

## Aplikasi Penjadwalan Proyek Menggunakan Metode PERT-CPM pada Pembangunan Ruang Kelas SDN 009 Bontang Baru

Ersin<sup>1</sup>, Syarifuddin<sup>1\*</sup>, Qonita Qurrota A'yun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Laboratorium Matematika Komputasi Jurusan Matematika FMIPA Universitas Mulawarman*

Dikirim: April 2023;

Diterima: Mei 2023;

Dipublikasi: September 2023

Alamat Email Korespondensi: [syarifrahman2014@yahoo.co.id](mailto:syarifrahman2014@yahoo.co.id)

### Abstrak

Masalah manajemen penjadwalan proyek dapat diselesaikan dengan beberapa metode, antara lain PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) dan CPM (*Critical Path Method*). Dua metode penjadwalan proyek ini memiliki dua pendekatan berbeda dalam pembentukannya, metode CPM menggunakan pendekatan deterministik dan metode PERT menggunakan pendekatan probabilistik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan durasi pembangunan yang lebih optimal pada proyek pembangunan ruang kelas SDN 009 Bontang Baru. Durasi normal proyek tersebut adalah 294 hari dengan total biaya sebesar Rp4.100.380.537. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa total durasi pembangunan dapat dipercepat hingga 273 hari dengan probabilitas 57,5% dan total biaya bertambah menjadi Rp4.816.855.311.

### Kata Kunci:

*Durasi optimal, CPM, PERT, jalur kritis*

### PENDAHULUAN

Riset operasi digambarkan sebagai suatu pendekatan ilmiah kepada pengambilan keputusan yang meliputi operasi dari sistem-sistem organisasi, dan berusaha menetapkan arah tindakan terbaik (optimum) dari sebuah masalah keputusan di bawah sumber daya yang terbatas [1]. Terdapat beberapa teknik penyelesaian riset operasi, di antaranya adalah Metode Program Linear. Penggunaan program linear bertujuan untuk menyusun suatu model yang dapat dipergunakan untuk membantu pengambilan keputusan dalam menentukan alokasi yang optimal dari sumber daya perusahaan ke berbagai alternatif, sehingga laba akan maksimum atau alternatif biaya minimum. Salah satu bagian dari program linear yang saat ini umum digunakan dan dikembangkan oleh peneliti adalah teori analisis tentang jaringan (*network*). *Network planning* pada prinsipnya adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan atau variabel yang digambarkan atau divisualisasikan dalam diagram *network* [2].

Berkaitan dengan proyek, suatu proyek perlu adanya penanganan manajemen penjadwalan proyek yang baik dari segi waktu, biaya dan mempertinggi efisien kerja baik manusia maupun alat. Solusi yang diperlukan untuk mengembalikan tingkat kemajuan proyek sesuai durasi yang telah direncanakan, yaitu analisis durasi optimal proyek dan logika ketergantungan antar kegiatan tersebut agar didapatkan durasi pelaksanaan yang optimal, dan dapat diketahui pekerjaan-pekerjaan yang harus mendapat perhatian khusus. CV. Karya Pratama *Consultant* sebagai unsur pelaksana pengadaan pekerjaan

konstruksi bertugas sebagai pengawas teknis proyek Pembangunan Ruang Kelas Baru dan Pembuatan Turap SDN 009 Bontang Utara. Dalam pengerjaan proyek ini masalah yang sering dihadapi adalah tentang penggunaan waktu yang kurang efektif dan pengiriman perlengkapan barang sehingga diperlukan evaluasi pada penjadwalan proyeknya. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini di antaranya metode CPM (*Critical Path Method*) dan PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) [3]. Penelitian ini memanfaatkan metode CPM dan PERT untuk meminimumkan durasi proyek serta dijadikan bahan masukan agar ke depannya nanti, penjadwalan proyek pada proyek-proyek selanjutnya dapat dilakukan dengan lebih cepat. Penelitian akan difokuskan pada penjadwalan proyek pembangunan ruang kelas.

## LANDASAN TEORI

**Proyek** adalah proses gabungan rangkaian aktivitas-aktivitas sementara yang mempunyai titik awal dan titik akhir, yang melibatkan berbagai sumber daya yang bersifat terbatas atau tertentu untuk mencapai sasaran dan tujuan yang telah ditetapkan [4]. Manajemen adalah sebuah ilmu pengetahuan dan seni mengatur proses pemanfaatan sumber daya manusia dan sumber lainnya agar mencapai tujuan efektif dan efisien [5]. Manajemen proyek merupakan suatu pemikiran tentang manajemen untuk mengelola kegiatan yang berbentuk proyek. Penjadwalan proyek merupakan kegiatan merencanakan waktu pengerjaan proyek mulai dari identifikasi jenis kegiatan, keterurutan, sampai kurun waktu (durasi) yang dibutuhkan setiap kegiatan [6]. Durasi optimal merupakan lamanya waktu yang dibutuhkan dalam melakukan suatu kegiatan untuk diperoleh hasil yang optimal.

**Network planning** merupakan salah satu model yang digunakan dalam penyelenggaraan proyek yang produknya adalah informasi mengenai kegiatan-kegiatan yang ada dalam network diagram proyek yang bersangkutan [7]. Berikut simbol yang digunakan dalam menggambar diagram jaringan kerja:

1.  anak panah, menggambarkan aktivitas.
2.  lingkaran kecil (*node*) menggambarkan suatu kejadian dimulai atau berakhir suatu kegiatan.
3.  anak panah terputus menggambarkan kegiatan *dummy* atau kegiatan semu.
4.  anak panah tebal merupakan kegiatan pada lintasan kritis

Ada dua pendekatan dalam hal menggambarkan diagram jaringan kerja, yaitu:

1. *Activity On Node* (AON)

AON berhubungan dengan kegiatan PDM. Pembuatan diagram *network* dengan menggunakan simpul/node untuk menggambarkan kegiatan. Kegiatannya menggunakan *diagram precedence*.

2. *Activity On Arch* (AOA)

Berbeda dengan AON, *Activity On Arch* (AOA) berhubungan dengan CPM. Aktivitas digambarkan dengan anak panah yang menghubungkan dua lingkaran yang mewakili dua peristiwa. Ekor anak panah merupakan awal dan ujungnya sebagai akhir kegiatan.

**Metode CPM (*Critical Path Method*)** merupakan model aktivitas proyek yang dijelaskan dalam bentuk jaringan anak panah yang menandakan aktivitas proyek dari awal sampai akhir dan node (titik sambungan) sebagai jadwal waktu aktivitas [8]. Jalur kritis merupakan jalur yang melalui kegiatan-kegiatan kritis dari awal sampai akhir jalur yang sangat berpengaruh pada waktu penyelesaian proyek, walaupun dalam sebuah jaringan kerja dapat saja terjadi beberapa jalur kritis. Dalam melakukan analisis jalur

kritis, digunakan proses dua tahap yang terdiri atas perhitungan maju dan perhitungan mundur untuk menentukan jadwal waktu suatu aktivitas.

#### 1. Perhitungan Maju

Perhitungan Maju adalah cara perhitungan yang dimulai dari *Start (Initial Event)* menuju *Finish (Terminal Event)* yang digunakan untuk menghitung waktu penyelesaian penyelesaian tercepat suatu kegiatan (EF) dan waktu tercepat terjadinya kegiatan (ES). Dimana EF didapatkan dari penjumlahan antara ES dan Durasi atau hubungan kegiatan *Start to Start* [9],

$$\begin{aligned} ES_j &= ES_i + SS_{ij} \\ EF_j &= ES_j + D_j \end{aligned} \quad (1)$$

#### 2. Perhitungan Mundur

Perhitungan Mundur adalah perhitungan dari *Finish* menuju *Start* untuk mengetahui waktu paling lambat terjadinya suatu kegiatan (LF) dan waktu paling lambat terjadinya suatu kegiatan (LS) dimana LS didapatkan dari pengurangan antara LF dan durasi atau hubungan kegiatan *Start to Start* (SS),

$$\begin{aligned} LS_i &= LS_j - SS_{ij} \\ LF_i &= LS_i + D_i \end{aligned} \quad (2)$$

*Float (slack)* adalah waktu yang dimiliki oleh suatu kegiatan untuk bisa diundur, tanpa menyebabkan keterlambatan proyek keseluruhan. Setelah perhitungan maju dan perhitungan mundur selesai dilakukan, maka langkah berikutnya harus dilakukan perhitungan kelonggaran waktu dari aktifitas (*i, j*) yang terdiri dari *total float* dan *free float*. Untuk menghitung *total float* dan *free float* digunakan persamaan sebagai berikut,

$$TF_{(i,j)} = LF - ES_{(i)} - D_{(i,j)} \quad (3)$$

$$FF_{(i,j)} = EF_{(j)} - ES_{(i)} - D_{(i,j)} \quad (4)$$

keterangan:

$TF_{(i,j)}$  = Total float dari kejadian *i* menuju ke *j*

$FF_{(i,j)}$  = Free float dari kejadian *i* menuju ke *j*

Pada perhitungan *total float* dan *free float* dapat diketahui kegiatan mana yang terlibat dalam lintasan kritis.

**Metode PERT (Program Evaluation Review Technique)** adalah suatu metode yang digunakan dalam evaluasi suatu proyek yang bertujuan untuk mengurangi sebanyak mungkin adanya penundaan, konflik, maupun gangguan terhadap kegiatan suatu proyek, termasuk di dalamnya melakukan koordinasi dan sinkronisasi dengan berbagai bagian dari keseluruhan pekerjaan agar dapat dilakukan percepatan terhadap penyelesaian suatu proyek [10]. Komponen jaringan dalam PERT menggunakan 3 angka estimasi waktu yaitu :

1. Waktu optimis [a] adalah waktu yang dibutuhkan suatu kegiatan ketika semua hal berjalan sesuai rencana.
2. Waktu pesimistis [b] adalah waktu yang dibutuhkan untuk suatu kegiatan ketika keadaan sangat tidak terduga. Situasi ini terjadi ketika kecelakaan terjadi.
3. Waktu realistis (waktu yang paling mungkin) [m] adalah perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan yang paling realistis. Atau bisa juga disebut waktu normal untuk menyelesaikan aktivitas.

Berikut langkah perhitungan mencari waktu optimis [a], waktu pesimis [b] dan waktu yang diharapkan [Te]:

- 1) Mencari rata-rata durasi kegiatan

$$\bar{D} = \frac{\sum D}{n}$$

## 2) Standar Deviasi (S) Kegiatan

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum (D_{P_i} - \bar{D})^2}{n-1}} \quad (5)$$

keterangan:

$S_{P_i}$  = standar deviasi pekerjaan  $P_i$

$D_{P_i}$  = nilai durasi dari pekerjaan  $P_i$

$\bar{D}$  = nilai durasi rata-rata

$n$  = jumlah kegiatan

## 3) Mencari nilai waktu optimis [a] dan nilai waktu pesimis [b]

Nilai waktu optimis [a] = nilai waktu normal [m] - nilai standar deviasi

Nilai waktu pesimis [b] = nilai normal [m] + nilai standar deviasi

## 4) Mencari nilai waktu yang diharapkan [Te] dengan rumus

$$Te = \frac{a+b+4m}{6} \quad (6)$$

Probabilitas merupakan suatu nilai yang digunakan untuk mengkaji dan mengukur ketidakpastian serta mencoba menjelaskan secara kuantitatif. Diumpamakan suatu kegiatan terjadi secara berulang-ulang dengan kondisi yang dianggap sama [11] [12]. Dengan didapatkannya angka probabilitas penyelesaian proyek, dapat menjadi informasi penting bagi pengelola proyek untuk mengetahui langkah-langkah yang perlu dilakukan Sebelum menentukan probabilitas waktu penyelesaian proyek, terlebih dahulu kita menghitung jumlah standar deviasi pada jalur kritisnya. Langkah selanjutnya menghitung probabilitas menggunakan persamaan berikut:

$$Z = \frac{T(d) - Te}{S} \quad (7)$$

keterangan:

$Z$  = probabilitas

$T(d)$  = target jadwal penyelesaian

$Te$  = kurun waktu penyelesaian proyek yang diharapkan

$S$  = standar deviasi

Proses *crashing* merupakan proses mereduksi atau mengurangi durasi suatu pekerjaan yang akan berpengaruh terhadap waktu penyelesaian proyek. Umumnya, bila waktu pelaksanaan suatu pekerjaan dipersingkat (*crashing*), maka biaya langsung akan naik. Perencanaan atas dasar biaya langsung yang terendah belum tentu merupakan yang terbaik, oleh karena hal ini identik dengan waktu yang lama, padahal total biaya dari proyek termasuk juga biaya tak langsung, juga mempengaruhi waktu pelaksanaan [3].

Kenaikan biaya akibat percepatan (*cost slope*) dapat ditentukan dengan menghitung terlebih dahulu biaya pekerjaan akibat percepatan dengan persamaan sebagai berikut:

$$B' = \frac{D}{D'} \times B \quad (8)$$

keterangan:

$B$  = biaya normal

$B'$  = biaya dengan durasi dipercepat

$D$  = durasi normal

$D'$  = durasi dipercepat

Menghitung kenaikan biaya akibat adanya percepatan proyek (*cost slope*) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$cost\ slope = \frac{B' - B}{D - D'} \quad (9)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini yang menjadi populasi penelitian adalah data proyek Pembangunan SDN 009 di kota Bontang Tahun 2019-2020. Sampel yang diambil untuk penelitian ini adalah data proyek Pembangunan Ruang Kelas SDN 009. Teknik *sampling* yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik *purposive sampling*. Pada penelitian ini, variabel penelitian yang digunakan adalah yaitu jenis, waktu dan biaya pekerjaan.

Adapun tahapan-tahapan analisis yang dilakukan sebagai berikut:

2. Menginventarisasi atau mencatat kegiatan
3. Menentukan hubungan urutan dan durasi antar kegiatan
4. Membuat *Network Planning*
5. Analisis data menggunakan metode CPM  
Menganalisis setiap kegiatan dengan perhitungan waktu untuk mendapatkan lintasan kritis atau jalur kritis dan perkiraan waktu yang diharapkan.
6. Analisis data menggunakan metode PERT  
Menganalisis setiap kegiatan dengan tiga cakupan waktu yaitu waktu optimis, waktu pesimis, dan waktu normal untuk mendapatkan perkiraan waktu yang diharapkan.  
Menghitung probabilitas proyek dapat selesai tepat waktu
7. Perhitungan *Crashing Project*
8. Perhitungan penambahan biaya (*cost slope*)
  - a. Mencari *crash time* (kurun waktu dipercepat)
  - b. Mencari *crash cost* (biaya waktu yang disingkat)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Menginventarisasi atau mencatat kegiatan

Penelitian diawali dengan mencatat data jenis, durasi, dan biaya kegiatan proyek pembangunan yang disajikan pada Tabel 1. Data-data tersebut diperoleh dari data RAB dan data durasi kegiatan diperoleh dari data kurva "S"

Tabel 1. Kegiatan proyek pembangunan ruang kelas SDN 009 Bontang Baru

No.	Nama pekerjaan	Simbol	Biaya (Rp)	Durasi (Hari)
<b>Proyek pembangunan ruang kelas SDN 009 Bontang Baru</b>				294
1.	Pekerjaan persiapan	$P_1$	17.362.558,03	28
2.	Pekerjaan tanah	$P_2$	36.430.691,3	56
3.	Pekerjaan pemasangan	$P_3$	444.594.107,6	126
4.	Pekerjaan beton	$P_4$	1.810.249.977	161
5.	Pekerjaan kusen pintu/jendela	$P_5$	405.411.784,8	77
6.	Pekerjaan lantai/dinding keramik	$P_6$	554.444.652	98
7.	Pekerjaan rangka atap /atap	$P_7$	213.723.308,9	63
8.	Pekerjaan <i>plafond</i>	$P_8$	130.261.191,3	70
9.	Pekerjaan pengecatan	$P_9$	131.001.172	56
10.	Pekerjaan sanitair dan saluran	$P_{10}$	133.497.300,2	63
11.	Pekerjaan <i>plumbing</i>	$P_{11}$	83.119.374,9	42
12.	Pekerjaan <i>electrical</i>	$P_{12}$	140.284.419,9	70
<b>Total (Σ)</b>			4.100.380.537	

Dari berbagai masalah dalam mengerjakan proyek tersebut banyak terjadi keterlambatan dalam proses pengerjaannya. Dikarenakan selama ini perusahaan hanya menentukan jadwal menggunakan metode *Bar Chart*, sehingga tidak diketahui kegiatan kritis dalam kegiatan pengerjaan proyek. Oleh sebab itu, pada penelitian ini disajikan

metode penjadwalan menggunakan metode PERT dan CPM untuk mengatasi keterbatasan metode *Bar Chart*.

## 2. Menentukan hubungan urutan dan durasi antar kegiatan

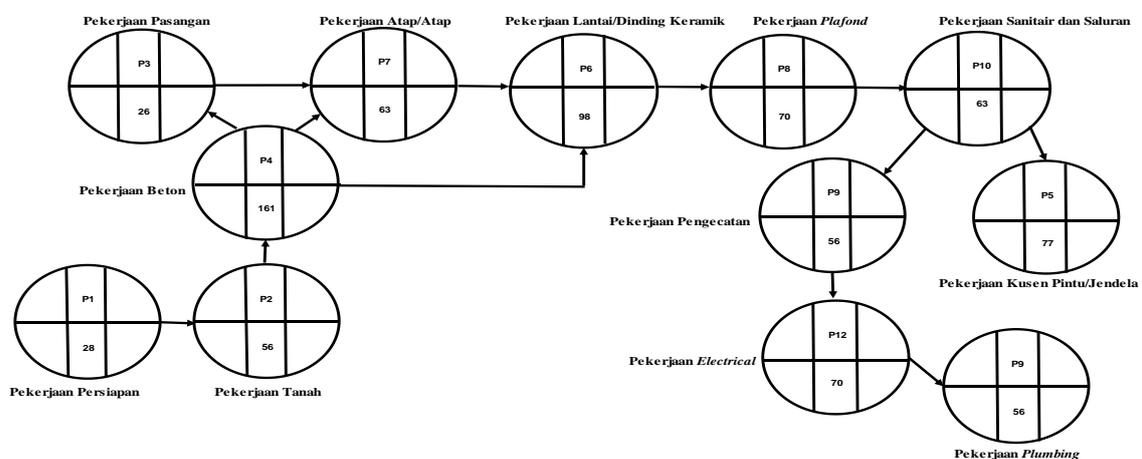
Langkah ini bertujuan untuk mengetahui kegiatan mana yang mendahului, sehingga kegiatan yang akan datang bisa dikerjakan setelah kegiatan sebelumnya selesai, untuk data urutan dan durasi antar kegiatan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan urutan dan durasi antar kegiatan pada proyek

Kegiatan	Simbol	Aktivitas sebelumnya	Selisih waktu dengan aktivitas sebelumnya
Pekerjaan persiapan	$P_1$	-	-
Pekerjaan tanah	$P_2$	$P_1$	$SS_{1,2} = 1$
Pekerjaan pasangan	$P_3$	$P_4$	$SS_{4,3} = 5$
Pekerjaan beton	$P_4$	$P_2$	$SS_{2,4} = 2$
Pekerjaan kusen pintu/ jendela	$P_5$	$P_{10}$	$SS_{10,5} = 3$
Pekerjaan lantai/dinding keramik	$P_6$	$P_4$ $P_7$	$SS_{4,6} = 4$ $SS_{7,6} = 4$
Pekerjaan rangka atap/atap	$P_7$	$P_3$ $P_4$	$SS_{3,7} = 4$ $SS_{4,7} = 9$
Pekerjaan <i>plafond</i>	$P_8$	$P_6$ $P_7$	$SS_{6,8} = 0$ $SS_{7,8} = 5$
Pekerjaan pengecatan	$P_9$	$P_5$ $P_{10}$	$SS_{5,9} = 1$ $SS_{10,9} = 4$
Pekerjaan sanitair dan saluran	$P_{10}$	$P_6$ $P_8$ $P_7$	$SS_{6,10} = 0$ $SS_{8,10} = 0$ $SS_{7,10} = 5$
Pekerjaan <i>plumbing</i>	$P_{11}$	$P_{12}$	$SS_{12,11} = 1$
Pekerjaan <i>electrical</i>	$P_{12}$	$P_9$	$SS_{9,12} = 0$

## 3. Membuat *network planning*

Setelah hubungan keterkaitan dan waktu antar masing-masing kegiatan diketahui, maka diagram jaringan dapat digambarkan. Diagram jaringan merupakan logika model yang menggambarkan hubungan antara masing-masing kegiatan dan menjelaskan arus dari operasi sejak awal hingga selesainya kegiatan-kegiatan proyek [11] [12]. Diagram jaringan pada proyek pembangunan ruang kelas SDN 009 Bontang Baru digambarkan berdasarkan Tabel 1.



Gambar 1. *Network Planning* ruang kelas SDN 009 Bontang Baru

## 4. Analisis menggunakan metode CPM

Perhitungan maju dan perhitungan mundur

Hasil perhitungan maju metode CPM menggunakan rumus persamaan (1), dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan maju metode CPM

Simbol Pekerja	SS	Durasi (Hari)	ES	EF	Keterangan
$P_1$	0	28	0	28	
$P_2$	1	56	1	57	
$P_4$	2	161	3	164	
$P_3$	5	126	8	134	
$P_7$	4	63	12	75	Diambil yang terbesar (EF)
	9	63	12	75	
$P_6$	5	98	17	115	
$P_8$	0	70	16	86	Diambil yang terbesar (EF)
	5	70	17	87	
$P_{10}$	0	63	16	79	Diambil yang terbesar (EF)
	0	63	17	80	
	5	63	17	80	
$P_5$	3	77	20	97	
$P_9$	1	56	21	77	Diambil yang terbesar (EF)
	4	56	21	77	
$P_{12}$	0	70	21	91	
$P_{11}$	1	42	22	64	

Hasil perhitungan mundur metode CPM menggunakan rumus persamaan (2), dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan mundur metode CPM

Simbol Pekerja	SS	Durasi (Hari)	LS	LF	Keterangan
$P_{11}$	-	42	22	64	
$P_{12}$	$P_{11} = 1$	70	21	91	
$P_9$	$P_{12} = 1$	56	21	77	
$P_5$	$P_9 = 1$	77	20	97	
$P_{10}$	$P_9 = 4$	63	17	80	Diambil yang terkecil (LF)
	$P_5 = 3$	63	17	80	
$P_8$	$P_{10} = 0$	70	17	87	
$P_5$	$P_9 = 1$	77	20	97	
$P_{10}$	$P_9 = 4$	63	17	80	Diambil yang terkecil (LF)
	$P_5 = 3$	63	17	80	
$P_8$	$P_{10} = 0$	70	17	87	
$P_6$	$P_8 = 0$	98	17	115	
$P_7$	$P_6 = 0$	63	17	80	
$P_3$	$P_7 = 0$	126	17	143	Diambil yang terkecil (LF)
	$P_6 = 14$	161	3	164	
$P_4$	$P_7 = 9$	161	8	169	Diambil yang terkecil (LF)
	$P_3 = 5$	161	12	183	
$P_2$	$P_4 = 2$	56	1	57	
$P_1$	$P_2 = 1$	28	0	28	

Setelah dilakukan perhitungan maju dan perhitungan mundur menggunakan metode CPM langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *float/slack* dari masing-masing kegiatan yang nantinya akan diperoleh kegiatan mana saja yang termasuk dalam jalur kritis. Hasil perhitungan *float/slack* dan penentuan jalur kritis menggunakan rumus persamaan (3), dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan nilai *float/slack* dan penentuan jalur kritis

Simbol kegiatan	D (hari)	ES	EF	LS	LF	TF (LF-ES-D)	Keterangan
$P_1$	28	0	28	0	28	0	Jalur kritis
$P_2$	56	1	57	1	57	0	Jalur kritis
$P_3$	126	8	134	9	135	1	Bukan Jalur kritis
$P_4$	161	3	164	3	164	0	Jalur kritis
$P_5$	77	20	97	20	98	1	Bukan Jalur kritis
$P_6$	98	17	114	17	115	0	Jalur kritis
$P_7$	63	12	75	13	76	1	Bukan Jalur kritis
$P_8$	70	17	87	17	87	0	Jalur kritis
$P_9$	56	21	77	21	77	0	Jalur kritis
$P_{10}$	63	17	80	17	80	0	Jalur kritis
$P_{11}$	42	22	64	22	64	0	Jalur kritis
$P_{12}$	70	21	91	21	91	0	Jalur kritis

Berdasarkan perhitungan dari tabel dapat disimpulkan bahwa:

a. Lintasan kritis berada pada kegiatan

$$P_1 - P_2 - P_4 - P_6 - P_8 - P_{10} - P_9 - P_{12} - P_{11}$$

b. Durasi penyelesaian proyek adalah selama 294 hari dan dapat dipercepat menjadi 273 hari (durasi optimal). Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik, tabel, atau deskriptif. Analisis dan interpretasi hasil ini diperlukan sebelum dibahas.

5. Analisis data menggunakan metode PERT

a. Estimasi Waktu Optimis [ $a$ ], Waktu Pesimis [ $b$ ] dan Waktu yang diharapkan [ $Te$ ]

1) Mencari rata-rata durasi kegiatan

$$\begin{aligned} \bar{D} &= \frac{\sum D}{n} \\ &= \frac{294}{12} \\ &= 24,5 \end{aligned}$$

2) Standar Deviasi (S) Kegiatan

Hasil perhitungan Standar Deviasi (S) Kegiatan menggunakan rumus pada persamaan (5), dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan standar deviasi (S) kegiatan

Kegiatan	Simbol	Standar Deviasi (S)
Pekerjaan persiapan	$P_1$	1,2
Pekerjaan tanah	$P_2$	9,5
Pekerjaan pasangan	$P_3$	30,6
Pekerjaan beton	$P_4$	41,2
Pekerjaan kusen pintu/jendela	$P_5$	15,9
Pekerjaan lantai/dinding keramik	$P_6$	22,2

Tabel 6. Perhitungan standar deviasi (S) kegiatan (lanjutan)

Kegiatan	Simbol	Standar Deviasi (S)
Pekerjaan rangkap atap/atap	$P_7$	11,6
Pekerjaan <i>plafond</i>	$P_8$	13,8
Pekerjaan pengecatan	$P_9$	9,5
Pekerjaan sanitair dan satuan	$P_{10}$	11,6
Pekerjaan <i>plumbing</i>	$P_{11}$	5,3
Pekerjaan <i>electrical</i>	$P_{12}$	13,8

3) Mencari nilai waktu optimis [a] dan nilai waktu pesimis [b] serta nilai waktu yang diharapkan [Te]

Perhitungan nilai waktu optimis [a] dan nilai waktu pesimis [b] menggunakan rumus:

1. Waktu optimis [a] = waktu normal - nilai standar deviasi

2. Waktu pesimis [b] = waktu normal + nilai standar deviasi

Perhitungan nilai waktu yang diharapkan [Te] menggunakan rumus pada persamaan (6). Hasil perhitungan nilai waktu optimis [a] dan nilai waktu pesimis [b] serta nilai waktu yang diharapkan [Te] dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai waktu optimis, waktu normal, waktu pesimis, dan waktu yang diharapkan

Simbol kegiatan	Aktivitas sebelumnya	Waktu optimis [a]	Waktu normal [m]	Waktu pesimis [b]	Waktu yang diharapkan [Te]
$P_1$	-	26,8	28	29,5	28
$P_2$	$P_1$	46,5	56	65,5	56
$P_3$	$P_4$	95,4	126	156,6	126
$P_4$	$P_2$	119,8	161	202,2	161
$P_5$	$P_{10}$	61,1	77	92,9	77
$P_6$	$P_4, P_7$	75,8	98	120,2	98
$P_7$	$P_3, P_4$	51,4	63	74,6	63
$P_8$	$P_6, P_7$	56,2	70	83,8	70
$P_9$	$P_5, P_{10}$	46,5	56	65,5	56
$P_{10}$	$P_6, P_7, P_8$	51,4	63	74,6	63
$P_{11}$	$P_{12}$	36,7	42	47,3	42
$P_{12}$	$P_9$	56,2	70	83,4	70

Dengan menggunakan nilai  $Te$  (waktu yang diharapkan) maka dibuatlah sebuah diagram jaringan kerja proyek. Dimana prinsip pembuatan jaringan kerja ini sama seperti pada metode CPM.

Perhitungan maju dan perhitungan mundur menggunakan metode PERT

Hasil perhitungan maju metode PERT menggunakan rumus persamaan (1), dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan maju metode PERT

Simbol Pekerjaan	SS	Durasi (Hari)	ES	EF	Keterangan
$P_1$	0	28	0	28	
$P_2$	1	56	1	57	
$P_4$	2	161	3	164	
$P_3$	5	126	8	134	

Tabel 8. Perhitungan maju metode PERT (lanjutan)

Simbol Pekerjaan	SS	Durasi (Hari)	ES	EF	Keterangan
$P_7$	4	63	12	75	Diambil yang terbesar (EF)
	9	63	12	75	
$P_6$	5	98	17	115	
$P_8$	0	70	16	86	Diambil yang terbesar (EF)
	5	70	17	87	
$P_{10}$	0	63	16	79	Diambil yang terbesar (EF)
	0	63	17	80	
	5	63	17	80	
$P_5$	3	77	20	97	
$P_9$	1	56	21	77	Diambil yang terbesar (EF)
	4	56	21	77	
$P_{12}$	0	70	21	91	
$P_{11}$	1	42	22	64	

Hasil perhitungan mundur metode PERT menggunakan rumus persamaan (2), dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan mundur metode PERT

Simbol Pekerjaan	SS	Durasi (Hari)	LS	LF	Keterangan
$P_{11}$	-	42	22	64	
$P_{12}$	$P_{11} = 1$	70	21	91	
$P_9$	$P_{12} = 1$	56	21	77	
$P_5$	$P_9 = 1$	77	20	97	
$P_{10}$	$P_9 = 4$	63	17	80	Diambil yang terkecil (LF)
	$P_5 = 3$	63	17	80	
$P_8$	$P_{10} = 0$	70	17	87	
$P_6$	$P_8 = 0$	98	17	115	
$P_7$	$P_6 = 0$	63	17	80	
$P_4$	$P_7 = 0$	126	17	143	Diambil yang terkecil (LF)
	$P_6 = 14$	161	3	164	
	$P_7 = 9$	161	8	169	
$P_3$	$P_4 = 5$	161	12	183	
	$P_2 = 2$	56	1	57	
$P_1$	$P_2 = 1$	28	0	28	

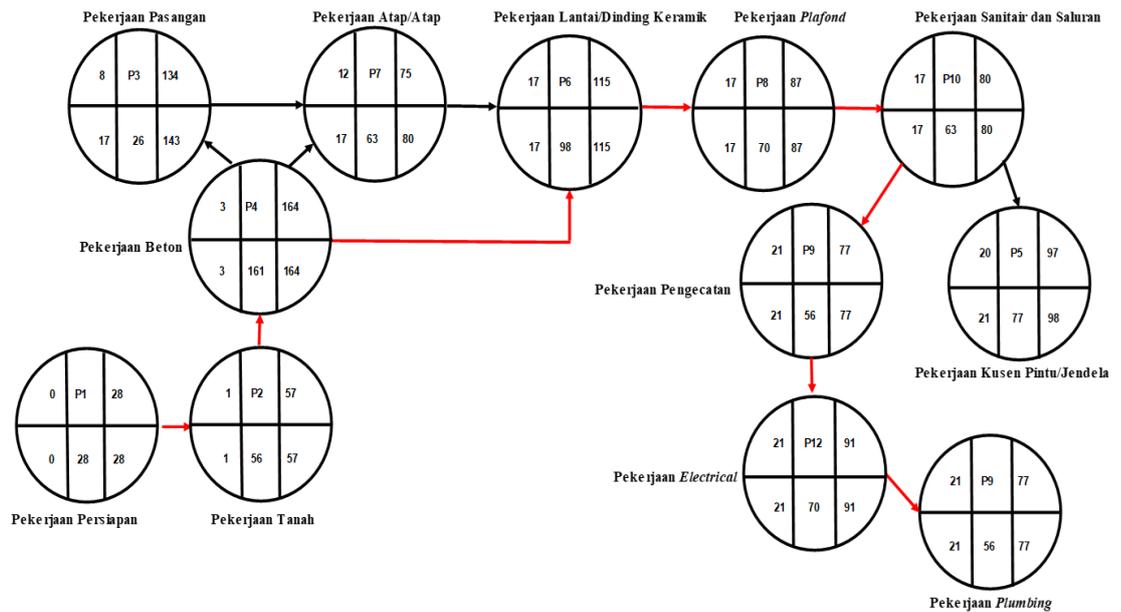
Dari hasil analisis penjadwalan dengan metode PERT dengan nilai  $T_e$  sebagai durasi yang digunakan dalam perhitungan, maka diketahui penyelesaian proyek ( $T_e$ ) selama 273 hari dan diperoleh jalur kritis pada diagram jaringan kerja pada kegiatan,

$$P_1 - P_2 - P_4 - P_6 - P_8 - P_{10} - P_9 - P_{12} - P_{11}$$

Berdasarkan metode CPM dan PERT diperoleh jalur kritis yang sama yaitu:

$$P_1 - P_2 - P_4 - P_6 - P_8 - P_{10} - P_9 - P_{12} - P_{11}$$

Berikut hasil gambar *network planning* atau diagram jaringan proyek pembangunan ruang kelas SDN 009 Bontang Baru menggunakan metode CPM dan PERT.



Gambar 2. Network Planning Pembangunan Ruang Kelas SDN 009 Bontang Baru Tahun 2019-2020 (Perhitungan Maju dan Perhitungan Mundur) Metode PERT dan CPM

Tahapan selanjutnya setelah mendapatkan jalur kritis adalah menentukan probabilitas waktu penyelesaian proyek.

#### b. Probabilitas Waktu Penyelesaian Proyek

Sebelum menentukan probabilitas waktu penyelesaian proyek, terlebih dahulu kita menghitung jumlah standar deviasi pada jalur kritisnya.

Standar deviasi ( $S$ ) jalur kritis

$$\begin{aligned} S &= SP_1 + SP_2 + SP_4 + SP_6 + SP_8 + SP_{10} + SP_9 + SP_{12} + SP_{11} \\ &= 1,2 + 9,5 + 41,2 + 22,2 + 13,8 + 11,6 + 9,5 + 13,8 + 5,3 \\ &= 109 \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya menghitung probabilitas menggunakan persamaan (7),

$$Z = \frac{294-273}{109} = 0,192$$

Setelah didapatkan nilai  $Z$ , untuk mengetahui probabilitas waktu penyelesaian proyek sesuai dengan perencanaan, digunakan tabel distribusi normal  $Z$ . Probabilitas waktu sesuai dengan perencanaan sebesar 0,5753 atau 57,5%. Artinya, proyek dapat dilaksanakan sesuai target dengan besar kemungkinan sebesar 57,5%.

#### 6. Perhitungan Percepatan Proyek

Hasil perhitungan biaya setiap pekerjaan pada proyek pembangunan ruang kelas SDN 009 Bontang Baru menggunakan rumus persamaan (8), dapat dilihat pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10. Hasil perhitungan pada biaya tercepat

Simbol Kegiatan	Waktu Normal	Waktu Dipercepat	Biaya Normal (Rp)	Biaya Dipercepat (Rp)
$P_1$	28	26,8	17.362.558,03	18.139.986
$P_2$	56	46,5	36.430.691,3	43.873.520,7
$P_3$	126	95,4	444.594.107,6	58.897.877,96
$P_4$	161	119,8	1.810.249.977	2.432.806.730
$P_5$	77	61,1	405.411.784,8	510.911.741,9
$P_6$	98	75,8	544.444.652	703.899.418,2

Tabel 10. Hasil perhitungan pada biaya tercepat (lanjutan)

Simbol Kegiatan	Waktu Normal	Waktu Dipercepat	Biaya Normal (Rp)	Biaya Dipercepat (Rp)
$P_7$	63	51,4	213.723.308,9	261.956.584,8
$P_8$	70	56,2	130.261.191,3	162.247.035,4
$P_9$	56	46,5	131.001.172	157.764.852,3
$P_{10}$	63	51,4	133.497.300,2	163.625.095,6
$P_{11}$	42	36,7	83.119.374,9	95.122.90,35
$P_{12}$	70	47,3	140.284.419,9	207.609.478,1

Berikut uraian perbandingan biaya waktu normal dengan biaya waktu dipercepat yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan Biaya Waktu Normal dengan Waktu yang Dipercepat

Uraian	Normal	Dipercepat	Selisih
Waktu	294 hari	273 hari	21
Biaya (Rp)	4.100.380.537	4.816.855.311	716.474.774

#### Perhitungan *Cost Slope*

Menghitung kenaikan biaya akibat adanya percepatan proyek (*cost slope*) dengan menggunakan persamaan (9), sehingga diperoleh

$$= \frac{Rp4.816.855.311 - Rp4.100.380.537}{294 - 273}$$

$$= Rp34.117.846$$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui, bahwa kenaikan biaya akibat percepatan pelaksanaan proyek pembangunan ruang kelas SDN 009 Bontang Baru adalah sebesar Rp34.117.846

## PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan menggunakan analisis jaringan kerja dengan metode PERT dan CPM pada proyek pembangunan ruang kelas 009 Bontang, didapat jalur kritis dari jaringan kerja proyek tersebut yaitu: Pekerjaan persiapan → Pekerjaan tanah → Pekerjaan beton → Pekerjaan lantai/dinding → Pekerjaan *plafond* → Pekerjaan sanitair dan saluran → Pekerjaan *electrical* → Pekerjaan *plumbing* atau  $P_1 - P_2 - P_4 - P_6 - P_8 - P_{10} - P_9 - P_{12} - P_{11}$ . Durasi normal 294 hari setelah adanya percepatan proyek menggunakan metode analisis CPM durasi menjadi 273 hari. Dari hasil perhitungan PERT maka dihasilkan probabilitas sebesar 0,5753 dalam menyelesaikan proyek dengan waktu yang dipercepat. Artinya, presentasi pencapaian target waktu penyelesaian 294 proyek dengan 273 hari adalah 55,7%. Biaya normal pengerjaan proyek Pembangunan Ruang Kelas Baru SDN 009 Bontang Baru sebesar Rp4.100.380.537. Namun setelah adanya percepatan proyek menggunakan metode CPM dan PERT biaya pengerjaan proyek menjadi Rp4.816.855.311. Artinya kenaikan biaya akibat percepatan proyek sebesar Rp34.117,846.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nelwan, C., Kekenusa, J. S., dan Langi, Y. (2013). Optimasi Pendistribusian Air dengan Metode *Least Cost* dan Metode *Modified Distribution* (Studi Kasus: PDAM Kabupaten Minahasa Utara). *Jurnal Ilmiah Sains*. Vol. 13. No. 1.

- [2] Oka, Junafuji dan Kartikasari, Dwi. (2017). Evaluasi Manajemen Waktu Proyek Menggunakan Metode PERT dan CPM Pada Pengerjaan "Proyek Reparasi Crane Lampson" Di PT. MCDERMOTT Indonesia. *Journal of Business Administration*. Vol 1, No. 1, Maret 2017, hlm. 28-36, e-ISSN:25489909.
- [3] Aprillia, S., Wasono, W., & A'yun, QQ. (2023). Optimalisasi biaya dan waktu pelaksanaan pembangunan rumah tinggal di Kecamatan Rantau Pulung Kutai Timur menggunakan Critical Path Method (CPM) dan Program Evaluation and Review Technique (PERT). *Basis : Jurnal Ilmiah Matematika*, 2(1), 11-24. doi:10.30872/basis.v2i1.1000
- [4] Wohon, F., Y., Mandagi, R., J., M., dan Pratasias, P., A., K. (2015). Analisa Pengaruh Percepatan Durasi pada Biaya Proyek Menggunakan Program *Microsoft Project* 2013 (Studi Kasus: Pembangunan Gereja GMIM Syaloom Karombasan). *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2, No. 2, Februari (2015) (141-150) ISSN: 2337-6732.
- [5] Astari, N. M., Subagyo, A. M., dan Kusnadi. (2021). Perencanaan Manajemen Proyek dengan Metode CPM (*Critical Path Method*) dan PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). *Jurnal Konstruksi*. Vol. 13, No. 1
- [6] Muzdalifah, L., Kurniawati, E., F., Ulul, E., D., dan Pamitra, K., G. (2019). Penjadwalan Proyek Perumahan dengan Optimalisasi Waktu dan Biaya Harian. *Jurnal Riset dan Aplikasi Matematika*. Vol. 03. No. 02 (2019) pp 78-88.
- [7] Imawo, E., R., M., Tjakra, J., dan Pratasias, P., A., K. (2016). Penerapan Metode CPM pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus Pembangunan Gedung Baru Kompleks Eben Haezer Manado). *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 4. No. 9 September 2016 (551-558) ISSN: 2337-6732.
- [8] Iluk, T., Ridwan, A., dan Winarto, S. (2016). Penerapan Metode CPM dan PERT pada Gedung Parkir 3 Lantai *Grand Panglima* Polim Kediri. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*. Vol. 3. No. 2 Tahun 2020 (163-176) ISSN: 2337-6732 e ISSN 2621-7686.
- [9] Amani, W., Helmi, dan Beni, I. (2012). Perbandingan Aplikasi CPM, PDM, dan Teknik Bar Chart-Kurva S pada Optimalisasi Penjadwalan Proyek. Buletin Ilmiah *Math. Stat.* dan Terapanya (Bimaster). *Jurnal Untan*. Vol. 01, No. 1, (15-22).
- [10] Abdurrasyid, Luqman, Haris, A., dan Indrianto. (2019). Implementasi Metode PERT dan CPM pada Sistem Informasi Manajemen Proyek Pembangunan Kapal. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*. Vol. 5. No. 1 Juni 2019 ISSN: 2621-038X
- [11] Purba, S., A. (2021). Analisis Jaringan Kerja dengan Metode *Critical Path Method* (CPM) dan Model Program Linier. *Jurnal Absis*. Vol. 4, No. 1, Oktober 2021 (429-437) e ISSN: 2654-8739.
- [12] Chilmi, M., dan Wulandari, D., A., R. (2020). Optimalisasi Waktu Proyek dengan Menggunakan Metode CPM dan Probabilitas Waktu 3 Durasi. *Jurnal Media Informasi Teknik Sipil UNIJA*. Vol. 8, No. 1, April 2020 (22-25) e ISSN: 2685-9173.