

ANALISIS *CRITICAL PATH METHOD* DAN *TIME COST TRADE OFF* DALAM OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA Pengerjaan PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT

S. Rahayu¹, Nurwan² dan D. Wungguli^{3*}

¹²³Jurusan Matematika, Universitas Negeri Gorontalo, Bone Bolango 96119, Indonesia

¹ayu290012001@gmail.com, ²nurwan@ung.ac.id, ³djihead@ung.ac.id (*corresponding author)

ABSTRACT

The project is a business/activity that is complex, non-routine, limited by time, budget, resources, and performance specifications designed to meet consumer needs. A large project, of course, requires the right time and cost to obtain more optimal development duration and costs incurred. Optimization is the process of proposing the duration of the project to obtain an efficient solution using various alternatives that can be reviewed in terms of cost and time. This study aims to determine which activities are included in the critical path category, compare labor wages between the use of working hours (overtime) and the use of 2 work shifts using the Time Cost Trade Off method, and determine the most optimal time to complete the project. The stages of this research are to find the critical path using the Critical Path Method, to analyze the duration and costs of labor wages on the critical path with the variable working hours (overtime) and the use of 2 work shifts using the Time Cost Trade Off approach. Based on the results of analysis and calculations, the cost of normal labor wages with a project duration of 210 days is Rp. 1,542,804,496.00. Then the acceleration is carried out so as to produce the optimal time for completing the project, namely the use of 2 work shifts, with a project duration of 151 days at a cost of Rp. 1,488,970,000 by saving 59 days with a cost difference of Rp. 53,834,496.00 of the normal fee.

Keywords : **Critical Path Method, Project Management, Time Cost Trade Off**

ABSTRAK

Proyek merupakan suatu usaha/aktivitas yang kompleks, tidak rutin, dibatasi oleh waktu, anggaran, *resources*, dan spesifikasi performansi yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Suatu proyek yang besar tentu saja memerlukan waktu dan biaya yang tepat untuk memperoleh durasi pembangunan serta biaya yang dikeluarkan lebih optimal. Optimalisasi merupakan proses pengajuan durasi proyek untuk mendapatkan solusi yang efisien dengan menggunakan berbagai alternatif yang dapat ditinjau dari segi biaya serta waktu. Dalam penelitian ini bertujuan untuk menentukan kegiatan mana yang termasuk kategori jalur kritis, melakukan perbandingan upah tenaga kerja antara penggunaan jam kerja (lembur) dengan penggunaan 2 *shift* kerja menggunakan metode *Time Cost Trade Off*, dan menentukan waktu yang paling optimal untuk menyelesaikan proyek tersebut. Tahapan penelitian ini adalah mencari jalur kritis dengan menggunakan *Critical Path Method*, melakukan analisis durasi dan

biaya upah tenaga kerja pada jalur kritis dengan variabel penambahan jam kerja (lembur) dan penggunaan 2 *shift* kerja menggunakan pendekatan *Time Cost Trade Off*. Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, biaya upah tenaga kerja normal dengan durasi proyek 210 hari ialah sebesar Rp. 1.542.804.496,00. Kemudian percepatan dilakukan sehingga menghasilkan waktu optimal untuk penyelesaian proyek tersebut yaitu penggunaan 2 *shift* kerja, dengan durasi proyek menjadi 151 hari dengan biaya sebesar Rp. 1.488.970.000 dengan menghemat waktu 59 hari dengan selisih biaya sebesar Rp. 53.834.496,00 dari biaya normal.

Kata kunci : **Critical Path Method, Manajemen Proyek, Time Cost Trade Off**

I. PENDAHULUAN

Proyek merupakan suatu usaha/aktivitas yang kompleks, tidak rutin, dibatasi oleh waktu, anggaran, resources, dan spesifikasi performansi yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Demi mencapai kelancaran sebuah proyek dari awal hingga berakhir, maka dibutuhkan adanya manajemen proyek. Manajemen proyek adalah kegiatan merencanakan, mengorganisasikan, mengarahkan, dan mengendalikan sumber daya organisasi perusahaan untuk mencapai tujuan tertentu dalam waktu tertentu dengan sumber daya tertentu pula (Walean et al., 2012).

Dan pelaksanaan setiap proyek juga tidak lepas dari berbagai kendala atau pun kegagalan, yang di sebabkan oleh rendah nya kinerja atau produktivitas para tenaga kerja, perencanaan proyek yang kurang matang, anggaran yang membengkak, dan juga spesifikasi yang tidak sesuai. Walaupun kegagalan tersebut tidak terlihat secara nyata, namun jika berlangsung dengan intensitas yang besar dan terus-menerus maka kegagalan tersebut dapat terakumulasi dan dampaknya akan terlihat pada akhir proyek Misalnya saja keterlambatan pengerjaan proyek dari jadwal yang direncanakan (Hermina et al., 2014).

Penjadwalan menjadi hal yang penting yang harus di lakukan dalam pelaksanaan suatu proyek. Di dalam penjadwalan tersusun durasi tiap pekerjaan urutan pengerjaan tiap pekerjaan sehingga dapat diketahui waktu awal dan berakhirnya suatu proyek, sehingga dapat dipastikan waktu pengerjaan proyek berjalan sesuai dengan kontrak yang telah disepakati atau lebih cepat sehingga anggaran biaya yang dikeluarkan menjadi berkurang (Fazriet et al., 2020). Hal ini dikarenakan suatu penjadwalan merupakan tahap berhasil tidaknya aktivitas membangun suatu proyek secara menyeluruh. Namun dalam pelaksanaannya tidak menutup kemungkinan terjadi beberapa keterlambatan dalam proyek akibat pengaruh cuaca, kesalahan spesifikasi material, keterlambatan material, perubahan desain dan lain-lain. Kemungkinan tersebut mengharuskan pihak galangan mencari solusi dan alternatif lain untuk mempercepat waktu pengerjaan proyek. Dalam mempercepat waktu pengerjaan harus diperhatikan perubahan biaya dan menjaga mutu agar tetap baik (S et al., 2019).

RS Bhayangkara merupakan proyek yang di laksanakan oleh PT. Syarif Maju Karya yang bekerja sama dengan PT. Okta Pilar Abadi Konstruksi yang berlokasi di Hutuo, Lombok, Kabupaten Gorontalo. Berdasarkan wawancara yang telah di lakukan dengan salah satu pengawas lapangan

yang ada di lokasi tersebut, bahwasanya dalam merencanakan proyek pembangunan RS Bhayangkara Polda Gorontalo mengalami masalah dalam estimasi waktu pembangunan yang telah di jadwalkan. Sehingga perlu adanya optimasi dalam pelaksanaan yang telah dilakukan tersebut. Mengingat waktu, biaya dan mutu menjadi hal yang penting dalam mengerjakan suatu proyek, salah satunya dalam proyek pembangunan RS Bhayangkara Polda Gorontalo. Proyek ini di katakan berhasil apabila ketiga hal tersebut dapat berjalan sesuai dengan rencana yang telah terjadwal. Proses perencanaan awal pembangunan RS Bhayangkara dilakukan dengan 2 tahap pengerjaan, namun terdapat beberapa kendala sehingga tahap pertama pembangunan hanya berjalan sekitar 80% pembangunan dari perencanaan penjadwalan. Faktor alam (cuaca) dan kurangnya analisis waktu pekerjaan merupakan salah satu kendala dalam pembangunan, sehingga pengerjaan untuk tahap kedua belum dapat dilanjutkan karena adanya kendala tersebut. Selain itu, proses pengerjaan Infrastruktur dalam konstruksi juga memerlukan sumber daya manusia diantaranya tenaga kerja yang di gunakan. Tanpa adanya sumber daya yang terlibat di dalamnya maka pekerjaan konstruksi tidak dapat diselenggarakan sesuai target yang telah terjadwalkan, dalam hal ini mengakibatkan terjadinya penarikan tenaga kerja sehingga akan berpengaruh dalam lamanya proses pengerjaan. Mengatasi masalah tersebut, matematika memberikan peran penting dalam bidang riset operasi. Terdapat beberapa metode dalam mengoptimasi waktu dan biaya dalam suatu manajemen proyek diantaranya *Critical Path Method (CPM)* dan *Time Cost Trade Off (TCTO)*.

Critical Path Method merupakan metode jalur kritis yang menggunakan jaringan dengan keseimbangan waktu dan biaya linear. Teknik CPM dilakukan dengan menyusun jaringan kerja yang diidentifikasi ke arah aktivitas-aktivitas dan menggunakan simple time estimates pada tiap aktivitas yang menunjukkan jangka waktu pelaksanaan (Dimiyati dan Nurjaman, 2014). Sedangkan *Time cost trade off* merupakan kompresi jadwal untuk mendapatkan proyek yang lebih menguntungkan dari segi waktu (durasi), biaya, dan pendapatan. Tujuannya adalah memampatkan proyek dengan durasi yang dapat diterima dan meminimalisasi biaya total proyek. Pengurangan durasi proyek dilakukan dengan memilih aktivitas tertentu berada pada jalur kritis. Penjadwalan proyek merupakan salah satu elemen hasil perencanaan, yang dapat memberikan informasi tentang jadwal rencana dan kemajuan proyek dalam hal kinerja sumber daya berupa biaya, tenaga kerja, peralatan dan material serta rencana durasi proyek dan progres waktu untuk penyelesaian proyek. Times cost trade off adalah suatu proses yang disengaja, sistematis dan analitik dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis (Aslam et al., 2015).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan (Safitri, 2019) menggunakan metode CPM dan *Precedence Diagramming Method (PDM)* untuk menyelesaikan optimasi penjadwalan proyek. Dari hasil penelitiannya menggunakan CPM dan PDM didapatkan waktu yang efisien dan biaya yang lebih optimal. Di samping penelitian (Safitri, 2019) ada juga penelitian yang dilakukan oleh (Izzah, 2018) penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis Time Cost Trade Off pada Proyek Pembangunan Gedung Basement kawasan Balai Pemuda sehingga didapatkan pengurangan durasi dan

penambahan biaya yang paling optimum. Berbeda dari penelitian sebelumnya, dalam artikel ini akan dilakukan optimasi penjadwalan proyek menggunakan CPM untuk optimasi waktu dan dilanjutkan dengan metode TCTO untuk optimasi biaya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan studi kasus proyek pembangunan RS Bhayangkara Polda Gorontalo. Penelitian ini dilakukan dengan tahapan pertama adalah merumuskan masalah yang akan diteliti, mempelajari referensi, setelah itu dilakukan pengumpulan data dan mengolah data menggunakan *Critical Path Method* dan *Time Cost Trade Off*. Data diolah menggunakan *Critical Path Method* untuk mencari kegiatan mana yang termasuk kedalam kegiatan kritis dan *Time Cost Trade Off* menentukan waktu dan biaya dari kegiatan yang akan dihitung yaitu kegiatan pada jalur kritis yang biaya percepatannya berdasarkan penambahan jam kerja. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer yang diperoleh dari manajer proyek RS Bhayangkara Polda Gorontalo. Adapun data yang didapatkan dari proyek yaitu variabel durasi dan biaya proyek. Tahapan dalam *CPM* yang pertama ialah membuat diagram jaringan setelah diagram jaringan terbentuk kemudian hubungan antar simbol dan urutan kegiatan untuk mendapatkan jalur kritis dari kegiatan proyek tersebut. Sedangkan tahapan *Time Cost Trade Off* yaitu menghitung waktu dan biaya pada kegiatan yang termasuk ke dalam jalur kritis untuk mendapatkan waktu dan biaya yang optimal dari pengerjaan proyek tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Penelitian

Pada penelitian ini menghasilkan waktu dan biaya proyek dengan mengoptimasi waktu dan biaya proyek dengan menggunakan CPM (*Critical Path Method*) dan TCTO (*Time Cost Trade Off*) dalam menentukan durasi proyek yang optimal dan biaya yang timbul karena adanya optimalisasi. Perhitungan dari sistem yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data kegiatan, durasi, dan biaya proyek pembangunan RS Bhayangkara Polda Gorontalo dengan data yang diperoleh merupakan daftar kegiatan pekerjaan proyek pembangunan RS Bhayangkara Polda Gorontalo (Tabel.1). Berdasarkan Tabel.1 dapat dilihat bahwa Pemadatan Timbunan memiliki durasi kegiatan 25 hari dengan kegiatan pendahulunya disimbolkan A. Kegiatan Bowplank dan Survey memiliki durasi kegiatan 84 hari dengan kegiatan pendahulunya disimbolkan A. Seterusnya sampai dengan kegiatan pembersihan yang memiliki durasi 14 dengan kegiatan pendahulunya disimbolkan AA.

Tabel 1: Daftar Kegiatan Pekerjaan

No	Nama Kegiatan	Duras i	Kegiatan Pendahulu
1.1	Penimbunan	14	-

1.2	Pemadatan Timbunan	25	A
1.3	Bowplank dan Survey	84	A
1.4	Pondasi dan Batu Kosong	23	B
1.5	Sloop TB1, TB2	27	D
1.6	Tiang Kolom K250	70	C
1.7	Naik Bata dan Kolom Praktis	48	E,F
1.8	Ring Balok	77	G
1.9	Cor Lantai, Besi, dan Bekesting	70	G
2.0	Plester Acian	98	H,I
2.1	Pemasangan Rangka Baja Ringan dan Penutup	35	J
2.2	Pemasangan Plafond Gypsum + Partisi	35	K
2.3	Pemasangan Kusen dan Daun Jendela	70	L
2.4	Pemasangan Kramik Dinding	28	M
2.5	Pemasangan Keramik Lantai	55	N
2.6	Intalasi Jaringan Listrik	76	O
2.7	Instalasi Air Kotor	70	P
2.8	Instalasi Air Bersih	70	Q
2.9	Pengecatan Luar Dalam	70	R
3.0	Pekerjaan Tembok dan Bata Pagar	35	S
3.1	Pengerjaan Kanstin	35	T
3.2	Pemasangan Paving	14	U
3.3	Pekerjaan Rumah Mesin	25	V
3.4	Pengerjaan Sumur Bor	16	W
3.5	Pemasangan ACP, Logo, dan Pagar	18	Z
3.6	Pengerjaan Logo Pagar Besi dan Pintu Gerbang	16	Y
3.7	Pengerjaan Pagar Kawat Duri	20	Z
3.8	Pembersihan	14	AA

Sumber : Manajer Proyek

3.2. Jaringan Kerja

Jaringan kerja adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan yang digambarkan atau divisualisasikan dalam diagram *Network*. Dengan demikian dapat dikemukakan akan bagian-bagian pekerjaan yang harus di dahulukan, sehingga dapat dijadikan dasar untuk melakukan pekerjaan selanjutnya dan dapat dilihat pula bahwa suatu pekerjaan belum dapat dimulai apabila kegiatan sebelumnya belum selesai dikerjakan (Iwawo et al., 2016). Durasi proyek umumnya ditentukan dengan perhitungan maju dan mundur (Suharto, 1997).

- Perhitungan maju atau perhitungan pendahuluan dimaksudkan untuk terlebih dahulu menghitung waktu pembuatan dan penyelesaian kegiatan dalam suatu proyek. Waktu mulai pertama adalah (Earliest Start Time)

$$EF = ES + D$$

Keterangan :

EF : Waktu penyelesaian paling awal dari kegiatan

ES : Waktu mulai paling awal suatu kegiatan

D : Durasi

- Perhitungan mundur dimaksudkan untuk menambah waktu selesai terakhir dan terjadinya kegiatan dalam proyek. Waktu akhir pemrosesan LF (Latest Finish Time)

$$LF = LF - D$$

Keterangan :

LS : Waktu untuk menyelesaikan kegiatan terakhir

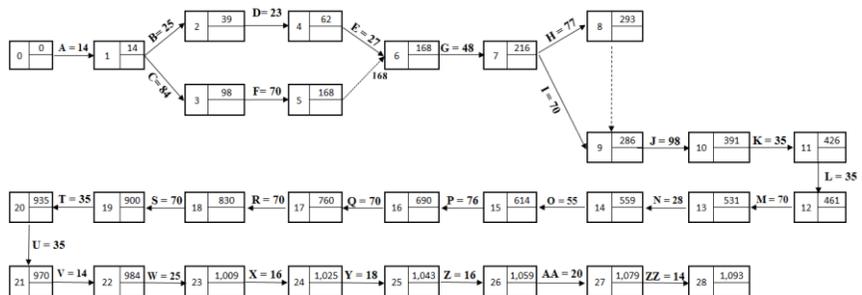
LF : Waktu untuk menyelesaikan kegiatan terakhir

D : Durasi

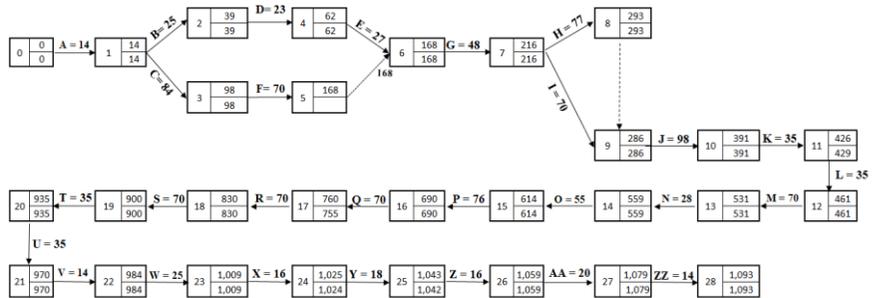
Bentuk jaringan kerjanya beserta perhitungannya sebagai berikut :

- Hitungan Maju

Hitungan maju dimulai dari start (initial event) menuju Finish (ter event) untuk menghitung waktu penyelesaian tercepat sesuai kegiatan (EF), waktu tercepat terjadinya kegiatan (ES) dan saat paling cepat dimulainya suatu peristiwa (E). Berdasarkan persamaan 2.1 diperoleh grafik jaringan kerja yang dapat dilihat pada Gambar 1.



(LS) dan saat paling lambat suatu peristiwa terjadi (L). Berdasarkan persamaan 2 diperoleh grafik jaringan kerja yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 : Grafik Jaringan Kerja

Suatu kegiatan yang memiliki kelonggaran atau Slack dikatakan kegiatan kritis. Artinya kegiatan kritis mempunyai Total Slack = *Free Slack* = 0. Sehingga pada kasus di atas di peroleh kegiatan kritis (Tabel.2) dalam proyek pembangunan RS Bhayangkara Polda Gorontalo berdasarkan perhitungan maju dan mundur pada metode CPM. Pada penelitian ini menggunakan 11 kegiatan kritis yang sangat berpengaruh terhadap keterlambatan proses pembangunan dilihat dari segi pengamatan yang sudah dilakukan di lokasi tersebut.

3.3. Daftar Kegiatan Kritis

Jalur kritis merupakan rangkaian kegiatan-kegiatan yang apabila pelaksanaannya terlambat akan mengakibatkan keterlambatan pada penyelesaian proyek (Asri et al., 2019). Pada Tabel. 2 dapat dilihat bahwa kegiatan kritis dari proyek Pembangunan RS Bhayangkara. Kegiatan tersebut merupakan kegiatan yang harus diselesaikan terlebih dahulu dan pengerjaannya tidak bisa ditunda. Karena hal ini akan berdampak pada keterlambatan proses pengerjaan pada kegiatan lainnya.

Tabel 2: Daftar Kegiatan Kritis

Kode	Nama Kegiatan	Durasi (Hari)	Kode	Nama Kegiatan	Durasi (Hari)
1.3	Bowplank dan Survey	84	1.8	Ring Balok	77
1.4	Pondasi dan Batu Kosong	14	1.9	Cor Lantai, Besi, dan Bekesting	70
1.5	Sloop TB1, TB2	17	2.0	Pelester Acian	98
1.6	Tiang Kolom K250	70	2.1	Pasang Rangka Bata Ringan dan Penutup	28

1.7	Naik Bata & Kolom Praktis	48	2.2	Pemasangan Plafond Gypsum + Partisi	35
			2.3	Pemasangan Kusen dan Daun Jendela	70

3.4. Biaya Upah Tenaga Kerja

Proyek pembangunan RS Bhayangkara Polda Gorontalo memiliki nilai kontrak untuk upah/gaji pekerja. Contoh perhitungan biaya upah normal/jam untuk *resource name*.

Mandor, biaya perhari (*standart cost*): Rp. 150.000,00, jam kerja 7 jam/hari

Sehingga :

$$\text{Biaya/jam} = \frac{\text{Rp. 150.000,00}}{7 \text{ jam/hari}} = \text{Rp. 21.428,57 /jam.}$$

Untuk upah tenaga kerja lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Upah Tenaga Kerja Normal

Pekerjaan	Upah/Hari (Rp)	Upah/Jam (Rp)	Pekerjaan	Upah/Hari (Rp)	Upah/Jam (Rp)
Mandor	150.000,00	21,428,57	Tukang	150.000,00	21,428,57
Kepala Tukang	160.000,00	22.857,14	Pembantu Tukang	120.000,00	17.142,84
Tukang Batu	150.000,00	21,428,57	Pekerja Biasa	120.000,00	17.142,84
Tukang Kayu	150.000,00	21,428,57	Penjaga Malam	150.000,00	21,428,57
Tukang Besi	150.000,00	21,428,57	Sopir	150.000,00	21,428,57
Tukang Cat	150.000,00	21,428,57	Operator	125.000,00	17.857,14
Tukang Listrik	250.000,00	35.714,28	Mekanik	150.000,00	21,428,57
Tukang Pipa	250.000,00	35.714,28	Pembantu Sopir	125.000,00	17.857,14
Tukang Plitur	150.000,00	21,428,57	Pembantu Operator	100.000,00	14.285,71
			Pembantu Mekanik	100.000,00	14.285,71

3.5. Optimalisasi Metode *Time Cost Trade Off (TCTO)*

Metode untuk mempercepat atau mengkompres durasi proyek salah satunya adalah TCTO (*Time Cost Trade Off*) atau biasa disebut metode pertukaran waktu dan biaya.

Perhitungan dalam proses percepatan ini hanya dilakukan pada aktivitas-aktivitas yang berada pada lintasan kritis dengan maksud agar dicapai pengurangan waktu proyek sebesar-besarnya dengan pengeluaran biaya yang sekecil-kecilnya (Oktaviani et al., 2019). Menurut (Budianto & Husin, 2021) metode *Time Cost Trade Off (TCTO)* yaitu perhitungan total upah pekerja normal untuk mengetahui sejauh mana durasi proyek dapat dipersingkat dengan adanya penambahan biaya. Pengendalian biaya harus memperhatikan faktor waktu, karena terdapat hubungan yang erat antara waktu penyelesaian proyek dengan biaya proyek. Biaya upah pekerja untuk setiap kegiatan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4: Total Upah Pekerja Normal

Kode	Jumlah Pekerja	Upah/Hari (Rp)	Durasi Normal (Hari)	Total Upah Proyek (Rp)
1.1	15	2.090.000,00	14	29260000
1.2	15	2.090.000,00	25	52250000
1.3	11	1.350.000,00	84	113400000
1.4	12	1.470.000,00	23	33810000
1.5	8	990.000,00	27	26730000
1.6	10	1.230.000,00	70	86100000
1.7	16	2.190.000,00	48	105120000
1.8	8	990.000,00	77	76230000
1.9	15	2.090.000,00	70	146300000
2.0	11	1.350.000,00	98	132300000
2.1	13	1.570.000,00	35	54950000
2.2	8	990.000,00	28	27720000
2.3	8	990.000,00	55	54450000
2.4	9	1.110.000,00	35	38850000
2.5	5	630.000,00	76	47880000
2.6	8	990.000,00	70	69300000
2.7	7	870.000,00	70	60900000
2.8	7	870.000,00	70	60900000
2.9	13	1.570.000,00	70	109900000
3.0	12	1.470.000,00	35	51450000
3.1	10	1.230.000,00	35	43050000
3.2	16	2.190.000,00	14	30660000
3.3	5	630.000,00	25	15750000
3.4	5	630.000,00	16	10080000
3.5	7	870.000,00	18	15660000
3.6	5	630.000,00	16	10080000

3.7	5	630.000,00	20	12600000
3.8	11	1.350.000,00	14	18900000
Total Keseluruhan				1.542.804.496,00

Dari hasil Tabel 4 dapat dilihat bahwa total upah proyek untuk 15 pekerja dengan upah/hari Rp.2.090.000 dengan durasi selama 14 hari yaitu sebesar Rp.29.260.000. Sehingga untuk total upah keseluruhan pada pelaksanaan proyek RS Bhayangkara Polda Gorontalo membutuhkan biaya upah tenaga kerja sebesar Rp.1.542.804.496,00.

3.6. Estimasi Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Mempercepat waktu pelaksanaan suatu kegiatan dengan penambahan jam kerja atau kerja lembur merupakan salah satu usaha untuk menambah produktivitas kerja sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaan suatu kegiatan. Perencanaan kerja yang akan dilakukan dalam mempercepat durasi suatu pekerjaan dengan menggunakan jam kerja lembur dengan waktu kerja normal adalah 8 jam (08.00 – 12.00 dan 13.00 – 17.00), sedangkan lembur dilakukan setelah waktu kerja normal. Pada saat penambahan jam kerja (lembur) produktivitas pekerja tiap jam berubah seperti pada saat penambahan jam kerja (lembur) 1 jam perhari diperhitungkan produktivitasnya 90%, 2 jam per hari produktivitasnya sebesar 80% . Untuk percepatan durasi kegiatan-kegiatan kritis dihitung berdasarkan penambahan jam kerja (lembur) dari durasi normal yang ada.

Menghitung jam lembur pekerja didasarkan kepada durasi normal proyek dikurangi waktu *crashing*. Pemilihan waktu *crashing* didasarkan oleh waktu libur yang terjadi selama durasi minimum pekerjaan proyek dari kumpulan kegiatan kritis proyek. Kemudian menghitung penambahan pekerja dengan menukar waktu *crashing* yang terjadi ke setiap kegiatan kritis proyek sehingga percepatan pekerjaan dapat menjadi optimal. Pemilihan waktu *crashing* didasarkan oleh waktu libur yang terjadi selama durasi minimum pekerjaan proyek dari kumpulan kegiatan kritis proyek. Kesimpulan optimasi dari penambahan jam lembur pekerja dan penambahan pekerja dapat dibandingkan dari efisiensi proyek dengan dasar pemilihan waktu *crashing* yang sama (Saputro, 2015). Hasil perhitungan perhitungan *Crash Duration* dapat dilihat pada Table 5.

Tabel 5: Hasil Perhitungan *Crash Duration*

Kode	Durasi Normal (Hari)	Durasi <i>Crashing</i> (Hari)		Kode	Durasi Normal (Hari)	Durasi <i>Crashing</i> (Hari)	
		1 Jam	2 Jam			1 Jam	2 jam
1.3	84	77	70	1.9	70	62	57
1.4	14	12	11	2.0	98	86	78
1.5	17	15	13	2.1	28	24	22

1.6	70	62	57	2.2	35	30	28
1.7	48	42	38	2.3	70	63	57
1.8	77	71	65				

Berdasarkan Tabel 5, maka diperoleh hasil durasi per hari yang sudah dicrashing sesuai dengan perhitungan menggunakan pendekatan metode TCTO. Pekerjaan yang termasuk dalam kegiatan kritis sebagai contoh untuk kegiatan Bowplank dan survei, jika dilemburkan selama 1 jam dari durasi normal yaitu 84 hari maka durasi craching mencapai 77 hari pengerjaan, sedangkan untuk 2 jam dapat mencapai 70 hari pengerjaan. Perhitungan waktu dan biaya proyek dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Kondisi lembur 1 jam

Pekerjaan Bowplank dan survei dengan durasi percepatan 77 hari. Jumlah tenaga kerja, masing-masing 1 orang untuk mandor, operator dan 9 orang pekerja.

Biaya lembur per hari = jumlah tenaga kerja \times 1,5 \times biaya normal per jam

Mandor = 1 orang \times 1,5 \times Rp.21.428, 57 = 32.142, 85

Operator = 1 orang \times 1,5 \times Rp.17.857, 14 = 26.785, 71

Pekerja = 9 orang \times 1,5 \times 17.142, 86 = 231.428, 61

Total upah lembur 1 jam = Rp. 290.357,17

Total biaya lembur 1 jam/hari = total upah normal per hari + total upah lembur 1 jam
= Rp. 1.350.000,00 + 290.357,17 = Rp. 291.701,17

Total upah lembur 1 jam = total upah lembur 1 jam \times Durasi Crashing 1 jam lembur
= Rp.291.701, 17 \times 77hari = Rp. 22.461.452,09

Jadi total upah untuk pekerjaan Bowplank dan Survei dengan menambahkan 1 jam lembur dengan durasi 77 hari ialah Rp. 22.461.452,09. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan hingga mencapai 28 kegiatan, kondisi 1 jam lembur tidak efisien untuk diterapkan pada proses pembangunan proyek tersebut. Hal ini dikarenakan biaya yang diperoleh berdasarkan perhitungan menghasilkan total biaya Rp. 29.085.346.782. Oleh karena itu tahap ini dilanjutkan untuk 2 jam lembur kerja.

2) Kondisi lembur 2 jam

Pekerjaan Bowplank dan survei dengan durasi percepatan 70 hari. Jumlah tenaga kerja, masing-masing 1 orang untuk mandor, operator dan 9 orang pekerja.

Biaya lembur 2 jam = TK \times [(1,5 \times biaya normal per jam) + (2 \times 1 \times biaya normal per jam)]

Mandor = 1 orang \times (1,5 \times Rp.21.428, 57) + (2 \times 1 \times Rp.21.428, 57) = 74.999.995

Operator = 1 orang \times (1,5 \times Rp.17.857, 14) + (2 \times 1 \times Rp.17.857, 14) = 61.071.43

Pekerja = 9 orang \times (1,5 \times 17.142, 86) + (2 \times 1 \times 17.142, 86) = 48.600.009

Total upah lembur 2 jam = Rp. 184.671.431

Total biaya lembur 2 jam/hari = total upah normal perhari + total upah lembur 2 jam
 = Rp. 1.350.000 + 184.671.431 = Rp. 186.021.431

Total upah lembur 1 jam = total upah lembur 2 jam/hari × Durasi *Crashing* 2 jam lembur
 = Rp.186.021.431 × 70 hari = Rp. 1.302.150.017

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan hingga mencapai 28 kegiatan, kondisi 2 jam lembur tetap tidak efisien untuk diterapkan pada proses pembangunan proyek tersebut. Hal ini dikarenakan biaya yang diperoleh lebih besar. Biaya yang diperoleh berdasarkan perhitungan tersebut menghasilkan total biaya Rp. 260.819.491.734. Ditinjau dari hasil biaya pada 1 dan 2 jam lembur kerja tidak efisien untuk diterapkan pada proyek pembangun RS. Oleh karena itu alternatif solusi yang akan dilakukan yaitu dengan penggunaan 2 *shift* kerja. Perhitungan *Crash Duration* untuk penggunaan 2 *shift* kerja pada pekerjaan lainnya bisa dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 : Hasil perhitungan *crash duration* penggunaan 2 *shift* kerja

kode	Volume	Durasi Normal (Hari)	Produktivitas <i>Shift</i> Harian		Total Produktivitas (Hari)	<i>Crash Duration</i>
			Pagi	Malam		
1.3	158.00	84	1,88	1,88	3,76	42
1.4	21.80	14	1,55	1,55	3,10	7
1.5	47.01	17	2,76	2,76	5,52	8
1.6	158.00	70	2,25	2,25	4,50	35
1.7	3290.80	48	68,50	68,50	137,00	24
1.8	212.41	77	2,75	2,75	5,50	38
1.9	317.99	70	4,54	4,54	9,08	35
2.0	7664.46	98	78,20	78,20	156,40	49
2.1	903.53	28	32,20	32,20	64,40	14
2.4	2.211.28	35	63,10	63,10	126,20	17
2.6	234.45	70	3,34	3,34	6,68	35

Dari Tabel 6.dapat dilihat sebagai contoh hasil perhitungan *crash duration* penggunaan 2 *shift* kerja untuk kode 1.3 (kegiatan Bowplank dan survei) dengan volume 158.00 dan durasi 84 hari pengerjaan dapat di *crash* menjadi 42 hari pengerjaan dengan total produktivitas sebesar 3,76.

3.7. Analisis Biaya Penggunaan 2 *Shift* Kerja

Pelaksanaan proyek konstruksi memiliki rangkaian kegiatan, mulai dari perencanaan (pengaturan sumber daya tenaga kerja, biaya, bahan, waktu dan sebagainya) sampai pada

pelaksanaan pengaturan penjadwalan, mengendalikan dan mengontrol proyek dengan baik. Perencanaan kegiatan-kegiatan proyek merupakan suatu hal yang penting, karena perencanaan ini merupakan dasar dari suatu proyek agar proyek dapat berjalan dengan lancar dan selesai pada waktu yang telah ditetapkan.

Suatu pekerjaan yang akan berpengaruh terhadap waktu penyelesaian proyek. Pemadatan durasi tentunya harus menambah sumber daya, termasuk biaya dan mempercepat pelaksanaan kegiatan. Akibat semakin banyak kegiatan yang dipendekkan maka terjadi penambahan biaya pada item pekerjaan tersebut, namun biaya total pekerjaan akan dapat diminimalisir dari total biaya yang seharusnya dikeluarkan akibat keterlambatan tersebut. Kondisi yang terjadi di lapangan mengakibatkan dilakukan alternatif penggunaan 2 *shift* kerja berdasarkan metode TCTO (Fardila & Adawyah, 2021).

Untuk mempercepat waktu pengerjaan proyek dapat menggunakan 2 *shift* yaitu *shift* pagi mulai dari jam 08:00 – 16:00 dan *shift* malam dimulai jam 20:00 – jam 04:00. Penggunaan 2 *shift* kerja ini hanya dilakukan pada kegiatan yang menjadi jalur kritis. Upah tenaga kerja untuk shift pagi dan shift malam sama, sehingga di bawah ini merupakan salah satu contoh perhitungan upah penggunaan total shift dengan menggunakan waktu percepatan. Untuk harga upah dengan penggunaan 2 *shift* pada setiap pekerjaan kritis lainnya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 : Upah Penggunaan 2 *Shift* Kerja

Kode	Durasi Normal	Durasi 2 <i>Shift</i> Kerja	Upah Jam Normal (Rp)	Upah (Rp)
1.1	14	-	29.260.000	29.260.000
1.2	25	-	52.250.000	52.250.000
1.3	84	42	113.400.000	113.400.000
1.4	23	7	33.810.000	20.580.000
1.5	27	8	26.730.000	15.840.000
1.6	70	35	86.100.000	86.100.000
1.7	48	24	105.120.000	105.120.000
1.8	77	38	76.230.000	75.240.000
1.9	70	35	146.300.000	146.300.000
2.0	98	49	132.300.000	132.300.000
2.1	35	14	63.174.496	43.960.000
2.2	35	17	38.850.000	37.740.000
2.3	70	35	69.300.000	60.900.000
2.4	28	-	27.720.00	27.720.00
2.5	55	-	54.450.000	54.450.000

2.6	76	-	47.880.000	47.880.000
2.7	70	-	60.900.000	60.900.000
2.8	70	-	60.900.000	60.900.000
2.9	70	-	109.900.000	109.900.000
3.0	35	-	51.450.000	51.450.000
3.1	35	-	43.050.000	43.050.000
3.2	14	-	30.660.000	30.660.000
3.3	25	-	15.750.000	15.750.000
3.4	16	-	10.080.000	10.080.000
3.5	18	-	15.660.000	15.660.000
3.6	16	-	10.080.000	10.080.000
3.7	20	-	12.600.000	12.600.000
3.8	14	-	18.900.000	18.900.000
Total Keseluruhan			1.515.084.496,00	1.461.250.000

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa penggunaan 2 shift kerja lebih menguntungkan karena bisa mempercepat waktu hingga 151 hari dengan biaya upah sebesar Rp. 1.488.970.000 yang relatif lebih kecil dari biaya normal dibandingkan dengan penambahan 1 dan 2 jam kerja lembur.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Dari hasil analisis jalur kritis menggunakan *Critical Path Method* didapatkan kegiatan yang termasuk di dalam jalur kritis adalah Bowplank Dan Survei, Pondasi Dan Batu Kosong, Sloop TB1, TB2, Tiang Kolom K250, Naik Bata Dan Kolom Praktis, Ring Balok, Cor Lantai, Besi, Dan Bekesting, Plester Acian, Pemasangan Rangka Bata Ringan Dan Penutup, Pemasangan Plafond Gypsum + Partisi, dan Pemasangan Kusen Dan Daun Jendela. Sedangkan untuk hasil waktu dan biaya menggunakan *Time Cost Trade Off* yaitu, alternatif yang dapat digunakan adalah dengan penambahan jam kerja (Lembur) atau dengan penggunaan 2 *shift* kerja. Hasil penambahan jam lembur 1 jam bisa mempercepat waktu hingga 189 hari dengan selisih biaya lebih besar, yaitu Rp. 27.542.541.822 dari biaya normal dan untuk penambahan 2 jam kerja lembur bisa mempercepat waktu hingga 168 hari dengan selisih upah yang lebih besar Rp. 259.276.687.238 dari biaya normal dan penggunaan 2 *shift* kerja bisa mempercepat waktu pengerjaan proyek hingga 151 hari dengan selisih upah hanya Rp. 53.834.496,00 lebih sedikit dari upah normal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Walean DM, Mandagi RJM, Tjakra J, Malingkas GY. Perencanaan dan Pengendalian Jadwal Dengan Menggunakan Program Microsoft Project 2010 (Studi Kasus: Proyek PT. Trakindo Utama). *J Sipil Statik*. 2012;1(1):22-26.
- [2]. Hermina S, Untu S, Dundu AKT, Mandagi RJM. Penerapan Metode Lean Project Management Dalam Perencanaan Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Mantos Tahap Iii). *J Sipil Statik*. 2014;2(6):320-329.
- [3]. Fazri M, Widiastuti M, Jamal M. Analisis Percepatan Waktu Dengan Menggunakan Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Pembangunan Rusun 1 Kota Samarinda Kalimantan Timur. *Tekno Sipil*. 2020;3(2):1-14.
- [4]. S F, Jamal M, Abdi FN. Optimalisasi Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Pada Proyek Dengan Metode Least Cost Analysis (Studi Kasus : Gedung Badan Kepegawaian Daerah Provinsi Kalimantan Timur). *J Tekno SIPIL J Ilmu Pengetah dan Tekno sipill*. 2019;3:21-28.
- [5]. K, Dimiyati D. H. & Nurjaman. Manajemen Proyek. Yogyakarta: Pustaka Setia, 2014.
- [6]. Muhammad AA, Indryani R. Analisa Time Cost Trade Off pada Proyek Pasar Sentral Gadang Malang. *J Tek ITS*. 2015;4(1):D45-D49.
- [7]. Safitri E. Optimasi Penjadwalan Proyek menggunakan CPM dan PDM (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Balai Nikah dan Manasik Haji KUA Kecamatan Kateman Kabupaten Indragiri Hilir). *J Sains Mat dan Stat*. 2019;5 No. 2(2):17-25.
- [8]. Izzah N. Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya Menggunakan Metode Time Cost Trade Off (TCTO) pada Proyek Pembangunan Perumahan di PT. X. *Rekayasa*. 2018;10(1):51.
- [9]. Iwawo ERM, Tjakra J, Pratisis PAK. Penerapan Metode Cpm Pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus Pembangunan Gedung Baru Kompleks Eben Haezar Manado). *J Sipil Statik*. 2016;4(9):551-558.
- [10]. Asri DFL, Setiawan TH, Rusdiana Y. Analisis Jaringan Kerja Pada Evaluasi Penjadwalan Waktu Dan Biaya Penyelesaian Proyek Dengan Menggunakan Metode Pert & Cpm. *J Sainika Unpam J Sains dan Mat Unpam*. 2019;2(2):136.
- [11]. Oktaviani CZ, Majid IA, Risdiawati R. Percepatan Waktu Pelaksanaan Pekerjaan Konstruksi Dengan Metode Cpm Dan Tcto. *Inersia, J Tek Sipil*. 2019;11(1):33-40.
- [12]. Budianto EA, Husin AE. Analisis Optimasi Waktu Dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Gudang Amunisi. *J Apl Tek Sipil*. 2021;19(3):305.

- [13]. Saputro R. " Analisa Percepatan Dengan Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Pembangunan Hotel Ijen Padjajaran Malang " Skripsi Disusun Oleh : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
- [14]. Fardila D, Adawyah NR. Optimasi Biaya dan Waktu Proyek Konstruksi dengan Lembur dan Penambahan Tenaga Kerja. *INERSIA INformasi dan Ekspose Has Ris Tek Sipil dan Arsit.* 2021;17(1):35-46.