



Analisis Manajemen Waktu Dengan *Critical Path Method* (CPM) Pada Proyek Pembangunan Reservoir SPAM Kota Manado

Putri Alfriani Badriyah^{#a}, Jermias Tjakra^{#b}, Grace Y. Malingkas^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^aputrialfbadriyah@gmail.com, ^btjakra.jermias@gmail.com, ^cgrace3967@yahoo.co.id

Abstrak

Penggunaan manajemen waktu yang efektif, seperti metode penjadwalan kritis *Critical Path Method* (CPM) sangat penting dalam mengoptimalkan waktu proyek karena CPM membantu mengidentifikasi rangkaian aktivitas yang paling berpengaruh terhadap durasi total proyek, yang dikenal sebagai jalur kritis. Dengan waktu pekerjaan Proyek Reservoir SPAM Kota Manado yang direncanakan 90 hari, perencanaan yang matang dan pengawasan yang ketat terhadap jadwal sangat diperlukan untuk memastikan semua aktivitas konstruksi berjalan sesuai rencana. Agar proyek pembangunan reservoir tidak mengalami keterlambatan, manajemen waktu yang baik menjadi kunci utama dalam setiap tahap pelaksanaan. Dalam penelitian ini akan mendeskripsikan jaringan kerja dan mengidentifikasi jalur kritis dengan metode *Critical Path Method* (CPM) pada Proyek Pembangunan Reservoir SPAM Kota Manado. Dengan mengetahui jalur ini, manajer proyek dapat memfokuskan sumber daya pada aktivitas-aktivitas kritis yang harus diselesaikan tepat waktu untuk menghindari penundaan keseluruhan proyek, mengalokasikan sumber daya secara lebih efisien, dan memantau kemajuan kegiatan-kegiatan yang berdampak langsung pada penyelesaian proyek. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapat jalur kritis yang terdiri dari 11 aktivitas yaitu: (A) Pekerjaan persiapan, (C) Pekerjaan galian dan buang tanah, (E) Pemasangan spun pile, (F) PDA test dan PIT test, (H) Pekerjaan pemasangan pile cap, sloof dan pelat + aditif, (I) Pekerjaan pengecoran pile cap dan sloof + aditif, (J) Pekerjaan pengecoran pelat + aditif, (K) Pemasangan reservoir baja coating, (L) Pekerjaan pemasangan pipa konektif dan aksesoris, (M) Pekerjaan pemasangan water meter dan aksesoris, dan (N) Komisioning tes. Hal ini menandakan bahwa sebelas kegiatan tersebut tidak mempunyai waktu tenggang untuk terlambat, sehingga disebut sebagai aktivitas kritis. Artinya, keterlambatan pada salah satu aktivitas tersebut akan langsung berdampak pada keterlambatan keseluruhan durasi proyek.

Kata kunci: Critical Path Method, manajemen waktu, reservoir

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Krisis air bersih di Kota Manado menjadi masalah serius yang mempengaruhi kesehatan masyarakat dan kualitas hidup secara keseluruhan. Dalam rangka mengatasi permasalahan ini, Pemerintah Kota Manado melalui Balai Prasarana Permukiman Wilayah Sulawesi Utara melaksanakan program *Nasional Urban Water Supply Project* (NUWSP) yang dibiayai oleh Bank Dunia, sebagai langkah strategis untuk kegiatan optimalisasi Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Kota Manado. Salah satu komponen penting dari SPAM adalah pembangunan reservoir yang berfungsi sebagai tempat penampungan air bersih untuk mendukung distribusi yang efisien dan merata.

Reservoir yang dibangun dalam proyek optimalisasi SPAM Kota Manado diharapkan dapat menampung air dalam jumlah yang cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, terutama pada saat puncak pemakaian. Dengan adanya reservoir, pasokan air dapat dijaga kestabilannya, sehingga masyarakat tidak lagi mengalami kesulitan dalam mendapatkan air bersih, terutama saat musim kemarau atau ketika sumber air utama terpengaruh oleh faktor eksternal.

Dengan waktu pekerjaan yang direncanakan 90 hari, perencanaan yang matang dan pengawasan yang ketat terhadap jadwal sangat diperlukan untuk memastikan semua aktivitas konstruksi berjalan sesuai rencana. Agar proyek pembangunan reservoir tidak mengalami

keterlambatan, manajemen waktu yang baik menjadi kunci utama dalam setiap tahap pelaksanaan. Penggunaan manajemen waktu yang efektif, seperti metode penjadwalan kritis *Critical Path Method* (CPM) sangat penting dalam mengoptimalkan waktu proyek karena CPM membantu mengidentifikasi rangkaian aktivitas yang paling berpengaruh terhadap durasi total proyek, yang dikenal sebagai jalur kritis. Dengan mengetahui jalur ini, manajer proyek dapat memfokuskan sumber daya pada aktivitas-aktivitas kritis yang harus diselesaikan tepat waktu untuk menghindari penundaan keseluruhan proyek, mengalokasikan sumber daya secara lebih efisien, dan memantau kemajuan kegiatan-kegiatan yang berdampak langsung pada penyelesaian proyek.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana menyusun jaringan kerja dan menentukan jalur kritis dengan metode *Critical Path Method* (CPM) pada Proyek Pembangunan Reservoir SPAM Kota Manado.

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada Proyek Pembangunan Reservoir SPAM yang berlokasi di Paal Dua, Kota Manado.
2. Penelitian ini di analisa menggunakan metode Critical Path Method (CPM).
3. Data yang tidak termasuk dalam penelitian ini, seperti Rencana Anggaran Biaya (RAB) diluar skala penjadwalan, tidak akan dianalisis.

1.4 Tujuan Penelitian

Mendeskripsikan jaringan kerja dan mengidentifikasi jalur kritis dengan metode *Critical Path Method* (CPM) pada Proyek Pembangunan Reservoir SPAM Kota Manado.

2. Landasan Teori

2.1 Definisi Manajemen Proyek

Manajemen berasal dari kata “*manage*” yang mempunyai arti mengatur, merencanakan, mengelola, mengusahakan dan memimpin yang berasal dari Bahasa Inggris. Manajemen diperlukan agar kinerja suatu organisasi dapat efisien dan efektif. Orang yang mengatur, merumuskan, dan melaksanakan berbagai tindakan manajemen disebut manajer. (Arifin, 2021)

Dengan berkembangnya teknologi dan kompleksitas industri, manajemen proyek mulai berkembang sebagai kegiatan yang terpisah dari manajemen bisnis umum. Manajemen proyek adalah metode dan prinsip yang dibutuhkan untuk merencanakan, melaksanakan, mengawasi, serta mengevaluasi kemajuan suatu proyek.

2.2 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek adalah proses merencanakan dan mengkoordinasikan berbagai aktivitas dalam suatu proyek untuk memastikan bahwa semua pekerjaan dapat diselesaikan tepat waktu serta sesuai dengan ketersediaan sumber daya. Penjadwalan ini mencakup identifikasi setiap tugas yang harus diselesaikan, penentuan urutan pelaksanaannya, serta alokasi waktu dan sumber daya yang efektif dan efisien. Penjadwalan yang baik sangat penting untuk menghindari keterlambatan, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan menjaga agar proyek tetap berada dalam batas anggaran dan waktu yang telah ditetapkan.

2.3 Metode Jaringan Kerja

Analisis jaringan kerja (*Network Analysis*) merupakan sebuah jaringan yang terdiri dari jalur kegiatan yang dianalisis secara sistematis. Melalui analisis ini, perencanaan yang efektif dapat dicapai. Penyusunan jaringan kerja memperhatikan koordinasi serta urutan kegiatan yang saling terkait dan bergantung satu sama lain. (Purba, 2021)

Pada dasarnya hubungan yang membentuk sebuah jaringan menggambarkan berbagai aktivitas yang diperlukan untuk mencapai tujuan proyek. Manfaat dari analisis jaringan kerja adalah memungkinkan tim proyek mengendalikan waktu pelaksanaan dengan menentukan

lintasan kritis dari serangkaian aktivitas dalam proyek tersebut.

Menurut (Soeharto, 1999), kegiatan dalam proyek serta hubungan saling ketergantungan antar kegiatan tersebut diwakili dengan simbol-simbol tertentu. Ada dua jenis jaringan kerja yang biasa digunakan, yaitu:

- *Activity On Arrow (AOA)*

Dalam AOA setiap kegiatan digambarkan dengan anak panah yang menghubungkan dua lingkaran (peristiwa).

- *Activity On Node (AOA)*

Pada AON kegiatan ditulis di dalam kotak atau lingkaran. Garis atau anak panah di antara node menunjukkan hubungan atau ketergantungan antar kegiatan.

Dalam metode jaringan kerja terdapat beberapa metode umum yang biasa digunakan untuk merencanakan, mengatur, dan mengendalikan proyek, yaitu *Critical Path Method* (CPM), *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), dan *Precedence Diagram Method* (PDM). Ketiga metode ini memiliki tujuan yang sama, yaitu untuk menggambarkan hubungan logis antar aktivitas dalam suatu proyek, sehingga pelaksanaannya bisa dilakukan secara lebih terstruktur, efisien, dan sesuai waktu yang ditargetkan. Meskipun tujuannya serupa, ketiganya memiliki pendekatan dan karakteristik yang berbeda, tergantung pada jenis proyek dan informasi durasi yang tersedia.

2.4 Critical Path Method (CPM)

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam penjadwalan proyek adalah *Critical Path Method* (CPM). Metode ini merupakan suatu teknik pemodelan proyek yang dikembangkan pada akhir tahun 1950-an oleh Morgan R. Walker dari DuPont dan James E. Kelley Jr. dari Remington Rand. CPM merupakan metode perencanaan dan pengendalian proyek yang banyak digunakan.

CPM (*Critical Path Method*) adalah teknik manajemen proyek yang digunakan untuk menganalisis jaringan aktivitas dan memprediksi waktu total proyek. Metode ini berfokus pada identifikasi jalur kritis dengan membuat jaringan kerja proyek yang menggambarkan urutan kegiatan serta ketergantungan antara kegiatan-kegiatan tersebut. Kemudian, untuk setiap kegiatan, dihitung *Early Start* (ES), *Early Finish* (EF), *Latest Start* (LS), *Latest Finish* (LF) dan *Float*. Jalur kritis yaitu rangkaian aktivitas saling bergantung yang harus diselesaikan tepat waktu agar proyek tidak mengalami keterlambatan. Jalur kritis penting karena jika aktivitas dalam jalur kritis tertunda, proyek secara keseluruhan akan terlambat.

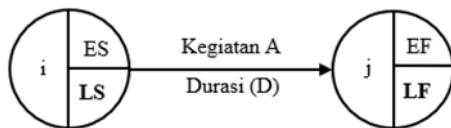
Pada diagram jaringan *Critical Path Method* (CPM) memiliki beberapa simbol diagram. Simbol ini digunakan untuk menggambarkan urutan, waktu pelaksanaan, dan jenis-jenis kegiatan pada suatu proyek. CPM menggunakan satu angka estimasi durasi kegiatan yang tertentu (deterministik). Bentuk CPM adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Bentuk CPM

- (lingkaran kecil/simpul/node), mewakili sebuah kejadian atau peristiwa atau *event*.
- (anak panah/busur), mewakili sebuah kegiatan atau aktivitas yaitu tugas yang dibutuhkan oleh proyek.
- (anak panah tebal), merupakan kegiatan pada lintasan kritis.
- (anak panah terputus-putus), menyatakan kegiatan semu atau *dummy activity*.

Dalam penerapan metode *Critical Path Method* (CPM), diperlukan suatu representasi visual untuk menggambarkan hubungan antar kegiatan dalam proyek serta waktu pelaksanaannya. Salah satu bentuk representasi yang umum digunakan adalah diagram node, yang menyajikan informasi mengenai urutan kegiatan, durasi, serta waktu mulai dan selesai seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Node Kegiatan

Keterangan gambar:

1. Kegiatan dituliskan dengan *activity A* dan seterusnya, merupakan kegiatan dari awal proyek hingga akhir sebuah proyek.
2. Node-i sebagai awal, dan node-j sebagai akhir dalam setiap proyek.
3. Durasi (D) adalah rentang waktu yang diperlukan dalam setiap kegiatan.
4. *Earliest Star* (ES) adalah Waktu paling awal suatu kegiatan dapat dimulai.
5. *Earliest Finish* (EF) adalah waktu paling awal suatu kegiatan dapat selesai
6. *Latest Start* (LS) adalah waktu terakhir suatu kegiatan dapat dimulai sehingga tidak menunda waktu penyelesaian.
7. *Latest Finish* (LF) adalah waktu terakhir suatu kegiatan dapat selesai sehingga tidak menunda waktu penyelesaian.

2.5 Teori Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) dan Reservoir

Menurut Permen PU No.18/PRT/M/2007, Sistem penyediaan air minum (SPAM) adalah satu kesatuan sistem fisik (teknik) dan non-fisik dari prasarana dan sarana air minum. Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) merupakan suatu sistem yang mengelola seluruh proses penyediaan air minum. Proses ini mencakup perencanaan sumber air baku, baik dari segi kualitas maupun kuantitas, Selain itu, SPAM juga melibatkan teknologi IPA yang efisien dalam hal kinerja dan biaya, transmisi air yang telah diolah dari lokasi IPA ke bak penampungan air (reservoir), serta distribusi air minum ke masyarakat atau area pelayanan.

Reservoir adalah tempat menampung air bersih, pada sistem penyediaan air minum. Fungsi utama dari reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dengan debit pemakaian air. Reservoir merupakan unit penyimpanan air olahan yang siap untuk masuk ke jaringan distribusi. Pada umumnya ditempatkan di bawah tanah atau diatas tanah dalam bentuk menara atau tower. (NUWSP, 2021). Reservoir dapat dibangun menggunakan berbagai jenis material, seperti: beton bertulang, baja, dan *glass-fused-to-steel* (*glass* baja) material modern yang tahan korosi, mudah dibersihkan, dan memiliki masa pakai panjang.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan data kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis data yang dapat diukur. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini membutuhkan data yang bersifat numerik dan objektif untuk menganalisis penjadwalan proyek menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM).

3.2 Tempat Penelitian

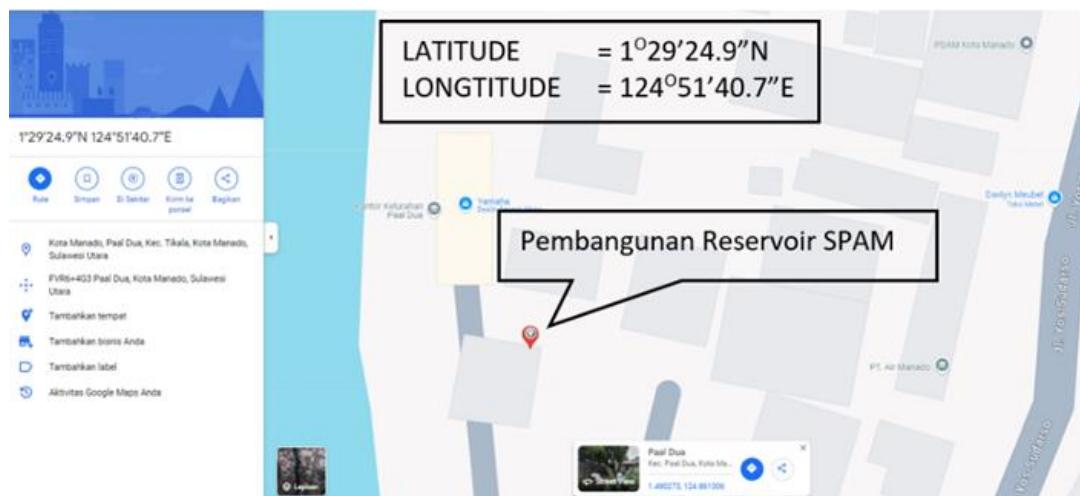
- a. Nama Proyek : Pekerjaan Konstruksi Pembangunan Reservoir SPAM Kota Manado (NUWSP)
- b. Lokasi Proyek : Paal Dua, Kecamatan Tikala, Kota Manado, Sulawesi Utara
- c. Tahun Anggaran : 2024
- d. Waktu Pelaksanaan : 90 hari kalender

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Pengumpulan data sekunder dilakukan terlebih dahulu untuk memberikan dasar dan referensi yang diperlukan dalam pengumpulan data primer.

1. Data Sekunder : Data ini diperoleh dari studi Pustaka berupa buku, referensi, dokumen dan sebagainya.

2. Data Primer : Data ini diperoleh secara langsung dengan mendapatkan Kurva S dari pemilik proyek.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

3.4 Teknik Pengolahan Data

Setelah semua data yang diperlukan telah diperoleh, data tersebut diolah dan dianalisis dengan menggunakan metode CPM. Berikut adalah langkah-langkah perhitungannya:

1. Mengidentifikasi lingkup proyek dengan mengumpulkan dan menguraikan data ke tabel aktivitas.
2. Memberikan kode dan membuat urutan pekerjaan sesuai dengan logika ketergantungan.
3. Membuat jaringan yang menggambarkan hubungan antar aktivitas.
4. Melakukan perhitungan maju untuk mendapatkan *Earliest Finish* (EF) dan *Earliest Start* (ES) dari setiap aktivitas.
5. Melakukan perhitungan mundur untuk mendapatkan *Latest Finish* (LF), *Latest Start* (LS).
6. Menghitung *Slack* atau *total float*.
7. Mengidentifikasi jalur kritis, yang merupakan rangkaian aktivitas dengan *total float* nol.

3.5 Bagan Alir

Kegiatan penelitian dilakukan menurut alur pada Gambar 4.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Proyek

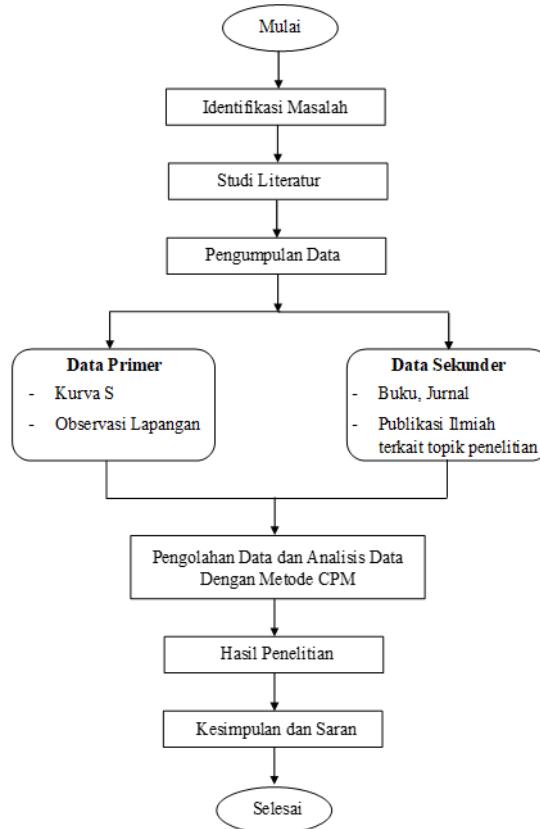
Nama kegiatan	:	Pekerjaan Konstruksi Pembangunan Reservoir SPAM Kota Manado (NUWSP) Provinsi Sulawesi Utara
Kontraktor Pelaksana	:	PT. Duta Tunggal Jaya
No. Kontrak	:	HK.02.03/SP3SU-AM/SP-KON/06/2024
Nilai Kontrak	:	Rp. 9.539.865.932,-
Masa Pelaksanaan	:	90 (Sembilan Puluh) Hari Kalender
Masa Pemeliharaan	:	180 (Seratus Delapan Puluh) Hari Kalender
Konsultan Pengawas	:	PT. Bina Lestari Lingkungan Sejahtera KSO
Sumber Dana	:	Bank Dunia (Loan IBRD 8872-ID)
Tahun Anggaran	:	2024

Proyek pembangunan reservoir SPAM Kota Manado (NUWSP) dengan durasi pekerjaan 90 Hari kerja sesuai dengan durasi kontrak yang telah disepakati, dengan data sebagai berikut :

1. Sumber Air Baku : Air Permukaan (Sungai DAS Tondano)
2. Isu strategis : reservoir sistem eksisting konvensional 300 m³ terlalu kecil dan untuk mengantisipasi penambahan pelanggan baru sebanyak 1.523 SR (program INPRES No. 1

tahun 2024 yaitu program percepatan penyediaan air minum dan layanan pengelolaan air limbah domestik)

3. Fungsi utama : Menyediakan pasokan air untuk menampung air bersih hasil olahan air dari SPAM Konvensional Paal Dua. Sebelum di distribusi ke pelanggan.
4. Badan Pengelola : PDAM Wanua Wenang
5. Kapasitas yang didistribusi (m³) : 700 m³



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

4.2 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini merupakan data primer yang didapat dari Balai Prasarana Permukiman wilayah Sulawesi Utara sebagai pemilik proyek dan hasil wawancara dengan site manager. Data yang diperoleh berupa Kurva S dan dokumentasi lapangan.

4.2.1 Kurva S

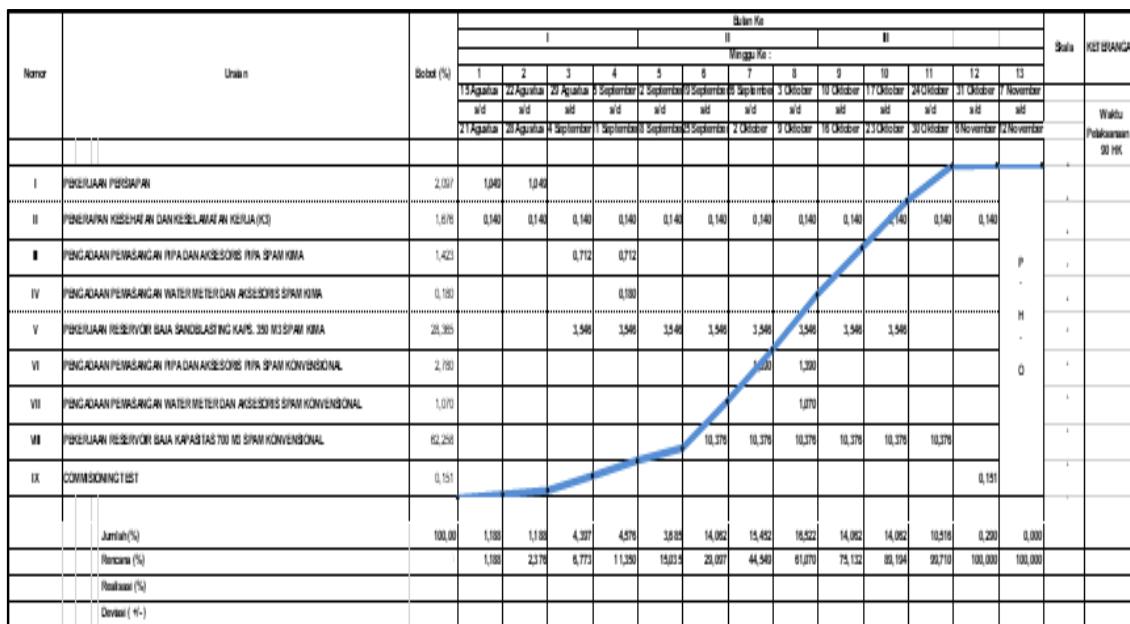
Dari kurva S pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa proyek pembangunan reservoir ini dilaksanakan di dua lokasi berbeda yaitu Reservoir SPAM Kima dan Reservoir SPAM Konvesional Paal Dua. Namun, dalam penelitian ini, penulis hanya fokus pada satu lokasi pembangunan di Paal Dua. Hal ini dikarenakan data proyek yang tersedia telah dibagi berdasarkan dua lokasi, sehingga sub item pekerjaan pada masing-masing lokasi tidak ditampilkan secara menyeluruh. Oleh karena itu, pekerjaan di lokasi Paal Dua diuraikan secara rinci menggunakan pendekatan *Work Breakdown Structure* (WBS).

4.2.2 Work Breakdown Structure

Tabel 2 menyajikan daftar WBS yang telah disusun untuk lokasi pembangunan reservoir di Paal 2, yang mencakup tahapan-tahapan utama proyek serta sub-pekerjaan yang terkait. Selanjutnya, berdasarkan WBS yang telah disusun, dilakukan pengembangan daftar pekerjaan yang lebih terperinci dan terurut sesuai dengan tahapan aktual pelaksanaan di lapangan. Langkah ini bertujuan untuk menyusun urutan pekerjaan secara sistematis. Tabel 3 menyajikan rincian dan

urutan pelaksanaan pekerjaan pada Pembangunan Reservoir di Lokasi Paal Dua berdasarkan hasil penguraian dari WBS.

Tabel 1. Kurva S



Tabel 2. Work Breakdown Structure

NO	Uraian Pekerjaan
I	P E K E R J A A N P E R S I A P A N
1	Mobilisasi dan demobilisasi
2	Papan nama proyek
II	P E N E R J A U H A N K E S E H A T A N D A N K E S E L A M A T A N K E R J A (K3)
1	Penyiapan Dokumen penerapan SMKK
2	Sosialisasi, promosi, dan pelatihan
3	Alat pelindung kerja dan alat pelindung diri
4	Asuransi
5	Personel ke selamatan kerja
6	fasilitas sarana, prasarana, dan alat kesehatan
7	Konsultasi dengan ahli terkait keselamatan konstruksi
8	kegiatan dan peralatan terkait pengendalian resiko keselamatan konstruksi
III	P E N G A D A A N P E M A S A N G A N P I P A D A N A K S E S O R I S P I P A S P A M
1	Pengadaan pipa
2	Pemasangan dan penyambungan Pipa
3	Bongkar dan rekondisi jalan
4	Pengadaan aksesoris pipa
5	Pemasangan aksesoris pipa
6	Pekerjaan tanah
IV	P E N G A D A A N P E M A S A N G A N W A T E R M E T E R D A N A K S E S O R I S S P A M
1	Pengadaan water meter
2	Pemasangan water meter
3	Pengadaan aksesoris
4	Pemasangan aksesoris
V	P E K E R J A A N R E S E R V O I R B A J A K A P S I T A S 7 0 0 M 3 S P A M K O N V E N T I O N A L
1	Pekerjaan galian tanah
2	Pekerjaan pile cap, sloof dan pelat
3	Pondasi spun pile
4	Dinding penahan tanah reservoir
5	Pengadaan dan pemasangan pagar
6	PDA test dan PIT
7	Pekerjaan pengadaan dan pemasangan reservoir baja coating bonded epoxy
VI	C O M M I S I O N I N G T E S T
1	Commissioning test

Tabel 3. Daftar Jenis Pekerjaan berdasarkan *Work Breakdown Structure*

No	Jenis Pekerjaan	Durasi/hari
1	Pekerjaan persiapan	7
2	Pengadaan reservoir baja Coating	26
3	Pekerjaan galian dan buang tanah	15
4	Pekerjaan dinding penahan tanah	15
5	Pemasangan spun pile	25
6	PDA test dan PIT test	2
7	Pengadaan dan pemasangan pagar BRC	10
8	Pekerjaan Pembesian dan bekisting pile cap, sloof dan pelat	15
9	Pekerjaan pengecoran Pile cap dan sloof + aditif	3
10	Pekerjaan pengecoran pelat + aditif	3
11	Pemasangan reservoir baja coating	14
12	Pekerjaan Pemasangan pipa konekting dan aksesoris	14
13	Pekerjaan pemasangan water meter dan aksesoris	2
14	Komisioning tes	3

4.3 Penyusunan Network Diagram

Network Diagram adalah urutan pekerjaan dalam sebuah proyek serta hubungan antar pekerjaan tersebut.

Tabel 4. Durasi dan Urutan Kegiatan

No	Jenis Pekerjaan	Simbol Kegiatan	Durasi (Minggu)	kegiatan Sebelumnya
1	Pekerjaan persiapan	A	7	-
2	Pengadaan reservoir baja Coating	B	26	A
3	Pekerjaan galian dan buang tanah	C	15	A
4	Pekerjaan dinding penahan tanah	D	15	A
5	Pemasangan spun pile	E	25	C
6	PDA test dan PIT test	F	2	C, E
7	Pengadaan dan pemasangan pagar BRC	G	10	F, D
8	Pekerjaan Pembesian dan bekisting pile cap, sloof dan pelat	H	15	F, B
9	Pekerjaan pengecoran Pile cap dan sloof + aditif	I	3	H
10	Pekerjaan pengecoran pelat + aditif	J	3	I
11	Pemasangan reservoir baja coating	K	14	J
12	Pekerjaan Pemasangan pipa konekting dan aksesoris	L	14	J, G
13	Pekerjaan pemasangan water meter dan aksesoris	M	2	K, L
14	Komisioning tes	N	3	M

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan urutan kegiatan, durasi waktu dan kegiatan sebelumnya yang saling terkait, selanjutnya akan dibuat *network diagram* untuk menggambarkan hubungan logis antar aktivitas proyek secara visual. seperti terlihat pada Gambar 5.

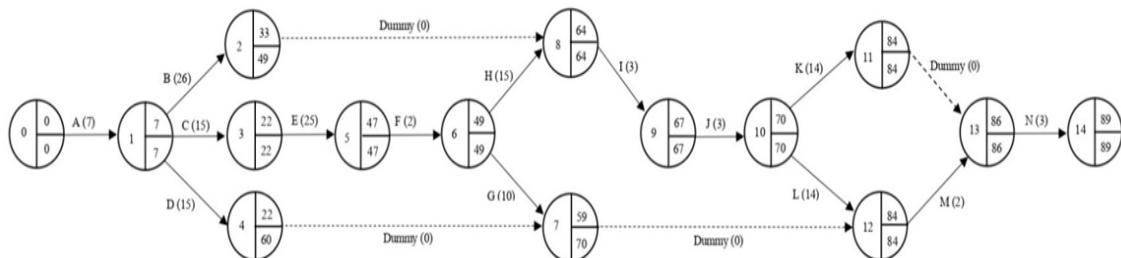
4.4 Perhitungan Maju

Perhitungan maju (*Forward Pass*) digunakan untuk menentukan waktu paling awal suatu kegiatan dapat dimulai (*Early Start*) dan waktu paling awal suatu kegiatan dapat selesai (*Early Finish*) dalam setiap kegiatan proyek. Proses ini dimulai dari kegiatan paling awal dan dilanjutkan dengan kegiatan berikutnya.

Langkah-langkah perhitungan maju yaitu:

- Jika kegiatan tidak memiliki kegiatan pendahulu, maka $ES=0$ atau waktu mulai proyek.
- Jika kegiatan memiliki satu atau lebih pendahulu, maka rumus: $ES = EF$ Maksimum dari semua pendahulu.
- Selanjutnya hitung *Early Finish* dengan rumus: $EF = ES + \text{Durasi Kegiatan}$

- Lanjutkan proses perhitungan ini untuk setiap aktivitas dalam proyek.



Gambar 5. Hasil Network Diagram

Tabel 5. Hasil Perhitungan Maju

No	Simbol Kegiatan	kegiatan Sebelumnya	Durasi (Minggu)	Perhitungan Maju		Keterangan
				ES	EF	
1	A	-	7	0	7	-
2	B	A	26	7	33	-
3	C	A	15	7	22	-
4	D	A	15	7	22	-
5	E	C	25	22	47	-
6	F	C, E	2	47	49	-
7	G	F	10	49	59	Diambil nilai terbesar yaitu 59
	Dummy	D	0	22	22	
8	H	F	15	49	64	Diambil nilai terbesar yaitu 64
	Dummy	B	0	33	33	
9	I	H	3	64	67	-
10	J	I	3	67	70	-
11	K	J	14	70	84	-
12	L	J	14	70	84	Diambil nilai terbesar yaitu 84
	Dummy	G	0	59	59	
13	M	L	2	84	86	Diambil nilai terbesar yaitu 86
	Dummy	K	0	84	84	
14	N	M	3	86	89	-

4.5 Perhitungan Mundur

Perhitungan mundur (*Backward Pass*) digunakan untuk menentukan waktu selesai paling lambat (*Latest Finish*) dan waktu mulai paling lambat (*Latest Start*) dalam setiap kegiatan proyek. Proses ini dimulai dengan cara bergerak mundur dari kegiatan akhir ke kegiatan awal.

Langkah-langkah perhitungan mundur yaitu:

- Untuk kegiatan akhir, *Late Finish (LF)* = waktu selesai proyek (dapat diperoleh dari perhitungan maju atau durasi proyek total)
- Jika kegiatan tidak memiliki kegiatan penerus, maka *LF* = waktu selesai proyek
- Jika kegiatan memiliki lebih dari satu penerus, maka rumus: $LF = \text{Min} (\text{LS kegiatan penerus})$
- Selanjutnya hitung *Latest Finish* dengan rumus:
- $LS = LF - \text{Durasi Kegiatan}$
- Lanjutkan proses perhitungan ini untuk setiap aktivitas dalam proyek.

4.6 Perhitungan Float

Float atau *slack* adalah jumlah waktu yang dapat ditunda tanpa mempengaruhi jadwal proyek. *Float* membantu mengidentifikasi aktivitas yang memiliki fleksibilitas waktu dan aktivitas yang kritis (tidak memiliki *float*). *Float* dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1. *Free Float (FF)* adalah waktu keterlambatan yang diizinkan sebelum aktivitas penerusnya terpengaruh. *Free float* berguna untuk mengetahui apakah aktivitas benar-benar mandiri dalam jadwal proyek. Dengan Rumus: $FF = EF - \text{Durasi} - ES$

2. Jika $FF = 0$, berarti aktivitas ini langsung mempengaruhi jadwal penerusnya. Total Float (TF) adalah total waktu keterlambatan yang diizinkan sebelum proyek tertunda. Total float menunjukkan fleksibilitas penjadwalan aktivitas tanpa menunda proyek. Dengan rumus: $TF = LF - Durasi - ES$. Jika $TF = 0$, aktivitas berada pada jalur kritis.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Mundur

No	Simbol Kegiatan	kegiatan Sebelumnya	Durasi (Minggu)	Perhitungan Mundur		Keterangan
				LS	LF	
1	A	-	7	0	7	-
2	B	A	26	23	49	-
3	C	A	15	7	22	-
4	D	A	15	45	60	-
5	E	C	25	22	47	-
6	F	C, E	2	47	49	-
7	G	F	10	60	70	Diambil nilai terkecil yaitu 60
	Dummy	D	0	70	70	
8	H	F	15	49	64	Diambil nilai terkecil yaitu 49
	Dummy	B	0	64	64	
9	I	H	3	64	67	-
10	J	I	3	67	70	-
11	K	J	14	70	84	-
12	L	J	14	70	84	Diambil nilai terbesar yaitu 70
	Dummy	G	0	84	84	
13	M	L	2	84	86	Diambil nilai terkecil yaitu 84
	Dummy	K	0	86	86	
14	N	M	3	86	89	-

Tabel 7. Hasil Perhitungan *Free Float* dan *Total Float*

No	Simbol Kegiatan	kegiatan Sebelumnya	Durasi (Minggu)	Paling Awal		Paling Akhir		Free Float	Total Float
				ES	EF	LS	LF		
1	A	-	7	0	7	0	7	0	0
2	B	A	26	7	33	23	49	0	16
3	C	A	15	7	22	7	22	0	0
4	D	A	15	7	22	45	60	0	38
5	E	C	25	22	47	22	47	0	0
6	F	C, E	2	47	49	47	49	0	0
7	G	F, D	10	49	59	60	70	0	11
8	H	F, B	15	49	64	49	64	0	0
9	I	H	3	64	67	64	67	0	0
10	J	I	3	67	70	67	70	0	0
11	K	J	14	70	84	70	84	0	0
12	L	J, G	14	70	84	70	84	0	0
13	M	K, L	2	84	86	84	86	0	0
14	N	M	3	86	89	86	89	0	0

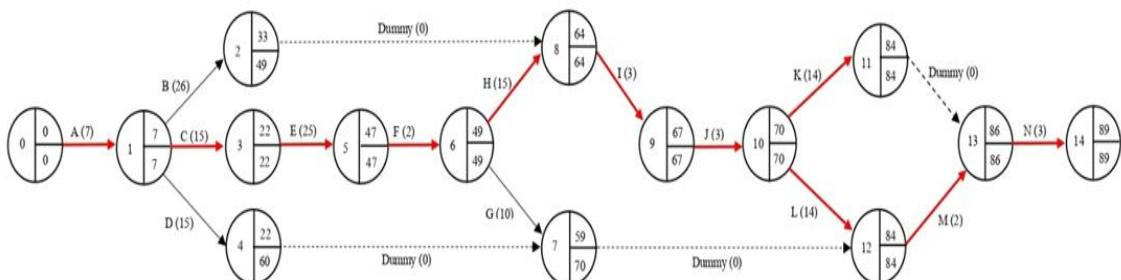
4.7 Identifikasi Jalur Kritis dengan CPM

Untuk menemukan jalur kritis, dilakukan perhitungan maju (*forward pass*) guna menentukan waktu mulai dan selesai paling awal (*early start* dan *early finish*), serta perhitungan mundur (*backward pass*) untuk mendapatkan waktu mulai dan selesai paling lambat (*late start* dan *late finish*). Dari hasil perhitungan ini, diperoleh (*total float = 0*) yang digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas-aktivitas yang berada di jalur kritis.

Tabel 8. Hasil Identifikasi Jalur Kritis dengan CPM

No	Simbol Kegiatan	kegiatan Sebelumnya	Durasi (Minggu)	Paling Awal		Paling Akhir		Free Float	Total Float	Keterangan
				ES	EF	LS	LF			
1	A	-	7	0	7	0	7	0	0	Kritis
2	B	A	26	7	33	23	49	0	16	Tidak Kritis
3	C	A	15	7	22	7	22	0	0	Kritis
4	D	A	15	7	22	45	60	0	38	Tidak Kritis
5	E	C	25	22	47	22	47	0	0	Kritis
6	F	C, E	2	47	49	47	49	0	0	Kritis
7	G	F, D	10	49	59	60	70	0	11	Tidak Kritis
8	H	F, B	15	49	64	49	64	0	0	Kritis
9	I	H	3	64	67	64	67	0	0	Kritis
10	J	I	3	67	70	67	70	0	0	Kritis
11	K	J	14	70	84	70	84	0	0	Kritis
12	L	J, G	14	70	84	70	84	0	0	Kritis
13	M	K, L	2	84	86	84	86	0	0	Kritis
14	N	M	3	86	89	86	89	0	0	Kritis

Selanjutnya, untuk mempermudah pemahaman hubungan antar aktivitas dalam proyek, hasil perhitungan juga divisualisasikan dalam bentuk *network diagram*. Diagram ini menunjukkan urutan aktivitas, ketergantungan antar tugas, serta jalur kritis yang ditandai secara khusus dengan anak panah berwarna merah agar mudah diidentifikasi.

**Gambar 6.** Hasil Network Diagram Jalur Kritis

Dari hasil perhitungan *free float* dan *total float*, terlihat bahwa FF dan TF yang nilainya = 0 adalah kegiatan A – C – E – F – H – I – J – K – L – M – N. Hal ini menandakan bahwa sebelas kegiatan tersebut tidak mempunyai waktu tenggang untuk terlambat, sehingga kegiatannya disebut kritis. Lintasan yang menghubungkan antar kegiatan kritis disebut lintasan kritis. Berikut adalah uraian Sembilan pekerjaan yang berada di jalur kritis:

1. Kegiatan A : Pekerjaan persiapan
2. Kegiatan C : Pekerjaan galian dan buang tanah
3. Kegiatan E : Pemasangan *spun pile*
4. Kegiatan F : PDA test dan PIT test
5. Kegiatan H: Pekerjaan pembesian *pile cap*, Sloof dan pelat + Aditif
6. Kegiatan I : Pekerjaan pengecoran *pile cap* dan sloof + aditif
7. Kegiatan J : Pekerjaan pengecoran pelat + aditif
8. Kegiatan K : Pemasangan reservoir baja coating
9. Kegiatan L : Pekerjaan pemasangan pipa konekting dan aksesoris
10. Kegiatan M : Pekerjaan pemasangan water meter dan aksesoris
11. Kegiatan N : Komisioning tes

Dengan demikian, pemantauan dan pengelolaan yang cermat terhadap kegiatan-kegiatan ini sangat penting untuk memastikan kelancaran proyek.

4.8 Evaluasi Perubahan Pekerjaan

4.8.1 Dampak Perubahan Pekerjaan Preboring Tidak Dilaksanakan

Dalam perencanaan awal proyek pembangunan reservoir ini, metode *preboring* direncanakan untuk digunakan dalam pemasangan pondasi. *preboring* merupakan metode pengeboran awal sebelum pemancangan guna mengurangi hambatan tanah saat pemancangan tiang. Namun, karena keterbatasan alat di Kota Manado serta waktu pemesanan yang tidak mencukupi, metode ini tidak dapat dilaksanakan. Akibatnya, metode kerja mengalami perubahan dengan langsung melakukan pemancangan tanpa proses pengeboran awal. Sebagai alternatif dari *preboring*, digunakan metode pemancangan langsung dengan *spun pile*. *Spun pile* adalah tiang pancang berbentuk silinder yang dibuat dari beton pracetak dengan kekuatan tinggi dan digunakan untuk mendukung beban struktur di atasnya.

Keputusan untuk beralih ke metode pemancangan langsung dengan *spun pile* memberikan keuntungan dari segi efisiensi waktu karena tidak memerlukan proses pengeboran awal. Namun, tantangan dalam metode ini adalah risiko hambatan tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *preboring*, sehingga diperlukan pemantauan ketat selama proses pemancangan.

4.8.2 Perubahan Material Reservoir ke Baja Coating Bonded Epoxy

Dalam proyek pembangunan reservoir ini, terjadi perubahan material dari baja konvensional ke baja dengan *coating bonded epoxy*. Perubahan ini dilakukan untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap korosi akibat paparan air secara terus-menerus serta meminimalkan biaya perawatan dalam jangka panjang. Baja dengan *coating bonded epoxy* memiliki lapisan pelindung yang kuat, yang mampu mencegah oksidasi dan degradasi material akibat kondisi lingkungan yang ekstrem. Selain itu, material ini memiliki daya rekat tinggi, sehingga lapisan *epoxy* tidak mudah terkelupas atau retak, menjaga integritas reservoir dalam jangka waktu yang lebih lama.

Dari sisi manajemen waktu, perubahan material ini berpotensi mempercepat proses konstruksi karena baja dengan *coating bonded epoxy* telah diproses sebelumnya di pabrik, sehingga tidak memerlukan perlakuan tambahan di lokasi proyek seperti pengecatan anti-karat. Dengan demikian, waktu yang sebelumnya dialokasikan untuk proses perlindungan dan finishing dapat dikurangi, yang berdampak pada efisiensi dalam penyelesaian proyek. Selain itu, karena material ini lebih tahan terhadap korosi dan memerlukan perawatan minimal, risiko keterlambatan akibat pekerjaan perbaikan atau penggantian material selama masa operasional dapat diminimalkan.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai Analisis Manajemen Waktu dengan *Critical Path Method* (CPM) Pada Proyek Pembangunan Reservoir SPAM Kota Manado, maka didapat jalur kritis yang terdiri dari 11 aktivitas yaitu: (A) Pekerjaan persiapan, (C) Pekerjaan galian dan buang tanah, (E) Pemasangan spun pile, (F) PDA test dan PIT test, (H) Pekerjaan pembesian pile cap, sloof dan pelat + aditif, (I) Pekerjaan pengecoran pile cap dan sloof + aditif, (J) Pekerjaan pengecoran pelat + aditif, (K) Pemasangan reservoir baja coating, (L) Pekerjaan pemasangan pipa koneksi dan aksesoris, (M) Pekerjaan pemasangan water meter dan aksesoris, dan (N) Komisioning tes. Hal ini menandakan bahwa sebelas kegiatan tersebut tidak mempunyai waktu tenggang untuk terlambat, sehingga disebut sebagai aktivitas kritis. Artinya, keterlambatan pada salah satu dari aktivitas tersebut akan langsung berdampak pada keterlambatan keseluruhan durasi proyek. Dengan mengidentifikasi jalur kritis ini, manajemen proyek dapat lebih fokus dalam pengawasan dan pengendalian waktu pada aktivitas-aktivitas utama, sehingga risiko keterlambatan proyek dapat diminimalkan secara lebih efektif.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan metode *Critical Path Method* (CPM) sangat disarankan karena dapat mengidentifikasi jalur kritis proyek. Oleh karena itu, metode ini sebaiknya diterapkan sejak tahap perencanaan dan dievaluasi secara berkala untuk menyesuaikan dengan perubahan kondisi di lapangan guna mengurangi risiko keterlambatan proyek
2. Untuk pekerjaan proyek dengan masa pelaksanaan yang singkat, perencanaan harus dilakukan dengan sangat matang agar tidak terjadi perubahan yang dapat menghambat jalannya proyek. Perencanaan ini perlu mempertimbangkan secara cermat pemilihan material, ketersediaan alat, Selain itu, kondisi cuaca selama pelaksanaan proyek juga harus diperhitungkan agar pekerjaan dapat berjalan sesuai jadwal yang telah ditetapkan.
3. Untuk peneliti selanjutnya disarankan untuk menganalisis strategi percepatan pada kegiatan kritis, seperti penambahan jam kerja atau jumlah tenaga kerja, serta diperlukan analisis lebih lanjut mengenai potensi percepatan waktu.

Referensi

Amperjaya, M. D. (2013). *Manajemen Operasional, Materi 9*.

Arifin, Z. (2021). *Modul 01 Pengantar Manajemen Proyek*. Universitas Terbuka.

Ashari. (2011). *Buku I Bahan Ajar Manajemen Proyek*. Politeknik Negeri Bandung.

Badri, S. (1991). Dasar-dasar Network Planning. Jakarta: PT. Rineka Cipta.

Damayanti, R. (2023). Penjadwalan Ulang Metode Pelaksanaan Precast Menggunakan Metode CPM & Pert Pada Proyek Makassar New Port.

Dimyati, H., & Nurjaman, K. (2014). *Manajemen Proyek* (1 ed.). Pustaka Setia.

Fayol, H. (1916). *General and Industrial Management*.

Handoko, T. H. (1999). *Dasar-Dasar Manajemen Produksi dan Operasi* (1 ed.). BPFE Yogyakarta.

Hayun, A. (2005). Perencanaan dan Pengendalian Proyek dengan Metode PERT-CPM : Studi Kasus Fly Over Ahmad Yani, Karawang. *Journal The Winners*, Vol.6, No.2, H.155-174.

Heizer, J., & Render, B. (2006). *Principles of Operations Management*.

Husein, A. (2008). *Manajemen Proyek, Perencanaan, Penjadwalan & Pengendalian Proyel*. Yogyakarta: Andi Offset.

Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Wiley.

M., N. J., & H., S. (2012). *Project Management for Engineering, Business and Technology* (4th ed.). Routledge.

Mukti, T. R., Purnamasari, I., & Wasono. (2019). Aplikasi Critical Path Method (CPM) dengan Crashing Program untuk Mengoptimalkan Waktu dan Biaya Proyek .

Mulyono. (2017). *Manajemen Proyek Konstruksi*.

Ndaraha, B. (2015). Penggunaan Metode CPM (Critical Path Method) Pada Proyek Peningkatan Jalan Barus-Batas Kota Sibolga.

NUWSP, N. (2021). Gambaran Umum Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM).

Pangestu, N. F., Az Zahra, A. F., & Sutrisno. (2021). *Penerapan Metode Critical Path Method (CPM) dalam Proyek Pembangunan Jembatan Alun-Alun Kota Kuningan*.

PMBOK. (2021). *Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Project Management Institute (PMI).

Purba, S. A. (2021). Analisis Jaringan Kerja dengan Metode CPM dan Model Program Linier. 429.

Putri, D. A., Muhtar, & Gunasti, A. (2021). Penerapan Metode CPM dan CRASHING Pada Proyek Gedung Training Center Universitas Jember.

Rahmad Syahputra, M. F. (2024). *Penerapan Metode CPM (Critical Path Method) Pada Proyek Peningkatan Sarana dan Prasarana TPS Limbah dan Fasilitasnya di PT. Putra Kuala Tanjung* .

Soeharto, I. (1995). *Manajemen Proyek dan Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga.

Soeharto, I. (1999). *MANAJEMEN PROYEK (Dari Konseptual Sampai Operasional) Jilid 1*. Erlangga.

Soeharto, I. (1999). *Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional Edisi Kedua*. Erlangga.

Syahputra, R., Pasaribu, M. F., & Syarif, A. A. (2024). *Penerapan Metode CPM (Critical Path Method) Pada Proyek Peningkatan Sarana Dan Prasarana TPS Limbah dan Fasilitasnya Di PT. Putra Kuala Tanjung* .

Thoengsal, J., & Tumpu, M. (2022). *Metode Optimalisasi Penjadwalan Proyek Konstruksi Menggunakan Metode Critical Path Method (CPM)*. Makassar: CV. Tohar Media.

Wiradnyana, I. O. (2023). Analisis Pekerjaan Reservoir Pada Sistem Penyediaan Air minum (SPAM) di Desa Nunleu. *Jurnal Teknik Gradien*, Universitas Ngurah Rai.