

## Pengendalian Penyelesaian Proyek Berbasis Kinerja Menggunakan *Hybrid Earned Value - Crash Program*

Della Ayu Adinanda<sup>1\*</sup>, Jojok Widodo Soetjipto<sup>1</sup>, Syamsul Arifin<sup>1</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember, Jember<sup>1</sup>.

Koresponden\*, Email: [dellaadinanda@gmail.com](mailto:dellaadinanda@gmail.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	27 Februari 2024	<i>Project performance in construction is crucial for adjusting cost and completion time according to plan. Previous research shows delays cause cost overruns and impact on all stakeholders. However, measuring project performance can only predict delays without providing solutions for handling them. Therefore, this study integrates the Earned Value method (to predict time and costs) with the Crash Program (to accelerate project delays). This study takes the case of a building construction project experiencing a delay of 15.496% (week 25). The study results show that the project has an SPI value = 0.493, experiencing significant delays and is estimated to require 72 from 48 weeks and Rp. 64.57 billion from Rp. 57.23 billion to completion. The project is accelerated by increasing workers via the Crash Program method. Finally, the project completion has a time of 43 weeks with a project cost of IDR 58.89 billion.</i>
Diperbaiki	18 Maret 2024	
Disetujui	8 Mei 2024	

Keywords: *project delay, earned value, crashing program, optimal time and cost*

### Abstrak

Kinerja proyek dalam konstruksi sangat penting untuk menyesuaikan biaya dan waktu penyelesaian sesuai rencana. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penundaan menyebabkan pembengkakan biaya yang dapat merugikan semua pihak. Namun, pengukuran kinerja proyek hanya mampu memprediksi keterlambatan saja tanpa memberikan solusi penanganan jika terjadi keterlambatan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan menggabungkan metode *Earned Value* (untuk memprediksi waktu dan biaya) dengan *Crash Program* (untuk percepatan keterlambatan proyek). Penelitian ini mengambil kasus proyek pembangunan gedung yang mengalami keterlambatan sebesar 15,496% (minggu ke 25). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proyek tersebut memiliki nilai SPI=0,493 artinya proyek mengalami keterlambatan yang signifikan dan diperkirakan membutuhkan waktu penyelesaian 72 dari rencana 48 minggu dengan biaya sebesar Rp. 64,57 miliar dari Rp. 57,23 miliar. Proyek dipercepat dengan menambah pekerja melalui metode *Crash Program*, yang menghasilkan waktu penyelesaian proyek 43 minggu dengan biaya proyek menjadi Rp. 58,89 miliar.

Kata kunci: keterlambatan proyek, konsep nilai hasil, crash program, waktu dan biaya optimal

### 1. Pendahuluan

Proyek konstruksi adalah suatu aktivitas yang berlangsung selama periode waktu tertentu dan melibatkan sejumlah sumber daya dengan tujuan menciptakan suatu hasil atau *deliverable* dengan kriteria mutu yang sudah di tetapkan [1]. Ketepatan waktu merupakan salah satu acuan penting dalam keberhasilan suatu pelaksanaan proyek konstruksi, maka dari itu suatu pembangunan proyek diharapkan tidak mengalami keterlambatan agar tidak merugikan pemilik proyek (*owner*) dan pelaksana proyek (kontraktor). Oleh karena itu, diperlukan 3 aspek penting dalam manajemen proyek yaitu waktu, biaya dan mutu. Aspek tersebut memiliki tujuan agar proyek berjalan dengan baik dan memberikan keuntungan atau dampak baik untuk semua yang telah direncanakan pada pembangunan proyek. Tetapi, dalam pelaksanaannya sering terjadi proyek tidak berjalan sesuai apa yang direncanakan seperti pada pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung *Research Center UPN Veteran Jawa Timur*. Proyek ini

mengalami keterlambatan dalam penyelesaian pada minggu ke 25 sekitar 15,496%. Deviasi kumulatif didapatkan dari selisih antara bobot rencana sebesar 30,550% dengan bobot realisasi sebesar 15,054%. Dalam beberapa situasi, pemilik proyek (*owner*) mungkin ingin menyelesaikan proyek lebih cepat dari yang direncanakan, tetapi karena faktor eksternal seperti faktor cuaca dan datangnya material yang terlambat tentunya hal ini menjadi salah satu penyebab suatu kemajuan proyek lebih lambat atau implementasi proyek tidak seperti yang direncanakan.

Terdapat kajian literatur yang dapat digunakan sebagai referensi tentang kasus keterlambatan. Beberapa studi ada yang membahas tentang *schedule* atau berdasarkan waktu dan ada juga yang hanya membahas hanya biaya saja. Analisis penjadwalan proyek berdasarkan waktu dapat menggunakan metode PERT dan PDM [2]. Studi tersebut mengandung keterbatasan, termasuk ketidakmampuan untuk memperkirakan kemungkinan waktu penyelesaian proyek

dan kegagalan untuk menghitung pengeluaran tambahan setelah percepatan [3]. Studi lain menurut Malifa dan Malingkas, melakukan analisis percepatan dengan penyusunan komponen kegiatan menurut logika ketergantungan menggunakan metode *Gantt Chart* [4]. Kekurangan dari metode *Gantt Chart* yaitu hubungan antar kegiatan tidak terlihat jelas, tidak dapat memeriksa durasi keterlambatan sehingga tidak tergambar keseluruhan situasi pada proyek [5].

Berdasarkan beberapa kasus di atas, metode penjadwalan tersebut belum mampu memperkirakan prediksi keterlambatan. Oleh karena itu diperlukan metode lain yang dapat memprediksikan keterlambatan dan kebutuhan biaya proyek. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *Earned Value* karena metode ini dapat memprediksi keterlambatan melalui kinerja proyek yang dapat memudahkan pihak kontraktor agar proyek selesai tepat pada waktunya. Keunggulan *Earned Value* yaitu menggabungkan unsur biaya, jadwal, dan *progress* pekerjaan, serta *early warning* apabila terjadi *cost overrun* maupun keterlambatan [6]. Implementasi *Earned Value* dalam manajemen proyek merupakan gambaran dari *management by exception*, yaitu suatu gaya manajemen yang akan bertindak ketika terjadi penyimpangan [7].

Waldi meneliti tentang perkiraan penyelesaian proyek atau EAS (*Estimate All Schedule*) memakai metode *Earned Value Method* (EVM) memberikan hasil bahwa total waktu pelaksanaan proyek berdasarkan data sekunder pada minggu ke 68 ialah 125 minggu. Rencana awalnya membutuhkan 112 minggu untuk menyelesaikan proyek. Sehingga proyek tersebut terlambat dari waktu pelaksanaan proyek sebesar 13 minggu atau 52 hari. Sedangkan perkiraan estimasi biaya total atau EAC (*Estimate at Complete*) pada akhir peninjauan sebesar Rp. 154.067.462.709,99 [8]. Pembangunan *Tower Caspian Grand Sungkono Lagoon Surabaya* hanya melakukan pengukuran kinerja proyek berdasarkan kinerja waktu dan biaya. Umumnya pada pelaksanaan proyek, kontraktor diwajibkan untuk menemukan solusi percepatan jika terjadi keterlambatan seperti pada kasus yang tertera.

Studi menurut Fernando, jadwal proyek pembangunan *Kalyana Residence Paal 2 Manado* dapat dipercepat selama 18 hari kerja dan mendapatkan keuntungan karena penurunan *indirect cost* sebesar Rp.3.154.472,82. Hal ini dilakukan dengan menambahkan tenaga kerja pada jalur kritis menggunakan Metode *Crash Program* yang diimplementasikan dengan alternatif penambahan tenaga kerja [9].

Berdasarkan situasi Proyek Pembangunan Gedung *Research Center UPN Veteran Jawa Timur* yang mengalami keterlambatan yang cukup signifikan maka sangat penting untuk menganalisis kinerja dan percepatan proyek agar

proyek dapat diselesaikan sesuai rencana. Pengukuran kinerja diperlukan untuk memprediksi besaran keterlambatan yang akan terjadi, sedangkan metode percepatan proyek sangat diperlukan untuk mengendalikan waktu pelaksanaan agar sesuai dengan rencana awal. Dengan demikian maka penelitian ini dapat menyelesaikan permasalahan pada Proyek Pembangunan Gedung *Research Center UPN Veteran Jawa Timur* melalui pengendalian penyelesaian proyek berbasis kinerja menggunakan *Hybrid Earned Value - Crash Program*. Sehingga, penelitian pada proyek ini telah menetapkan pendekatan analisis keterlambatan yang mencakup 3 proses, yaitu [10]:

- a. Pengukuran: laporan formal dan informal digunakan untuk menilai kemajuan pekerjaan.
- b. Evaluasi: realisasi pekerjaan yang tidak sesuai dengan rencana akan ditinjau ulang mengenai persamaan masalah dan langkah pemecahannya.
- c. Koreksi: melakukan pengendalian untuk mengoreksi atau melihat penyimpangan agar sesuai dengan tujuan.

Keunggulan penelitian ini antara lain mengidentifikasi penilaian kinerja proyek menggunakan Varian Waktu (SV) dan Indeks Kinerja Waktu (SPI) melalui penilaian elemen nilai hasil (*Earned Value*), serta memberikan rincian estimasi waktu pekerjaan tersisa (ETS) dan keseluruhan waktu proyek (EAS). Hasil ini akan dijadikan dasar untuk merancang percepatan waktu dengan metode *Crash Program* dalam rangka menyelesaikan permasalahan keterlambatan proyek agar waktu dan biaya penyelesaian dapat dikendalikan dengan baik sesuai rencana.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan studi kasus Proyek Pembangunan Gedung *Research Center UPN Veteran Jawa Timur*. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah mengumpulkan data dan menganalisis permasalahan yang ada pada pelaksanaan proyek, meliputi:

1. Perhitungan mengenai total biaya konstruksi.
2. Perhitungan mengenai biaya rencana proyek (BCWS) dan biaya seharusnya pelaksanaan proyek (BCWP)
3. Menghitung Varian Jadwal (SV) dan Indeks Kinerja Jadwal (SPI).
4. Apabila  $SPI > 1$ , maka perhitungan dilanjutkan dengan menghitung estimasi waktu untuk pekerjaan yang belum dilaksanakan atau sisa pekerjaan (ETS) dan estimasi waktu total proyek (EAS).
5. Apabila  $SPI < 1$ , maka perlu dilakukan perhitungan percepatan menggunakan Metode *Crashing*.
6. Pembahasan hasil analisis mengenai durasi total proyek dan penambahan total biaya proyek.

Data sekunder yang diperlukan pada metode *Earned Value* antara lain:

1. Laporan mingguan dan bulanan perkembangan proyek
2. Harga satuan bahan dan upah tenaga kerja Surabaya
3. Bill of Quantity (BOQ) untuk mengetahui volume pekerjaan
4. Time Schedule (Kurva S)
5. Studi Literatur (buku, materi dosen, jurnal, dll)

### 2.1. Pengendalian Proyek

Penyusunan jadwal proyek dilakukan pada saat kegiatan awal perencanaan agar pelaksanaan proyek sesuai dengan target yang telah ditetapkan hingga akhir periode proyek. Pengendalian proyek pada metode *earned value* meliputi biaya dan waktu proyek.

Perhitungan *direct cost*, *indirect cost* dan biaya keseluruhan proyek dapat dihitung dengan persamaan (1)–(3) [1]:

$$\text{Biaya Langsung (Direct Cost)} = \text{Upah Pekerja} + \text{Bahan Material} + \text{Sewa Alat} \quad (1)$$

$$\text{Biaya Tidak Langsung (Indirect Cost)} = 0,15 \times \text{Total Biaya Konstruksi} \quad (2)$$

$$\text{Total Biaya Proyek} = (\text{Biaya Langsung} + \text{Biaya Tak Langsung}) \times 1,1 \quad (3)$$

### 2.2. Elemen-elemen dari Konsep Nilai Hasil (*Earned Value*)

Konsep dasar *Earned Value* yaitu menganalisis kinerja dan memperkirakan target/sasaran suatu proyek. Manfaat yang diberikan yaitu *early warning system* atau peringatan awal tentang hal yang terjadi selanjutnya jika laporan tidak terjadi perubahan.

Persamaan (4)–(6), merupakan 3 komponen yang menjadi dasar dalam menganalisis kinerja suatu proyek [8].

$$\text{BCWS (Budgeted Cost of Work Schedule)} = \text{Bobot Rencana} \times \text{Nilai Kontrak} \quad (4)$$

$$\text{BCWP (Budgeted Cost of Work Performance)} = \text{Bobot Aktual} \times \text{Nilai Kontrak} \quad (5)$$

$$\text{ACWP (Actual Cost of Work Performed)} = \text{Biaya Langsung} + \text{Biaya Tidak Langsung} \quad (6)$$

### 2.3. Penilaian Kinerja Proyek Konstruksi

Terdapat beberapa komponen pada *Earned Value* dapat dilihat pada persamaan (7)–(10) yang digunakan untuk menganalisis kinerja proyek [8].

#### 1. Varians

Biaya (*Cost Variance - CV*):

$$\text{CV} = \text{BCWP} - \text{ACWP} \quad (7)$$

Jadwal (*Schedule Variance - SV*):

$$\text{SV} = \text{BCWP} - \text{BCWS} \quad (8)$$

#### 2. Indeks Kinerja

Biaya (*Cost Performance Index - CPI*):

$$\text{CPI} = \text{BCWP} / \text{ACWP} \quad (9)$$

Waktu (*Schedule Performance Index - SPI*):

$$\text{SPI} = \text{BCWP} / \text{BCWS} \quad (10)$$

### 2.4. Rekapitulasi Standar Penilaian Elemen Nilai Hasil

Penentuan kategori hasil penilaian waktu dan biaya dapat dilihat seperti pada **Tabel 1**. Berdasarkan **Tabel 1** tersebut, maka dapat dilakukan interpretasi hasil penilaian untuk menentukan apakah proyek tersebut untung, rugi dan berjalan sesuai jadwal atau terlambat dari jadwal yang direncanakan.

**Tabel 1.** Penilaian Elemen Nilai Hasil [11]

Indikator	Varian	Nilai	Kinerja	Nilai	Penilaian
Biaya	CV	+	CPI	>1	Mendapatkan Laba
	CV	0	CPI	1	Biaya aktual = Biaya rencana
	CV	-	CPI	<1	Mengalami Rugi Lebih cepat dari
Jadwal	SV	+	SPI	>1	jadwal
	SV	0	SPI	1	Sesuai jadwal
	SV	-	SPI	<1	Terlambat dari jadwal

### 2.5. Waktu dan biaya yang diproyeksikan untuk pekerjaan tersisa, serta perkiraan waktu dan biaya total proyek

Penentuan perkiraan biaya dapat dihitung menggunakan persamaan (11) – (13): Estimasi biaya pekerjaan tersisa atau *Estimate Temporary Cost* (ETC), dapat dihitung menggunakan Persamaan (11) [8].

$$\text{ETC} = (\text{BAC} - \text{BCWP}) / \text{CPI} \quad (11)$$

Estimasi biaya keseluruhan proyek *Estimate At Cost* (EAC), dapat dihitung dengan Persamaan (12)

$$\text{EAC} = \text{ACWP} + [(\text{BAC} - \text{BCWP}) / (\text{CPI} \times \text{SPI})] \quad (12)$$

Persamaan (13) menunjukkan selisih biaya total pelaksanaan proyek sesuai rencana dengan perkiraan biaya total proyek berdasarkan kinerja.

$$\text{VAC (Selisih Biaya)} = \text{BAC} - \text{EAC} \quad (13)$$

Penentuan perkiraan waktu dapat dihitung menggunakan persamaan (14) – (17). Estimasi waktu pekerjaan tersisa atau *Estimate Temporary Schedule* (ETS), dapat dihiung dengan persamaan (14).

$$\text{ETS} = (\text{Sisa Waktu}) / \text{SPI} \quad (14)$$

Estimasi waktu keseluruhan proyek *Estimate At Schedule* (EAS), dapat dihitung dengan persamaan (15):

$$\text{EAS} = \text{Waktu yang telah selesai} + \text{ETS} \quad (15)$$

Selisih waktu total penyelesaian proyek sesuai rencana dengan perkiraan waktu proyek berdasarkan kinerja, dapat dilihat pada persamaan (16) – (17):

$$\text{VAS} = \text{EAS} - \text{Waktu Rencana Pelaksanaan} \quad (16)$$

$$\text{TAC} = \text{EAS} / \text{SPI} \quad (17)$$

## 2.6. Penjadwalan

Pada perencanaan suatu proyek dituntut harus cermat dan tepat serta dapat diaplikasikan dengan baik. Maka dari itu untuk meminimalisir kesalahan, diperlukan suatu aplikasi yang dapat membantu pengerjaan pada saat manajemen proyek. Pada penelitian ini menggunakan *Microsoft Project* untuk menyusun penjadwalan (*scheduling*), sehingga rangkaian pekerjaan dapat tersusun rapi dengan urutan dan logika ketergantungan yang saling terhubung antar pekerjaan.

## 2.7. Metode *Crashing*

Salah satu usaha dalam menyelesaikan proyek dalam durasi normal adalah dengan mempercepat waktu penyelesaian proyek. Menurut Ervianto, Metode *Crashing* adalah metode menilai variabel biaya saat mengevaluasi pengurangan durasi terbesar dengan biaya kegiatan terendah yang masih bisa dikurangi. [12]. Ada berbagai jenis pekerjaan yang terlibat dalam pelaksanaan proyek konstruksi, terutama pada proyek konstruksi, jenis pekerjaan ini dapat mencapai ribuan item kegiatan. Beberapa metode ada untuk mempercepat operasi proyek, yaitu:

- Menjadwalkan *shift* kerja.
- Perpanjangan jam kerja atau mengadakan jam lembur.
- Memakai alat yang lebih efisien.
- Penambahan jumlah tenaga kerja
- Memakai material yang bisa digunakan lebih cepat.
- Memanfaatkan metode konstruksi yang lebih tepat.

Salah satu strategi untuk menangani keterlambatan, menurut Setyorini dan Wiharjo adalah dengan meningkatkan sumber daya berupa penambahan tenaga kerja [13]. Saat menambah tenaga kerja, penting untuk mempertimbangkan apakah ruang kerja cukup besar atau terlalu sempit, karena menambah tenaga kerja tidak boleh bertentangan dengan mereka yang bekerja pada operasi yang berjalan bersamaan. Selain itu, harus ada keseimbangan antara pengawasan dan memastikan ruang tersebut tidak sempit karena keduanya akan menurunkan produktivitas tenaga kerja [14].

Strategi lain untuk menangani keterlambatan adalah menggunakan jumlah tenaga kerja eksisting dengan penambahan jam lembur mulai dari 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam kerja. Koefisien penurunan produktivitas dalam bentuk tabel dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Koefisien Penurunan Produktivitas [1]

Jam Lembur	Penurunan Indeks	Prestasi Kerja (%)
1 Jam	0,1	90
2 Jam	0,2	80
3 Jam	0,3	70
4 Jam	0,4	60

Penentuan durasi percepatan dapat dituliskan seperti pada persamaan (18–25) [4]:

$$\text{Produktivitas Harian} = \frac{1}{\text{Koefisien Tenaga Kerja}} \quad (18)$$

$$\text{Produktivitas Tenaga Kerja Per Jam} = \frac{\text{Produktivitas Harian}}{8 \text{ jam}} \quad (19)$$

$$\text{Produktivitas harian setelah melakukan } \textit{Crashing} = (8 \text{ jam x produktivitas tenaga kerja tiap jam}) + (a \times b \times \text{produktivitas tenaga kerja tiap jam}) \quad (20)$$

Keterangan:

a = lama penambahan jam lembur

b = koefisien penurunan produktivitas tenaga kerja

$$\text{Jumlah Tenaga Kerja Normal} = \frac{\text{Volume x Koefisien Tenaga Kerja}}{\text{Durasi Normal}} \quad (21)$$

$$\text{Durasi } \textit{Crashing} = \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas } \textit{Crashing} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja}} \quad (22)$$

$$\text{Jumlah Tenaga Kerja } \textit{Crashing} = \frac{\text{Volume x Koefisien Tenaga Kerja}}{\text{Durasi } \textit{Crashing}} \quad (23)$$

$$\text{Durasi Percepatan} = \text{Durasi Normal} - \textit{Crash Duration} \quad (24)$$

$$\text{Penambahan Tenaga Kerja} = \text{Jumlah.Tenaga Kerja } \textit{Crashing} - \text{Jumlah Tenaga Kerja Normal} \quad (25)$$

Peningkatan jam kerja akan meningkatkan biaya upah tenaga kerja. Menurut Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor KEP. 102/MEN/VI/2004 upah kerja lembur bervariasi. Pada jam kerja

lembur pertama, tenaga kerja menerima 1,5 kali upah normal per jam sebagai tambahan upah, dan untuk setiap jam kerja berikutnya, mereka menerima 2 kali upah normal per jam. Persamaan (26) – (29) dapat digunakan untuk menghitung pertambahan biaya akibat jam lembur [14].

$$\text{Ongkos Normal per Hari} = \text{Produktivitas Harian} \times \text{Harga Satuan Upah Tenaga Kerja} \quad (26)$$

$$\text{Ongkos Normal per Jam} = \text{Produktivitas per Jam} \times \text{Harga Satuan Upah Tenaga Kerja} \quad (27)$$

$$\text{Biaya Lembur Tenaga Kerja} = 1.5 \times \text{upah normal per jam lembur pertama} + 2 \times n \times \text{upah normal per jam lembur berikutnya} \quad (28)$$

Keterangan:

n = jumlah penambahan jam

$$\text{Crash Cost Tenaga Kerja per Hari} = (8 \text{ jam x upah normal tenaga kerja}) + (n \times \text{biaya lembur satu jam}) \quad (29)$$

Kenaikan biaya langsung atau *direct cost* merupakan akibat dari melakukan *Crashing*. Mengingat pekerjaan akan selesai dalam waktu yang lebih cepat, maka komponen biaya tidak langsung atau *indirect cost* juga akan berkurang. Maka dari itu, peneliti akan membandingkan metode *Crashing*

manakah yang lebih efektif antara penambahan tenaga kerja atau jam lembur.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada hasil dan pembahasan akan didiskusikan hasil dari analisis data di lapangan meliputi: perhitungan kinerja proyek, analisis estimasi penyelesaian proyek, analisis lintasan kritis, perhitungan *crashing*, penentuan biaya optimum.

Adapun data rencana penjadwalan dan bobot pekerjaan proyek dapat dilihat pada **Tabel 3**. Sedangkan data hasil capaian bobot pekerjaan yang seharusnya dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan BCWS

Minggu Ke-	BAC (Rp)	Bobot BCWS (%)		BCWS (Rp)	
		Mingguan	Kumulatif	Mingguan	Kumulatif
1	Rp57.229.514.000,00	0,007%	0,007%	3.959.771,42	3.959.771
2		0,007%	0,014%	3.959.771,42	7.919.543
3		0,007%	0,021%	3.959.771,42	11.879.314
4		0,007%	0,028%	3.959.771,42	15.839.086
5		0,007%	0,035%	3.959.771,42	19.798.857
6		0,007%	0,042%	3.959.771,42	23.758.629
7		0,007%	0,048%	3.959.771,42	27.718.400
8		0,007%	0,055%	3.959.771,42	31.678.171
9		1,738%	1,793%	994.567.731,32	1.026.245.903
10		1,738%	3,531%	994.567.731,32	2.020.813.634
11		2,360%	5,891%	1.350.562.880,49	3.371.376.514
12		2,360%	8,251%	1.350.562.880,49	4.721.939.395
13		0,000%	8,251%	-	4.721.939.395
14		0,000%	8,251%	-	4.721.939.395
15		3,248%	11,499%	1.858.780.544,92	6.580.719.940
16		3,248%	14,747%	1.858.780.544,92	8.439.500.485
17		1,310%	16,056%	749.518.918,43	9.189.019.403
18		1,669%	17,726%	955.256.549,54	10.144.275.953
19		1,934%	19,660%	1.106.914.761,64	11.251.190.714
20		1,296%	20,956%	741.762.990,25	11.992.953.705
21		1,492%	22,448%	853.932.837,69	12.846.886.542
22		2,766%	25,214%	1.582.780.642,27	14.429.667.185
23		3,231%	28,444%	1.848.833.547,51	16.278.500.732
24		1,053%	29,497%	602.494.782,46	16.880.995.515
25		1,053%	30,550%	602.494.782,46	17.483.490.297
26		1,053%	31,603%	602.494.782,46	18.085.985.080
27		1,053%	32,655%	602.494.782,46	18.688.479.862
28		1,053%	33,708%	602.494.782,46	19.290.974.644
29		1,053%	34,761%	602.494.782,46	19.893.469.427
30		1,344%	36,105%	768.997.241,67	20.662.466.669
31		2,260%	38,365%	1.293.576.921,36	21.956.043.590
32		3,337%	41,702%	1.909.594.612,82	23.865.638.203
33		3,537%	45,239%	2.024.344.419,00	25.889.982.622
34		3,737%	48,976%	2.138.906.300,37	28.028.888.922
35		3,973%	52,949%	2.273.684.556,65	30.302.573.479
36		3,969%	56,918%	2.271.528.445,87	32.574.101.925
37		4,400%	61,318%	2.517.834.384,62	35.091.936.309
38		4,400%	65,717%	2.517.834.384,62	37.609.770.694
39		4,245%	69,962%	2.429.164.530,60	40.038.935.224
40		4,008%	73,970%	2.293.739.516,46	42.332.674.741
41		3,852%	77,822%	2.204.631.872,37	44.537.306.613
42		3,820%	81,642%	2.186.007.082,83	46.723.313.696
43		3,682%	85,324%	2.107.447.086,44	48.830.760.783
44		3,682%	89,007%	2.107.447.086,44	50.938.207.869
45		3,480%	92,487%	1.991.856.990,04	52.930.064.859
46		3,284%	95,771%	1.879.161.567,66	54.809.226.427
47		2,922%	98,693%	1.672.069.722,05	56.481.296.149
48		1,307%	100,000%	748.217.851,24	57.229.514.000
		<b>100%</b>		<b>57.229.514.000,00</b>	

Perhitungan BCWS dapat menggunakan persamaan (4). Berikut contoh perhitungan nilai BCWS pada minggu ke-25 sebagai titik pengamatan proyek.

$$\begin{aligned}
 BCWS &= \text{Bobot Rencana} \times \text{Nilai Kontrak} \\
 &= 30,550\% \times \text{Rp}.57.229.514.000,00 \\
 &= \text{Rp}.17.483.490.297,00
 \end{aligned}$$

Sedangkan nilai komulatif BCWS yang dihitung berdasarkan progress rencana pada kurva S pada minggu ke – 48 sebesar Rp. 57.229.514.000,00.

**Tabel 4.** Hasil Perhitungan BCWP

Minggu Ke-	BAC (Rp)	Bobot BCWP (%)		BCWP (Rp)	
		Mingguan	Kumulatif	Mingguan	Kumulatif
1	Rp57.229.514.000,00	0,028%	0,028%	15.933.954,46	15.933.954,46
2		0,035%	0,063%	20.070.012,66	36.003.967,12
3		0,034%	0,097%	19.414.931,52	55.418.898,64
4		0,034%	0,131%	19.704.113,15	75.123.011,79
5		0,035%	0,166%	19.801.466,30	94.924.478,09
6		0,034%	0,200%	19.508.585,93	114.433.064,02
7		0,099%	0,299%	56.709.617,91	171.142.681,93
8		0,029%	0,328%	16.487.981,52	187.630.663,45
9		0,004%	0,332%	2.408.475,93	190.039.139,39
10		0,009%	0,341%	5.008.742,53	195.047.881,92
11		0,307%	0,648%	175.700.919,52	370.748.801,44
12		1,030%	1,677%	589.258.942,77	960.007.744,21
13		0,760%	2,437%	434.888.644,73	1.394.896.388,94
14		0,000%	2,437%	-	1.394.896.388,94
15		0,270%	2,707%	154.489.766,82	1.549.386.155,75
16		0,356%	3,063%	203.737.069,84	1.753.123.225,59
17		3,889%	6,952%	2.225.655.799,46	3.978.779.025,05
18		2,158%	9,110%	1.234.894.349,96	5.213.673.375,02
19		1,521%	10,631%	870.652.457,44	6.084.325.832,46
20		2,182%	12,813%	1.248.747.995,48	7.333.073.827,94
21		1,892%	14,705%	1.082.782.404,88	8.415.856.232,82
22		1,973%	16,678%	1.129.138.311,22	9.544.994.544,04
23		0,058%	16,736%	33.193.118,12	9.578.187.662,16
24		1,096%	15,054%	626.955.096,82	8.615.363.001,32
25		0,000%	15,054%	-	8.615.363.001,32

Perhitungan nilai BCWP dapat menggunakan persamaan (5). Berikut contoh perhitungan nilai BCWP pada minggu ke-25 sebagai titik pengamatan proyek:

$$\begin{aligned}
 BCWP &= \text{Bobot Aktual} \times \text{Nilai Kontrak} \\
 &= 15,054\% \times \text{Rp}.57.229.514.000,00 \\
 &= \text{Rp}.8.615.363.001,32
 \end{aligned}$$

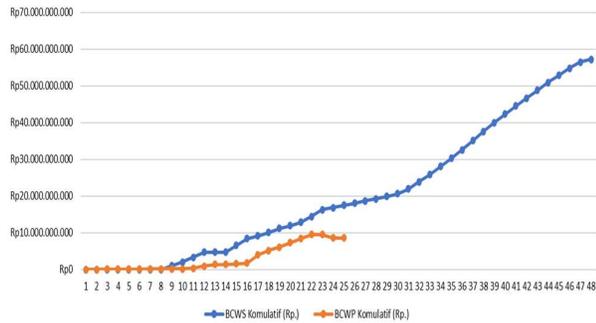
Berdasarkan **Tabel 4** nilai komulatif BCWP yang dihitung berdasarkan progress aktual pada kurva S pada minggu ke – 25 sebesar Rp 8.615.363.001,32. Perhitungan BCWP Komulatif dan BCWS Komulatif diringkas dalam grafik, dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Berdasarkan **Gambar 1** dapat dilihat pada titik peninjauan proyek berada pada Minggu ke – 25, dari total 48 Minggu total masa pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung *Research Center* UPN Veteran Jawa Timur.

### 3.1. Perhitungan Kinerja Proyek

Perhitungan kinerja proyek dapat dilakukan dengan menggunakan data BCWS dan BCWP. Hasil analisis perhitungan kinerja waktu proyek dapat dilihat pada **Tabel 5**. Hasil perhitungan kinerja ini dapat dijadikan tolok ukur penentuan kategori proyek apakah mengalami keterlambatan atau kemajuan. Jika proyek mengalami keterlambatan maka

harus segera dilakukan pengendalian dengan melakukan re-planning agar tidak mengganggu penyelesaian akhir proyek.



Gambar 1. Kurva S Nilai Hasil (Earned Value)

Tabel 5. Hasil Perhitungan SV dan SPI

Minggu Ke-	BCWP Kumulatif (Rp)	BCWS Kumulatif (Rp)	SV		SPI
			(Rp)	(%)	
1	15.933.954,46	3.959.771,42	11.974.183,04	0,02%	4,024
2	36.003.967,12	7.919.542,84	28.084.424,28	0,05%	4,546
3	55.418.898,64	11.879.314,26	43.539.584,38	0,08%	4,665
4	75.123.011,79	15.839.085,68	59.283.926,11	0,10%	4,743
5	94.924.478,09	19.798.857,10	75.125.620,99	0,13%	4,794
6	114.433.064,02	23.758.628,52	90.674.435,50	0,16%	4,816
7	171.142.681,93	27.718.399,95	143.424.281,98	0,25%	6,174
8	187.630.663,45	31.678.171,37	155.952.492,08	0,27%	5,923
9	190.039.139,39	1.026.245.902,69	- 836.206.763,30	-1,46%	0,185
10	195.047.881,92	2.020.813.634,01	- 1.825.765.752,09	-3,19%	0,097
11	370.748.801,44	3.371.376.514,50	- 3.000.627.713,06	-5,24%	0,110
12	960.007.744,21	4.721.939.394,99	- 3.761.931.650,78	-6,57%	0,203
13	1.394.896.388,94	4.721.939.394,99	- 3.327.043.006,05	-5,81%	0,295
14	1.394.896.388,94	4.721.939.394,99	- 3.327.043.006,05	-5,81%	0,295
15	1.549.386.155,75	6.580.719.939,91	- 5.031.333.784,15	-8,79%	0,235
16	1.753.123.225,59	8.439.500.484,83	- 6.686.377.259,24	-11,7%	0,208
17	3.978.779.025,05	9.189.019.403,26	- 5.210.240.378,21	-9,10%	0,433
18	5.213.673.375,02	10.144.275.952,80	- 4.930.602.577,79	-8,62%	0,514
19	6.084.325.832,46	11.251.190.714,44	- 5.166.864.881,98	-9,03%	0,541
20	7.333.073.827,94	11.992.953.704,69	- 4.659.879.876,75	-8,14%	0,611
21	8.415.856.232,82	12.846.886.542,38	- 4.431.030.309,56	-7,74%	0,655
22	9.544.994.544,04	14.429.667.184,65	- 4.884.672.640,61	-8,54%	0,661
23	9.578.187.662,16	16.278.500.732,16	- 6.700.313.070,00	-11,7%	0,588
24	8.615.363.001,32	16.880.995.514,61	- 8.265.632.513,29	-14,4%	0,510
25	8.615.363.001,32	17.483.490.297,07	- 8.868.127.295,75	-15,5%	0,493

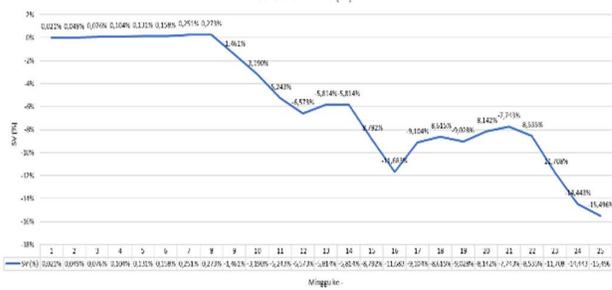
Berikut contoh perhitungan SV dan SPI pada titik terakhir peninjauan Minggu ke – 25 dapat menggunakan persamaan (7-10).

$$\begin{aligned}
 SV &= BCWP - BCWS \\
 &= \text{Rp. } 8.615.363.001,32 - \text{Rp. } 17.483.490.297,07 \\
 &= - \text{Rp. } 8.868.127.295,75 \\
 &= (-15,496\%)
 \end{aligned}$$

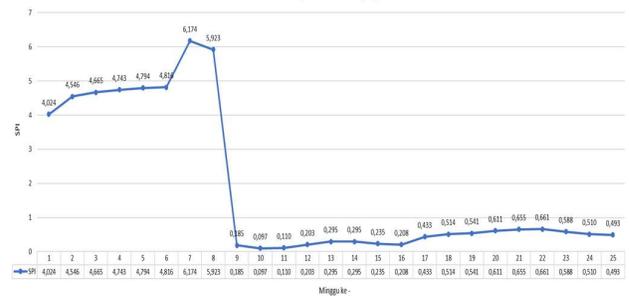
$$\begin{aligned}
 SPI &= BCWS / BCWP \\
 &= \text{Rp. } 8.615.363.001,32 / \text{Rp. } 17.483.490.297,07 \\
 &= 0,493 < 1
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan bahwa pada minggu ke-25 terjadi keterlambatan sebesar 15,496%, dan perhitungan SPI sebesar 0,493 < 1 yang menyebabkan jadwal realisasi jauh dari rencana semula.

Perhitungan SV dan SPI diringkaskan dalam grafik, dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Schedule Variance (SV)



Gambar 3. Grafik Schedule Performance Index (SPI)

Hasil perhitungan kinerja proyek pada metode earned value dapat digunakan untuk memperkirakan waktu penyelesaian dan kebutuhan biaya penyelesaian proyek. Perhitungan estimasi waktu pekerjaan tersisa dan estimasi keseluruhan waktu proyek.

- ETS (perkiraan waktu pekerjaan tersisa)
  - Waktu Rencana = 48 minggu
  - Waktu Pelaporan = 25 minggu
  - Sisa Waktu = 48 – 25 = 23 minggu
  - ETS = Sisa Waktu / SPI
  - = 23 / 0,493
  - = 46,4768 minggu ≈ 47 minggu
- EAS (perkiraan total waktu proyek)
  - Waktu Pelaporan = 25 minggu
  - Nilai ETS = 47 minggu
  - EAS = Waktu Pelaporan + ETS
  - = 25 + 47
  - = 72 minggu
- VAS = EAS – Waktu Rencana Pelaksanaan
  - = 72 minggu – 48 minggu
  - = 24 minggu
  - (Behind Scheduled / lebih lambat 24 minggu)

Jadi, hasil analisis perkiraan waktu total pada minggu ke-25 proyek akan mengalami Behind Scheduled atau terlambat dari jadwal rencana. Perhitungan ETS dan EAS dibuat dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Perhitungan ETS dan EAS

Minggu Ke-	SPI	Sisa Minggu	ETS (Minggu)	EAS (minggu)
1	4,024	47	12	13
2	4,546	46	10	12
3	4,665	45	10	13
4	4,743	44	9	13
5	4,794	43	9	14
6	4,816	42	9	15
7	6,174	41	7	14
8	5,923	40	7	15
9	0,185	39	211	220
10	0,097	38	394	404
11	0,110	37	336	347
12	0,203	36	177	189
13	0,295	35	118	131
14	0,295	34	115	129
15	0,235	33	140	155
16	0,208	32	154	170
17	0,433	31	72	89
18	0,514	30	58	76
19	0,541	29	54	73
20	0,611	28	46	66
21	0,655	27	41	62
22	0,661	26	39	61
23	0,588	25	42	65
24	0,510	24	47	71
25	0,493	23	47	72

**3.2. Pekerjaan yang melalui lintasan kritis**

Lintasan kritis merupakan jalur terpanjang dari rangkaian pekerjaan dari awal sampai dengan selesai. Lintasan kritis ini akan mempengaruhi durasi penyelesaian suatu proyek. Untuk mengetahui pekerjaan yang masuk dalam lintasan kritis, maka diperlukan analisis teknik penjadwalan. Salah satu teknik penjadwalan yang mudah dan cepat adalah menggunakan aplikasi *Microsoft Office Project*. *Microsoft Office Project* dapat membandingkan jadwal awal kapan proyek akan dimulai dengan jadwal *crashing* yang dihasilkan untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek konstruksi [15]. Berikut analisis *Microsoft Office Project* dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Sedangkan pekerjaan yang masuk dalam jalur kritis adalah semua pekerjaan yang diberi blok warna abu-abu pada luaran *Microsoft Office Project*. Daftar pekerjaan yang masuk dalam lintasan kritis dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Lintasan kritis ini dipergunakan untuk memperpendek durasi suatu proyek melalui *crashing* pada item pekerjaan yang masuk dalam lintasan kritis tersebut. Metode *crashing* akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

**Tabel 7.** Pekerjaan pada lintasan kritis

Simbol	Task Name	Duration	Predecessors
	Gedung Research Center	317 days	
	Pekerjaan Struktur	238 days	
	Lantai Top Floor (Elev. +30.00 M)	154 days	
B12	Pekerjaan Beton	70 days	B11
B13	Pekerjaan Rangka Atap	63 days	B12

Simbol	Task Name	Duration	Predecessors
	Pekerjaan Arsitektur	132 days	
	Top Floor (Elev. +30.00 M)	83 days	
C68	Pekerjaan Pasangan Dan Beton Praktis	7 days	C51
C69	Pekerjaan Plesteran, Acian Dan Benangan	35 days	C68
C70	Pekerjaan Penutup Lantai Dan Dinding	7 days	C69
C71	Pekerjaan Kusen Pintu Dan Jendela	14 days	C70
C72	Pekerjaan Pengecatan	20 days	C71
	Pekerjaan Fasade (Lt. 1 S/D 7 & Top Floor)	83 days	
C73	Fasade Tampak Depan :	28 days	C68
C74	Fasade Tampak Belakang	7 days	C73
C75	Fasade Tampak Samping Kanan :	28 days	C74
C76	Fasade Tampak Samping Kiri	20 days	C75
	Pekerjaan MEP	125 days	
	Pekerjaan Mekanikal	118 days	
D12	Pekerjaan Pemadam Kebakaran	42 days	D1
D13	Pekerjaan Air Bersih	14 days	D12
D14	Pekerjaan Air Kotor, Air Bekas Dan Vent	7 days	D13
D15	Pekerjaan Air Bekas Laboratorium	14 days	D14
D16	Pekerjaan Air Hujan	7 days	D15
D17	Pekerjaan Air Conditioning (AC)	7 days	D16
D18	Pekerjaan Exhaust Fan	14 days	D17
D19	Pekerjaan Instalasi Gas	7 days	D18
D20	Pekerjaan Lift	6 days	D19

**3.3. Perhitungan Program Crashing**

Program *crashing* yang digunakan pada penelitian ini ada 2 yaitu: (i) *Crashing* dengan penambahan jam lembur, dan (ii) *Crashing* dengan penambahan jam lembur (1 jam, 2 jam dan 3 jam). Program *crashing* ini dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan keterlambatan proyek yang diperkirakan terjadi selama 24 minggu atau 168 hari (berdasarkan perhitungan VAS di atas) dari durasi normal 330 hari kalender. Perkiraan ini diperoleh dari metode Earned Value yang sudah didiskusikan sebelumnya.

a) *Crashing dengan penambahan jam lembur*

Pada program *crashing* dengan penambahan jam lembur dilakukan dengan menambahkan jam kerja dengan tenaga kerja sesuai eksting. Cara perhitungannya yaitu mencari produktivitas harian kemudian dijadikan perjam. Selanjutnya produktivitas tersebut dikalikan dengan banyaknya jam kerja plus lembur dalam satu hari. Adapun contoh perhitungan dapat dilihat pada beberapa pekerjaan dibawah ini.

- a. Beton berstruktur f'c = 35 Mpa = 88,57 m<sup>3</sup>
- b. Pembesian dengan besi ulir = 190,44 kg
- c. Pasang bekisting 2x pakai = 8,00 m<sup>2</sup>

Contoh perhitungan pada Beton berstruktur f'c = 35 Mpa

$$\begin{aligned}
 \text{Durasi} &= 5 \text{ hari} \\
 \text{Koefisien Tenaga Kerja} &= 0,35 \\
 \text{Produktivitas Harian} &= \frac{1}{\text{Koefisien Tenaga Kerja}} \\
 &= \frac{1}{0,35} \\
 &= 2,86 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Produktivitas Per Jam} &= \frac{\text{Produktivitas Harian}}{8 \text{ jam}} \\
 &= \frac{2,86 \text{ m}^3/\text{hari}}{8 \text{ jam}}
 \end{aligned}$$

$$= 0,357 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Produktivitas Tenaga Kerja Setelah *Crashing*

$$\begin{aligned} &= (8 \text{ jam} \times \text{Produktivitas Per Jam}) + (\text{Jam Lembur} \times \\ &\text{Koefisien Penurunan Produktivitas} \times \text{Produktivitas} \\ &\text{Per Jam}) \\ &= (8 \times 0,357) + (2 \times 0,8 \times 0,357) \\ &= 3,43 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

*Crash Duration*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas } \textit{Crashing} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja}} \\ &= \frac{88,57}{3,43 \times 6} \\ &= 4 \text{ hari} \end{aligned}$$

Durasi Percepatan

$$\begin{aligned} &= \text{Durasi Normal} - \textit{Crash Duration} \\ &= 5 \text{ hari} - 4 \text{ hari} \\ &= 1 \text{ hari} \end{aligned}$$

b) *Crashing dengan penambahan tenaga kerja*

Pada program *crashing* dengan penambahan tenaga kerja dilakukan dengan menghitung jumlah tenaga kerja berdasarkan produktivitas dan target durasi yang ditentukan. Adapun contoh perhitungan dapat dilihat pada beberapa pekerjaan dibawah ini.

Contoh perhitungan pada Beton berstruktur  $f'c = 35 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} \text{Durasi} &= 5 \text{ hari} \\ \text{Koefisien Tenaga Kerja} &= 0,35 \\ \text{Produktivitas Harian} &= \frac{1}{\text{Koefisien Tenaga Kerja}} \\ &= \frac{1}{0,35} \\ &= 2,86 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Jumlah Tenaga Kerja Normal

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Volume} \times \text{Koefisien Tenaga Kerja}}{\text{Durasi Normal}} \\ &= \frac{88,57 \times 0,35}{5} \\ &= 6 \text{ orang} \end{aligned}$$

Jumlah Tenaga Kerja Setelah *Crashing*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Volume} \times \text{Koefisien Tenaga Kerja}}{\text{Durasi } \textit{Crashing}} \\ &= \frac{88,57 \times 0,35}{4} \\ &= 7 \text{ orang} \end{aligned}$$

Penambahan Tenaga Kerja

$$\begin{aligned} &= \text{Jumlah Tenaga Kerja } \textit{Crashing} - \text{Jumlah Tenaga} \\ &\text{Kerja Normal} \\ &= 7 \text{ orang} - 6 \text{ orang} \\ &= 1 \text{ orang} \end{aligned}$$

*Crash Duration*

Volume

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas } \textit{Crashing} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja}} \\ &= \frac{88,57}{3,43 \times 6} \\ &= 4 \text{ hari} \end{aligned}$$

Durasi Percepatan

$$\begin{aligned} &= \text{Durasi Normal} - \textit{Crash Duration} \\ &= 5 \text{ hari} - 4 \text{ hari} \\ &= 1 \text{ hari} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh hasil penambahan tenaga kerja di setiap masing-masing pekerjaan:

- Pekerjaan Struktur = 7 orang
- Pekerjaan Arsitektur = 47 orang
- Pekerjaan MEP = 36 orang

Berdasarkan **Tabel 7** didapatkan *Crash Duration* dari beberapa pekerjaan yang masuk dalam lingkup jalur kritis adalah sebagai berikut:

- Pekerjaan Struktur Lantai Top Floor (ELV. +30.00)
  - Pekerjaan Beton = 14 hari
  - Pekerjaan Rangka Atap = 48 hari
- Pekerjaan Arsitektur Lantai Top Floor (ELV. +30.00)
  - Pekerjaan Pasangan dan Beton Praktis = 1 hari
  - Pekerjaan Plesteran, Acian dan Benangan = 5 hari
  - Pekerjaan Penutup Lantai dan Dinding = 4 hari
  - Pekerjaan Pengecatan = 2 hari
- Pekerjaan Fasade (Lt. 1 s/d 7 & Top Floor)
  - Fasade Tampak Depan = 20 hari
  - Fasade Tampak Belakang = 3 hari
  - Fasade Tampak Samping Kanan = 6 hari
  - Fasade Tampak Samping Kiri = 10 hari
- Pekerjaan Mekanikal
  - Pekerjaan Pemadam Kebakaran = 37 hari
  - Pekerjaan Air Bersih = 13 hari
  - Pekerjaan Air Kotor, Air Bekas Vent = 5 hari
  - Pekerjaan Air Bekas Laboratorium = 7 hari
  - Pekerjaan Air Hujan = 1 hari
  - Pekerjaan Air Conditioning (AC) = 23 hari
  - Pekerjaan Exhaust Fan = 10 hari
  - Pekerjaan Lift = 3 hari

Maka didapatkan rekapitulasi penambahan jam kerja yang tertera pada **Tabel 8**.

Durasi total untuk penyelesaian pembangunan proyek setelah dipercepat dengan menggunakan metode *Crashing* didapatkan yaitu 295 hari atau 43 minggu. Artinya, proyek mengalami percepatan selama 5 minggu dari rencana 330 hari atau 48 minggu.

**Tabel 8.** Rekapitulasi Penambahan Jam Kerja

Uraian Waktu Lembur	Durasi Normal		Durasi Keterlambatan		Durasi Percepatan	
	Hari	Minggu	Hari	Minggu	Hari	Minggu
Penambahan 1 jam kerja	330	48	498	72	122	21
Penambahan 2 jam kerja	330	48	498	72	203	29
Penambahan 3 jam kerja	330	48	498	72	247	35
Penambahan 4 jam kerja	330	48	498	72	274	39

Uraian Waktu Lembur	Durasi total setelah Crashing		Keterangan
	Hari	Minggu	
Penambahan 1 jam kerja	376	51	Masih terlambat selama 3 minggu
Penambahan 2 jam kerja	295	43	Lebih cepat 5 minggu dari waktu normal
Penambahan 3 jam kerja	251	37	Lebih cepat 11 minggu dari waktu normal
Penambahan 4 jam kerja	224	33	Lebih cepat 15 minggu dari waktu normal

**3.4. Perhitungan Biaya Optimum**

Biaya optimum dipilih berdasarkan luaran *crashing* program menggunakan penambahan tenaga kerja atau *crashing* program menggunakan penambahan jam lembur. Berikut adalah contoh perhitungan biaya tambahan pada masing-masing pekerjaan dengan tambahan tenaga kerja dan 2 jam kerja atau lembur yang selanjutnya dibandingkan dengan waktu durasi normal tanpa adanya penambahan jam kerja.

a) Perhitungan Tanpa Menggunakan Metode *Crashing* hingga keterlambatan proyek (*Normal Duration*)

Contoh perhitungan pada Pekerjaan Pembesian  
 Total rata – rata tenaga kerja / hari = 18 tenaga kerja  
 Normal *cost* tenaga kerja

$$= \left[ \frac{K_{Mandor}}{K_{Tukang}} \times Upah Mandor \right] + \left[ \frac{K_{KepalaTukang}}{K_{Tukang}} \times Upah KT \right] + \left[ \frac{K_{Tukang}}{K_{Tukang}} \times Upah Tukang \right] + \left[ \frac{K_{Pekerja}}{K_{Tukang}} \times Upah Pekerja \right]$$

$$= \left[ \frac{0,004}{0,07} \times 150.500 \right] + \left[ \frac{0,007}{0,07} \times 141.700 \right] + \left[ \frac{0,07}{0,07} \times 137.300 \right] + \left[ \frac{0,07}{0,07} \times 97.700 \right]$$

$$= \text{Rp. } 257.770,-$$

Normal *cost* per jam = Rp. 257.770,- / 8 jam  
 = Rp. 32.221,- ≈ Rp. 32.300,-

Biaya lembur per jam = (1,5 x upah satu jam normal untuk jam lembur pertama) + (2 x n x upah satu jam normal untuk jam lembur berikutnya)  
 = (1,5 x Rp.32.300,-) + (2 x 2 x Rp.32.300,-)

= Rp.177.650,-

Biaya Tambahan = Rp.177.650,- x 238 hari x 18 orang  
 = Rp.761.052.600,-

b) Perhitungan dengan Menggunakan Metode *Crashing* (Penambahan Tenaga Kerja)

Contoh perhitungan pada Pekerjaan Pembesian  
 Total rata – rata tenaga kerja / hari = 18+ 7 = 25 tenaga kerja

Normal *cost* tenaga kerja

$$= \left[ \frac{K_{Mandor}}{K_{Tukang}} \times Upah Mandor \right] + \left[ \frac{K_{KepalaTukang}}{K_{Tukang}} \times Upah KT \right] + \left[ \frac{K_{Tukang}}{K_{Tukang}} \times Upah Tukang \right] + \left[ \frac{K_{Pekerja}}{K_{Tukang}} \times Upah Pekerja \right]$$

$$= \left[ \frac{0,004}{0,07} \times 150.500 \right] + \left[ \frac{0,007}{0,07} \times 141.700 \right] + \left[ \frac{0,07}{0,07} \times 137.300 \right] + \left[ \frac{0,07}{0,07} \times 97.700 \right]$$

$$= \text{Rp. } 257.770,-$$

Normal *cost* per jam = Rp. 257.770,- / 8 jam  
 = Rp. 32.221,- ≈ Rp. 32.300,-

Biaya lembur per jam = (1,5 x upah satu jam normal untuk jam lembur pertama) + (2 x n x upah satu jam normal untuk jam lembur berikutnya)  
 = (1,5 x Rp.32.300,-) + (2 x 2 x Rp.32.300,-)  
 = Rp.177.650,-

Biaya Tambahan = Rp.177.650,- x 35 hari x 25 orang  
 = Rp.155.443.750,-

c) Perhitungan dengan Menggunakan Metode *Crashing* (Penambahan 2 Jam Kerja)

Contoh perhitungan pada Pekerjaan Pembesian  
 Total rata – rata tenaga kerja / hari = 18 tenaga kerja

Normal *cost* tenaga kerja

$$= \left[ \frac{K_{Mandor}}{K_{Tukang}} \times Upah Mandor \right] + \left[ \frac{K_{KepalaTukang}}{K_{Tukang}} \times Upah KT \right] + \left[ \frac{K_{Tukang}}{K_{Tukang}} \times Upah Tukang \right] + \left[ \frac{K_{Pekerja}}{K_{Tukang}} \times Upah Pekerja \right]$$

$$= \left[ \frac{0,004}{0,07} \times 150.500 \right] + \left[ \frac{0,007}{0,07} \times 141.700 \right] + \left[ \frac{0,07}{0,07} \times 137.300 \right] + \left[ \frac{0,07}{0,07} \times 97.700 \right]$$

$$= \text{Rp. } 257.770,-$$

Normal *cost* per jam = Rp. 257.770,- / 8 jam  
 = Rp. 32.221,- ≈ Rp. 32.300,-

Biaya lembur per jam = (1,5 x upah satu jam normal untuk jam lembur pertama) + (2 x n x upah satu jam normal untuk jam lembur berikutnya)  
 = (1,5 x Rp.32.300,-) + (2 x 2 x Rp.32.300,-)  
 = Rp.177.650,-

$$\begin{aligned}
 \text{Crash Cost Tenaga Kerja} &= \text{Normal Cost Tenaga Kerja} + \\
 &\quad \text{Biaya Lembur} \\
 &= \text{Rp.257.770,-} + \text{Rp.177.650,-} \\
 &= \text{Rp.435.420,-} \\
 \text{Biaya Tambahan} &= \text{Crash Cost Tenaga Kerja} \times \text{Durasi} \\
 &\quad \text{Crashing} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja} \\
 &= \text{Rp.435.420,-} \times 35 \text{ hari} \times 18 \text{ orang} \\
 &= \text{Rp.274.314.600,-}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Penambahan Biaya pada Durasi Normal dan *Crashing* dapat dilihat pada **Tabel 9**. Setelah itu perhitungan biaya optimum akan ditambahkan dengan biaya langsung atau *direct cost* proyek.

**Tabel 9.** Rekapitulasi Penambahan Biaya pada Durasi Normal dan *Crashing*

Pekerjaan	Jenis Durasi	Penambahan Hari	Biaya Lembur (Rp)	Jumlah Tenaga Kerja	Total Cost (Rp.)	
Besi	Normal	238	177.650	18	761.052.600	
	Crashing	Tenaga Kerja	35	177.650	25	155.443.750
	Jam Lembur	35	435.420	18	274.314.600	
Bekisting	Normal	238	249.150	24	1.423.144.800	
	Crashing	Tenaga Kerja	35	249.150	31	270.327.750
	Jam Lembur	35	611.070	24	513.298.800	
Beton	Normal	238	326.150	6	465.742.200	
	Crashing	Tenaga Kerja	35	326.150	13	148.398.250
	Jam Lembur	35	799.850	6	167.968.500	
Arsitektur	Normal	251	140.250	15	528.041.250	
	Crashing	Tenaga Kerja	48	140.250	62	417.384.000
	Jam Lembur	48	343.683	15	247.451.760	
MEP	Normal	286	148.500	28	1.189.188.000	
	Crashing	Tenaga Kerja	83	148.500	68	788.832.000
	Jam Lembur	83	364.135	28	846.249.740	
TOTAL	Normal				4.367.168.850	
	Crashing	Tenaga Kerja			1.780.385.750	
	Jam Lembur				2.049.283.400	

Berikut perbandingan biaya sebelum menggunakan metode *Crashing* dan setelah menggunakan metode *Crashing* pada **Tabel 10** dan **Tabel 11**.

**Tabel 10.** Penambahan Biaya (Terjadi Keterlambatan)

<b>NORMAL COST</b>				4.367.168.850
Penaan denda tidak menghitung nilai PPN (Peres no. 16/2018 pasal 79 ayat 5)				
Adapun besaran denda maksimum umumnya sebesar 5% (lima persen)				
-Denda 5% kontrak	51.558.121.000	5%		2.577.906.050
<b>-Alat</b>				
a. TC	72.459.200	3 bulan		217.377.600
b. PH	25.000.000	3 bulan		75.000.000
c. Theodolit	7.000.000	3 bulan		21.000.000
d. Scaffolding	5.400.000	3 bulan		16.200.000
-Direksi keet	10.800.000	4 bulan		43.200.000
-Listrik perbulan	8.000.000	3 bulan		24.000.000
				2.974.683.650
			<b>TOTAL</b>	<b>7.341.852.500</b>

Total Normal Cost = Biaya Normal + *Direct Cost* Proyek  
 Total Normal Cost = Rp. 4.367.168.850 + Rp. 2.974.683.650  
 = Rp. 7.341.852.500

**Tabel 11.** Penambahan Biaya (Menggunakan Metode *Crashing*)

<b>CRASH COST (Penambahan Tenaga Kerja)</b>				1.780.385.750
<b>-Alat</b>				
a. TC	72.459.200	1 bulan		72.459.200
b. PH	25.000.000	1 bulan		25.000.000
c. Theodolit	7.000.000	1 bulan		7.000.000
d. Scaffolding	5.400.000	1 bulan		5.400.000
-Listrik perbulan	8.000.000	1 bulan		8.000.000
				117.859.200
			<b>TOTAL</b>	<b>1.662.526.550</b>

<b>CRASH COST (Penambahan Jam Lembur)</b>				2.049.283.400
<b>-Alat</b>				
a. TC	72.459.200	1 bulan		72.459.200
b. PH	25.000.000	1 bulan		25.000.000
c. Theodolit	7.000.000	1 bulan		7.000.000
d. Scaffolding	5.400.000	1 bulan		5.400.000
-Listrik perbulan	8.000.000	1 bulan		8.000.000
				117.859.200
			<b>TOTAL</b>	<b>1.931.424.200</b>

Total Biaya *Crashing* (Penambahan Tenaga Kerja)

= Biaya setelah *Crashing* – *Direct Cost* Proyek

= Rp. 1.780.385.750 – Rp. 117.859.200

= Rp. 1.662.526.550

Total Biaya *Crashing* (Penambahan Jam Lembur)

= Biaya setelah *Crashing* – *Direct Cost* Proyek

= Rp. 2.049.283.400 – Rp. 117.859.200

= Rp. 1.931.424.200

**Tabel 12.** Rekapitulasi Perbandingan Biaya dan Durasi

Uraian	Durasi (hari)	Penambahan Biaya	Total Biaya
Pekerjaan dengan Durasi Normal (sesuai kontrak)	330	-	57.229.514.000
Pekerjaan dengan Durasi Keterlambatan	498	7,341,852,500	64.571.366.500
Alternatif Penambahan Tenaga Kerja	295	1,662,526,550	58.892.040.550
Alternatif Penambahan Jam Kerja (Lembur)	295	1,931,424,200	59.160.938.200

#### 4. Simpulan

Berdasarkan analisis proyek pembangunan gedung yang mengalami terlambat pada minggu ke-25 sebesar 15.496% (dengan nilai SPI = 0,493). Jika proyek ini tidak dikendalikan maka dapat diperkirakan bahwa proyek tersebut akan mengalami keterlambatan yang sangat signifikan dan pembengkakan biaya yang cukup besar yaitu membutuhkan waktu penyelesaian 72 minggu dari rencana 48 minggu dengan biaya sebesar Rp. 64,57 miliar dari Rp. 57,23 miliar. Namun jika proyek ini dikendalikan dengan teknik *crashing* yang baik dan optimal maka keterlambatan proyek ini dapat direduksi menjadi 43 minggu dengan biaya penyelesaian menjadi Rp. 58.89 miliar. Metode *crashing* yang paling optimal adalah dengan melakukan penambahan tenaga kerja dengan syarat bahwa ada ruang yang cukup bagi pekerja yang akan ditambahkan serta adanya penambahan alat bantu.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode *earned value* dapat mengukur kinerja dan memprediksi waktu dan biaya penyelesaian proyek. Kinerja yang dihasilkan ini dapat dipergunakan untuk melakukan pengendalian penyelesaian proyek. Sedangkan metode untuk pengendalian proyek yang terlambat dapat menggunakan metode *crashing* program. Dengan demikian metode *hybrid earned value-crash program* dapat dijadikan salah satu alternatif pengukuran dan pengendalian proyek.

Salah satu kelemahan dari metode Earn Value adalah menghasilkan nilai kinerja (SPI) yang berubah-ubah setiap periode pengamatan sehingga berdampak pada nilai perkiraan waktu dan biaya penyelesaian yang berubah-ubah juga. Oleh karena itu penelitian ini perlu dikembangkan melalui peningkatan akurasi nilai kinerja proyek. Pengukuran kinerja proyek perlu dilakukan dengan melibatkan statistika inferensia sehingga menghasilkan nilai prediksi kinerja yang lebih akurat dan mendekati kondisi ideal.

#### Daftar Pustaka

- [1] Soeharto, "Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional)," Erlangga, Jakarta, 1999.
- [2] K. M. Bachtiar, "Analisis *Rescheduling* Pelaksanaan Proyek Gedung BRI KANWIL Malang Menggunakan *Precedence Diagram Method* (PDM) dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT)," Malang: Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember, 2021.
- [3] M. Tolomau, "Metode Penjadwalan Proyek Konstruksi," *Jurnal Seminar Nasional Teknologi*, 2018.
- [4] Y. Malifa, A. K. T. Dundu, dan G. Y. Malingkas, "Analisis Percepatan Waktu dan Biaya Proyek Konstruksi Menggunakan Metode *Crashing*," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 6, hal. 681–688, 2019.
- [5] F. Yuwiantoro, "Penjadwalan Proyek Pembangunan Gedung Akuntansi Fakultas Ekonomi Universitas Jember Menggunakan Metode *Gantt Chart*," Tugas Akhir, 2018.
- [6] F. Fahirah, "Identifikasi Kelemahan Metode *Earned Value* Pada Pengukuran Kinerja Biaya dan Waktu Proyek Konstruksi," *Jurnal Teknik Sipil Infrastruktur*, vol. Vol. 3 no. 2, pp. 65 - 70, 2013.
- [7] Fleming, Q.W. and Koppelman, J.M, *The Essence and Evolution of Earned Value*. AACE Transactions
- [8] Y. Walidi, "Monitoring Pelaksanaan Pengendalian Progres Biaya dan Waktu dengan Metode Konsep Nilai Hasil (*Earned Value*) pada Proyek Tower Caspian Grand Sungkono Lagoon Surabaya," Tugas Akhir, p. 101, 2018.
- [9] Fernando, T. T. Arsjad, dan M. Sibi, "Analisis Percepatan Waktu Dan Biaya Proyek Konstruksi Menggunakan Metode *Crashing* Pada Pembangunan Kalyana Residence Paal 2 Manado," *Jurnal Sipil Statik*, vol. Vol.8 No.5, pp. 741-748, 2020.
- [10] B. Susetyo, "Analisis Keterlambatan Sebagai Pendukung Keputusan Bagi Pengendalian Prestasi Pekerjaan Dengan Pendekatan "Knowledge-Based-Systems"," Solo: Tesis, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Indonesia, p. 9, 1996.
- [11] I. d. L. Wideasanti, "Manajemen Konstruksi," PT. Remaja Rosdakarya, Bandung, 2013.
- [12] W. I. Ervianto, "Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi," Bandung, Rosda, 2004.
- [13] Setyorini, A., Wiharjo A, K., "Optimasi Waktu dan Biaya Dengan *Precedence Diagram Method* Pada Proyek Solo Grand Mall", Semarang: Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, 2005.
- [14] M. Priyo, dan A. Sumanto, "Analisis Percepatan Waktu dan Biaya Proyek Konstruksi dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off* (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Prasarana Pengendali Banjir), *Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*," Vols. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol.19 No. 11-15, 2016.
- [15] E. A. Budiando dan A. E. Husin, "Analisis Kinerja Biaya dan Waktu Teadu dengan Konsep Nilai Hasil," *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, Vol. 19, Nomor 3, pp. 305-310, 2021.

Halaman ini sengaja dikosongkan