Rp13.520.346.180,00, Biaya Tidak Langsung Rp1.137.804.808,00, serta tidak ada Biaya Denda dan dengan efisiensi sebesar 22,57%. Biaya percepatan dengan Iterasi 3, Iterasi 4 dan Iterasi 5 lebih murah dibandingkan dengan biaya denda akibat proyek mengalami keterlambatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. A. P. S. Mahapatni, *Metode Perencanaan dan Pengendalian Proyek Konstruksi*. Denpasar: Unhi Press, 2019. ISBN: 978-623-91211-0-5.
- [2] A. Ridwan, "Analisis percepatan proyek menggunakan metode crashing dengan penambahan jam kerja empat jam dan sistem shift kerja (studi kasus : proyek pembangunan gedung RSUD Malang)," *J. Apl. Pelayaran Dan Kepelabuhanan*, vol. 11, no. 1, hal. 35–53, 2020, doi: 10.30649/japk.v11i1.61.
- [3] A. F. Mela, "Analisis Time Cost Trade Off untuk Mengejar Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Studi Kasus: Pembangunan Hotel Zodiak Lampung, Pembangunan Hotel Park In by Radisson, Pembangunan Toko Mitra Hasil Sentosa di Bandar Lampung," Departemen Teknik Sipil, Universitas Lampung, 2016.
- [4] I. Ervianto, W. *Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Andi Offset, 2005. ISBN: 979-763-113-3.
- [5] A. Husen. *Manajemen Proyek: Perencanaan, Penjadwalan, dan Pengendalian Proyek*, 2nd ed. Yogyakarta: Andi Offset, 2009. ISBN: 978-979-29-1732-1.
- [6] R. W. Kisworo, "Cost trade off dengan penambahan jam kerja lembur dan jumlah alat," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 5, no. 3, hal. 766–776, 2017, doi: <https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i3.36702>.