

ANALISIS OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PROYEK KONSTRUKSI MENGGUNAKAN METODE TIME COST TRADE OFF (STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN JALAN GORDA-BANDUNG)

Arif Budi Sulisty¹, Muhammad Al Fikri²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Banten Jaya
Jl. Ciwaru Raya II No.73, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten, 42117

arif.b.sulisty¹@gmail.com¹, fikrikepek76@gmail.com²

ABSTACT

PT. Saeba Konsulindo is company who engaged in the field of construction services and responsible for construction of Bandung-Gorda's road. The construction run into such a delay in some step that caused the delay in the completion of the project. The author is looking for an alternative method to reduce delay on the project by add working hours (overtime) or using 2 shift working pattern, but the consequences of the cost of labor incurred will increases. Research aim to determine the activities which included in the critical path, make a comparison of the wages of labor between implementing additional working hours (overtime) and 2-shift working pattern, by using method of Time Cost Trade Off, and finally determine the most optimal duration of project completion. The stages of this research are finding the critical path by using Microsoft Project program, perform analysis of duration and cost of labor on critical path by acceleration of the addition working hours (overtime) as well as use 2-shift working pattern, by using approach of Time Cost Trade Off. Result of analysis, previously labor cost in normal working time is IDR 500,339,000.00 with project duration 140 days. After acceleration work is obtained and resulting optimum duration to complete the project is using 2-shift working pattern, and duration of the project become 105 days at cost IDR 501,838,000.00, could reduce project time about 35 days and cost up little bit about IDR 1,499,000.00 against normal working hour.

Keywords : Microsoft Project, Critical Path, Time Cost Trade Off, 2-shift working

ABSTRAK

PT. Saeba Konsulindo merupakan perusahaan yang bergerak dibidang jasa konstruksi yang bertanggung jawab dalam pengerjaan pembangunan Jalan Bandung-Gorda. Pengerjaan pembangunan tersebut mengalami keterlambatan pengerjaan pada beberapa tahap pekerjaan, sehingga secara keseluruhan penyelesaian proyek menjadi terlambat. Untuk mengurangi keterlambatan tersebut penulis mencari alternatif dengan cara menambah jam kerja (lembur) atau menggunakan 2 shift kerja, tetapi mempunyai konsekuensi biaya upah tenaga kerja yang dikeluarkan akan meningkat. 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 dengan menggunakan metode Time Cost Trade Off, dan menentukan waktu yang paling optimal untuk menyelesaikan proyek tersebut. Tahapan penelitian kali adalah pencarian jalur kritis dengan menggunakan program Microsoft Project, 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 140 hari ialah sebesar Rp500,339,000.00. Kemudian percepatan dilakukan sehingga menghasilkan waktu optimal untuk penyelesaian proyek tersebut yaitu penggunaan 2 shift kerja, dengan durasi proyek menjadi 105 hari dengan biaya sebesar Rp 501,838,000.00 dengan menghemat waktu 35 hari dan selisih biaya sebesar Rp 1,499,000.00 dari biaya normal.

Kata Kunci : *Microsoft Project, Jalur Kritis, Time Cost Trade Off, 2-shift kerja*

1. PENDAHULUAN

Tolak ukur keberhasilan suatu proyek terlihat dari waktu penyelesaian proyek yang tepat waktu dan dengan biaya yang rendah tanpa meninggalkan mutu hasil dari pekerjaan tersebut. Salah satu jenis proyek adalah konstruksi, dan saat ini penulis hanya fokus pada proyek konstruksi jalan yang merupakan kegiatan pembangunan yang meliputi penggalian, pengurugan, perkerasan jalan, dan konstruksi jembatan serta struktur drainase.

Ruas jalan Gorda, kecamatan Bandung, Kabupaten Serang, Propinsi Banten termasuk dalam ruas jalan kabupaten di Kabupaten Serang. Proyek konstruksi jalan Gorda ini penting sebagai usaha untuk meningkatkan struktur jalan dan untuk menghindari kecelakaan yang diakibatkan kondisi jalan yang kurang baik. Proyek ini mengalami keterlambatan penyelesaian dalam beberapa pekerjaannya yang mengakibatkan penyelesaian proyek menjadi lebih lama dan menimbulkan kemacetan lalu lintas. Perlu dilakukan upaya untuk mengurangi keterlambatan penyelesaian proyek dengan mencari waktu dan biaya yang optimal agar keterlambatan serta kemacetan yang terjadi ini bisa ditekan atau dikurangi.

Berdasarkan dari kondisi diatas, penulis membahas mengenai pengoptimalan waktu dan biaya pada pelaksanaan proyek konstruksi jalan Gorda, kecamatan Bandung, Kabupaten Serang, Banten dengan menggunakan metode TCTO (*Time Cost Trade Off*), yaitu dengan alternatif penambahan jam kerja (lembur) dan dengan penggunaan 2 shift kerja, dengan menggunakan program *Microsoft Project*.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah: kegiatan mana saja yang termasuk kedalam lintasan kritis pada proyek pembangunan jalan Bandung-Gorda dengan menggunakan program *Microsoft Project*, alternatif apa saja yang bisa dilakukan untuk mempercepat proyek pembangunan jalan Bandung-Gorda, dan berapa waktu optimal yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek tersebut.

Kemudian penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kegiatan apa saja yang termasuk kedalam lintasan kritis pada pelaksanaan proyek konstruksi jalan Bandung-Gorda dengan menggunakan Program *Microsoft Project*, mencari alternatif apa yang bisa dilakukan untuk mempercepat proyek. pembangunan jalan Bandung-Gorda, dan mengetahui waktu optimal yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek tersebut.

Batasan penelitian ini, adalah pengambilan data berasal dari Proyek Pembangunan ruas jalan Gorda, kecamatan Bandung, Kabupaten Serang, Banten. Proyek berlangsung pada hari Senin–Minggu, jam 08:00-16:00 WIB, dengan istirahat jam 12:00-13:00 WIB. Maksimal penambahan jam kerja (lembur) ialah 2 jam (16:00-18:00 WIB). Shift pagi jam 08:00-18:00 WIB dan shift malam jam 20:00-04:00 WIB. Analisis penambahan jam kerja (lembur) dan penggunaan 2 shift kerja dilakukan dengan menggunakan metode pertukaran waktu dan biaya (*time cost trade off*). Analisis penjadwalan dan jalur kritis menggunakan program *Microsoft Project*. Penelitian ini juga hanya membahas biaya upah tenaga kerja dan tidak membahas biaya material dan alat yang digunakan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proyek Konstruksi

Proyek merupakan suatu rangkaian kegiatan yang memiliki tujuan untuk membuat suatu produk atau jasa yang memiliki batas waktu (durasi), dan proyek juga memiliki awalan dan akhiran yang sudah direncanakan, suatu proyek dianggap selesai ketika tujuan dari proyek tersebut tercapai.

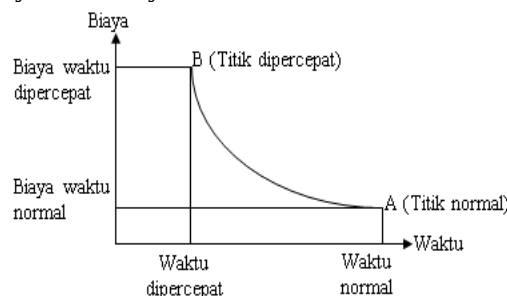
Proyek adalah suatu rangkaian beberapa kegiatan atau aktivitas dengan batas waktu yang telah direncanakan dan mengelola sumber daya yang digunakan dengan suatu metode tertentu dalam menggapai suatu tujuan (Olivia, Priska & Puspasari, 2019).

2.2. Lintasan Kritis (*Critical Path*)

Lintasan kritis (*Critical Path*) merupakan lintasan terpanjang dalam hal total waktu diantara semua lintasan yang ada pada suatu *network diagram*. Lintasan kritis ini yang akan menentukan total durasi yang paling cepat untuk menyelesaikan sebuah proyek. Kegiatan-kegiatan yang berada didalam lintasan kritis merupakan kegiatan yang harus diselesaikan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Apabila pengerjaan pada lintasan kritis ini terhambat atau tertunda hal tersebut akan mengakibatkan keterlambatan dalam penyelesaian proyek.

2.3. Hubungan Antara Waktu dan Biaya

Dalam suatu proyek terdapat hubungan antara waktu (Jadwal) dengan Biaya (*Cost*), hubungan antara waktu dan proyek ini merupakan hubungan yang penting yang harus di perhatikan dalam suatu proyek, karena hubungan antara waktu dan biaya ini yang akan berperan penting dalam pelaksanaan proyek yang akan berakibat pada puas / tidaknya pelanggan dan juga untung/ruginya perusahaan. Tetapi percepatan waktu kegiatan-kegiatan ini juga akan mempengaruhi proyek dari segi biaya khususnya untuk setiap kegiatan yang waktunya dipercepat, menjadi lebih tinggi, sehingga secara total biaya proyek menjadi lebih besar daripada biaya normalnya.



Gambar 1. Hubungan Biaya Normal dan dipercepat Untuk Suatu Kegiatan (Soeharto, 1999)

2.4. Metode Pertukaran Waktu dan Biaya (*Time Cost Trade Off*)

Didalam mengerjakan sebuah proyek peranan waktu dan biaya sangatlah penting karena kedua hal tersebut mempengaruhi terhadap puasnya pelanggan dan juga keuntungan yang akan di peroleh oleh perusahaan. Karena semakin minim biaya yg dikeluarkan maka semakin besar kemungkinan perusahaan mendapat keuntungan. Pengendalian biaya harus memperhatikan faktor waktu juga, karena waktu penyelesaian proyek sangat berhubungan erat dengan biaya-biaya yang akan dikeluarkan pada suatu proyek. Jika waktu penyelesaian proyek dipercepat maka biaya proyek tersebut akan bertambah besar. Pada saat mempercepat untuk menyelesaikan suatu proyek ada beberapa cara yang bisa dilakukan, yaitu penambahan jam kerja (kerja lembur), *shift* kerja, penambahan tenaga kerja, pergantian atau penambahan peralatan, pemilihan sumber daya manusia yang berkualitas, dan penggunaan metode konstruksi yang efektif.

2.5. Produktivitas Pekerja

Menurut (Priyo & Sumanto, 2016) menyebutkan bahwa produktivitas didefinisikan sebagai rasio antara *output* dan *input*, atau dapat dikatakan sebagai rasio antara hasil produksi dengan total sumber daya yang digunakan. Didalam proyek konstruksi rasio dari produktivitas ialah nilai yang diukur selama proses konstruksi berlangsung, yang dapat dipisahkan antara biaya material, biaya tenaga kerja, metode dan alat. Mengenai upah yang akan diberikan biasanya tergantung dari kecakapan / keterampilan dari masing-masing pekerja karena setiap pekerja memiliki karakter yang berbeda antara satu dengan yang lainnya.

2.6. Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Penambahan jam kerja (lembur) merupakan salah satu strategi yang biasanya dilakukan untuk mempercepat proses penyelesaian suatu proyek. Waktu normal para pekerja bekerja setiap harinya yaitu 7 jam (dimulai pukul 08:00 dan selesai pukul 16:00 dengan satu jam istirahat yaitu pada pukul 12:00 -13:00). Kemudian ketika jam kerja normal telah selesai baru bisa dimulai jam kerja lembur.

Penambahan jam kerja (lembur) bisa dilakukan dengan melakukan penambahan 1 jam dan 2 jam, sesuai dengan waktu yang diinginkan serta memperhatikan kondisi para pekerja. Hal yang harus di perhatikan dan dipertimbangkan dalam menentukan jam lembur yaitu semakin besar penambahan jam lembur maka akan mengakibatkan produktivitas pekerja menurun. Pada gambar dibawah dapat dilihat indikasi penurunan produktivitas pekerja sesuai jam kerjanya.

Tabel 1 Koefisien Penurunan Produktivitas (Sumber : Soeharto,1999)

Jam Lembur	Penurunan Indeks Produktivitas	Prestasi Kerja
1 Jam	0,1	90
2 Jam	0,2	80

Dari uraian diatas dapat ditulis sebagai berikut :

- Produktivitas harian = $\frac{Volume}{Durasi\ normal}$
- Produktivitas setiap jam = $\frac{Produktivitas\ Harian}{Jam\ Kerja\ Perhari}$
- Produktivitas *Crashing*
= (jam kerja perhari x produktivitas tiap jam) + (a x b x produktivitas tiap jam)
Dimana :
a = Lama penambahan jam kerja (lembur)
b = Koefisien penurunan produktivitas akibat penambahan jam kerja (lembur)
- $Crash\ duration = \frac{Volume}{Produktivitas\ sesudah\ crash}$

2.7. Shift Kerja

Shift kerja merupakan suatu jadwal kerja dimana setiap tenaga kerja secara bergantian datang ke tempat kerja agar kegiatan operasional tetap berjalan.. Produktivitas yang terjadi akibat pemakaian *shift* kerja dapat dihitung dengan rumus berikut :

- Produktivitas *pershift* = $\frac{Volume}{Durasi\ normal}$
- Produktivitas total perhari = Produktivitas *shift* pagi+Produktivitas *shift* malam
- $Crash\ duration = \frac{Volume}{Produktivitas\ total\ perhari}$

2.8. Biaya Percepatan (*Crash Cost*)

Berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor KEP. 102/MEN/VI/2004 pasal 3, pasal 7, dan pasal 11 diperhitungkan bahwa upah penambahan kerja bervariasi. Pada penambahan waktu kerja satu jam pertama, pekerja mendapatkan tambahan upah 1,5 kali upah perjam waktu normal pada penambahan jam kerja berikutnya maka pekerja akan mendapatkan 2 kali upah perjam waktu normal. Perhitungan untuk biaya dapat dirumuskan sebagai berikut :

- a. Normal upah pekerja perhari = jumlah pekerja $\times$ harga satuan upah pekerja
- b. Biaya lembur pekerja
 $= 1,5 \times \text{upah sejam normal} + (2 \times n \times \text{upah sejam normal})$ untuk jam lembur berikutnya
 $n = \text{jumlah penambahan jam kerja (lembur)}$
- c. Total upah perhari lembur = total upah normal perhari + total upah lembur perhari
- d. *Crash cost* = total upah lembur $\times$ durasi percepatan

2.9. Microsoft Project

Microsoft Project merupakan perangkat lunak proyek manajemen yang dikembangkan serta dijual oleh *Microsoft*, yang berguna untuk membantu manajer proyek dalam mengembangkan rencana, menetapkan sumber daya untuk tugas-tugas, mengelola anggaran, serta menganalisa beban kerja. Pada program *Microsoft Project* terdapat beberapa metode yang sering digunakan dalam kegiatan manajemen proyek, metode yang terdapat didalam *Microsoft Project* antara lain metode *Critical Path Method* (CPM), metode PERT (*Program Evolution Review Technique*), dan *Gantt Chart*.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Obyek penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan ruas jalan Gorda-Bandung, Kecamatan Bandung, Kabupaten Serang, Banten.

3.2. Studi Pustaka

Studi pustaka bertujuan sebagai penunjang pada penelitian kali ini dalam memecahkan suatu masalah yang terjadi di lapangan.

3.3. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan dengan proses wawancara dan dokumentasi yang ada dengan observasi ke lapangan secara langsung.

3.4. Pengumpulan Data

Data yang digunakan berupa data primer dan data sekunder serta berupa hasil simulasi dengan *Microsoft Project*. Data tersebut meliputi :

- a. Daftar harga upah tenaga kerja
- b. Rencana anggaran biaya (RAB) proyek pembangunan ruas jalan Gorda-Bandung, kecamatan Bandung, Kabupaten Serang, Banten
- c. *Time Schedule* (Kurva-S)
- d. Estimasi waktu dalam program *Microsoft Project*.
- e. Biaya tenaga kerja normal

3.5. Pengolahan Data

Analisa data ini menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO), dan dibantu dengan menggunakan program *Microsoft Project*. Ada beberapa analisis yang menjadi tujuan pada penelitiann ini, antara lain :

- a. Analisis Jalur Kritis

Data tentang kegiatan yang ada di proyek tersebut di input ke dalam program *Microsoft Project* untuk mencari jalur kritis yang ada pada proyek pembangunan ruas jalan Gorda-Bandung ini.

b. Analisis Waktu dan Biaya

Analisis waktu dan biaya upah tenaga kerja ini akan menggunakan Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Kegiatan yang menjadi jalur kritis akan dihitung untuk mencari waktu dan biaya upah tenaga kerja yang optimal pada proyek ini.

4. PENGOLAHAN DATA**4.1. Daftar Kegiatan Pekerjaan**

Berikut ini merupakan daftar kegiatan apa saja yg ada pada pekerjaan proyek peningkatan struktur jalan Gorda – Bandung serta durasi pada setiap kegiatannya.

Tabel 2. Daftar Kegiatan Pekerjaan

Kode	Nama Kegiatan	Durasi (Hari)	Kode	Nama Kegiatan	Durasi (Hari)
I	PEKERJAAN UMUM		IV	PELEBARAN PERKERASAN DAN BAHU JALAN	
1.1	Mobilisasi	140	4.1	Lapisan pondasi agregat kelas A	56
1.2	Pemeliharaan & perlindungan lalu lintas	140	4.2	Lapisan pondasi agregat kelas B	56
II	PEKERJAAN DRAINASE		4.3	Timbunan bahu jalan (kelas agregat B)	63
2.1	Galian tanah selokan drainase dan saluran air	14	V	PEK.PERKERASAN BERBUTIR & BETON SEMEN	
2.2	Pasangan batu dengan mortar	21	5.1	Perbaikan lapisan pondasi agregat kelas A	70
2.3	Plesteran batu untuk mortar	14	5.2	Perbaikan lapisan pondasi agregat kelas B	70
2.4	Beton k-250 (fc 20) untuk struktur beton minor	28	5.3	Lapisan pondasi bawah beton kurus	84
2.5	Baja tulangan untuk struktur beton minor	14	5.4	Perkerasan beton semen (K-400)	84
2.6	Acuan untuk struktur drainase beton minor	14	5.5	Baja tulangan untuk perkerasan beton	63
2.7	Pasangan batu dengan mortar lonengan	7	5.6	Acuan untuk perkerasan Beton	112
2.8	Plesteran untuk lonengan	7	VI	PEKERJAAN STRUKTUR	
III	PEKERJAAN TANAH		6.1	Galian Tanah Pondasi TPT (Tembok Penahan Tanah)	35
3.1	Galian tanah untuk pelebaran	49	6.2	Pasangan Batu Untuk TPT (Tembok Penahan Tanah)	56
3.2	Pembersihan semak-semak	49	6.3	Plesteran untuk TPT (Tembok Penahan Tanah)	63
			6.4	Timbunan untuk TPT (Tembok Penahan Tanah)	21

4.2. Daftar Kegiatan Kritis

Jalur kritis merupakan rangkaian kegiatan-kegiatan yang apabila pelaksanaannya terlambat akan mengakibatkan keterlambatan pada penyelesaian proyek. Ada beberapa tahapan untuk mencari jalur kritis dengan menggunakan program *Microsoft Project*.

Tabel 3. Daftar Kegiatan Kritis

Kode	Nama Kegiatan	Durasi (Hari)	Kode	Nama Kegiatan	Durasi (Hari)
3.1	Galian tanah untuk pelebaran	49	5.1	Perbaikan lapisan pondasi agregat kelas A	70
3.2	Pembersihan semak-semak	49	5.2	Perbaikan lapisan pondasi agregat kelas B	70
4.1	Lapisan pondasi agregat kelas A	56	5.3	Lapisan pondasi bawah beton kurus	84
4.2	Lapisan pondasi agregat kelas B	56	5.4	Perkerasan beton semen (K-400)	84
4.3	Timbunan bahu jalan (kelas agregat B)	63	5.5	Baja tulangan untuk perkerasan beton	63
			5.6	Acuan untuk perkerasan Beton	112

Kegiatan-kegiatan diatas yang akan dipercepat pengerjaannya dengan catatan kegiatan mobilisasi dan pemeliharaan dan perlindungan lalu lintas tidak dihitung karena memiliki satuan Lumpsum yang berarti akan menyesuaikan waktu selesainya akan mengikuti kegiatan lainnya.

4.3. Biaya Upah Tenaga Kerja

Proyek pembangunan ruas jalan Gorda-Bandung memiliki nilai kontrak untuk upah/gaji pekerja. Contoh perhitungan biaya upah kerja normal/jam untuk *resource name* Mandor, biaya perhari (*standart cost*) : Rp. 120.000,00, jam kerja 7 jam/hari, sehingga :

$$\text{Biaya perjam} = \frac{\text{Rp. 120.000}}{7 \text{ jam/hari}} = \text{Rp. 17.142,86 /jam.}$$

Untuk pekerjaan lainnya bisa dilihat pada tabel 4 dibawah ini :

Tabel 4. Upah Tenaga Kerja Normal

No	Pekerjaan	Upah/Hari (Rp)	Upah/Jam (Rp)	No	Pekerjaan	Upah/Hari (Rp)	Upah/Jam (Rp)
1	Mandor	120.000,00	17.142,86	10	Tukang	65.000,00	9.285,71
2	Kepala Tukang	110.000,00	15.714,29	11	Pembantu Tukang	42.000,00	6.000,00
3	Tukang Batu	65.000,00	9.285,71	12	Pekerja Biasa	42.000,00	6.000,00
4	Tukang Kayu	65.000,00	9.285,71	13	Penjaga Malam	42.000,00	6.000,00
5	Tukang Besi/Baja	65.000,00	9.285,71	14	Sopir	65.000,00	9.285,71
6	Tukang Cat	65.000,00	9.285,71	15	Operator	75.000,00	10.714,29
7	Tukang Listrik	65.000,00	9.285,71	16	Mekanik	65.000,00	9.285,71
8	Tukang Pipa	65.000,00	9.285,71	17	Pembantu Sopir	42.000,00	6.000,00
9	Tukang Plitur	65.000,00	9.285,71	18	Pembantu Operator	50.000,00	7.142,86
				19	Pembantu Mekanik	42.000,00	6.000,00

4.4. Penerapan Metode *Time Cost Trade Off (TCTO)*

Biaya percepatan ini ada karena adanya durasi percepatan yang disebabkan oleh jam lembur 1 jam dan 2 jam dalam sehari. Kegiatan yang akan dihitung yaitu kegiatan pada jalur kritis yang biaya percepatannya berdasarkan penambahan jam kerja lembur dan durasi

percepatan dengan menggunakan program *Microsoft Excel*. Adapun salah satu contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

Kondisi Normal

Pekerjaan galian tanah untuk pelebaran, volume 817,50 m³, dan durasi normal 49 hari. Jumlah tenaga kerja, masing-masing 1 orang untuk mandor, operator, pembantu operator dan 2 orang untuk pekerja.

Total upah pekerja/hari = jumlah tenaga kerja x harga satuan

a. Mandor = 1 orang x Rp. 120.000,00 = Rp. 120.000,00

b. Operator = 1 orang x Rp. 75.000,00 = Rp. 75.000,00

c. Pembantu operator = 1 orang x Rp. 50.000,00 = Rp. 50.000,00

d. Pekerja (2 orang) = 2 orang x Rp. 42.000,00 = Rp. 84.000,00

Total upah pekerja/hari = Rp. 329.000,00

Total biaya upah = total upah pekerja/hari x durasi normal

= Rp. 329.000,00 x 49 hari

= Rp.16.121.000,00

Untuk harga upah pada kegiatan lainnya bisa dilihat pada tabel 5 berikut ini :

Tabel 5. Total Upah Pekerja Normal

Kode	Jumlah Pekerja	Total Upah/hari (Rp)	Durasi Normal (Hari)	Total Upah Proyek (Rp)	Kode	Jumlah Pekerja	Total Upah/hari (Rp)	Durasi Normal (Hari)	Total Upah Proyek (Rp)
1.1	-	-	140	-	4.2	5	329.000,00	56	18.424.000,00
1.2	2	84.000,00	140	11.760.000,00	4.3	7	418.000,00	63	26.334.000,00
2.1	2	162.000,00	14	2.268.000,00	5.1	6	394.000,00	70	27.580.000,00
2.2	5	379.000,00	21	7.959.000,00	5.2	6	394.000,00	70	27.580.000,00
2.3	2	162.000,00	14	2.268.000,00	5.3	15	846.000,00	84	71.064.000,00
2.4	2	162.000,00	28	4.536.000,00	5.4	21	1.262.000,00	84	106.008.000,00
2.5	3	204.000,00	14	2.856.000,00	5.5	9	548.000,00	63	34.524.000,00
2.6	2	162.000,00	14	2.268.000,00	5.6	7	418.000,00	112	46.816.000,00
2.7	2	162.000,00	7	1.134.000,00	6.1	4	279.000,00	35	9.765.000,00
2.8	2	162.000,00	7	1.134.000,00	6.2	10	548.000,00	56	30.688.000,00
3.1	5	329.000,00	49	16.121.000,00	6.3	2	227.000,00	63	14.301.000,00
3.2	3	204.000,00	49	9.996.000,00	6.4	4	311.000,00	21	6.531.000,00
4.1	5	329.000,00	56	18.424.000,00	Total Keseluruhan				500.339.000,00

Jadi pada pelaksanaan proyek konstruksi pembangunan dan peningkatan struktur jalan Gorda-Bandung membutuhkan biaya upah tenaga kerja sebesar Rp. 500.339.000,00.

4.5. Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Pada saat penambahan jam kerja (lembur) produktivitas pekerja tiap jam nya berubah seperti pada saat penambahan jam kerja (lembur) 1 jam perhari diperhitungkan produktivitasnya sebesar 90%, 2 jam perhari produktivitasnya sebesar 80%.. Untuk percepatan durasi kegiatan-kegiatan kritis dihitung berdasarkan penambahan jam kerja (lembur) dari durasi normal yang ada. Adapun contoh perhitungannya ialah perhitungan pada pekerjaan di divisi 3.1 yaitu Galian Tanah Untuk Pelebaran dibawah ini :

- a. Durasi di *crash* berdasarkan penambahan 1 jam lembur pada divisi 3.1 yaitu kegiatan galian tanah untuk pelebaran :

$$\text{Volume} = 817,50 \text{ m}^3$$

$$\text{Durasi normal} = 49 \text{ hari}$$

$$\text{Produktivitas harian} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal}} = \frac{817,50}{49} = 16,68 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Produktivitas setiap jam} = \frac{\text{Produktivitas harian}}{\text{Jam kerja perhari}} = \frac{16,68}{7} = 2,38 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Produktivitas *crashing*

$$= (\text{Jam kerja perhari} \times \text{Produktivitas tiap jam}) + (a \times b \times \text{produktivitas tiap jam})$$

$$= (7 \times 2,38) + (1 \times 0,9 \times 2,38) = 18,80 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Crash duration} = \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas crashing}} = \frac{817,50}{18,80} = 43,48 = 43 \text{ hari}$$

- b. Durasi yang bisa di *crash* berdasarkan penambahan 2 jam lembur pada divisi 3.1 yaitu kegiatan galian tanah untuk pelebaran :

$$\text{Volume} = 817,50 \text{ m}^3$$

$$\text{Durasi normal} = 49 \text{ hari}$$

$$\text{Produktivitas harian} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal}} = \frac{817,50}{49} = 16,68 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Produktivitas perjam} = \frac{\text{Produktivitas harian}}{\text{Jam kerja perhari}} = \frac{16,68}{7} = 2,38 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Produktivitas *crashing*

$$= (\text{Jam kerja perhari} \times \text{Produktivitas tiap jam}) + (a \times b \times \text{produktivitas tiap jam})$$

$$= (7 \times 2,38) + (1 \times 0,9 \times 2,38) + (1 \times 0,8 \times 2,38) = 20,71 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Crash duration} = \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas crashing}} = \frac{817,50}{20,71} = 39,47 = 39 \text{ hari}$$

Hasil perhitungan pengontrolan durasi *crashing* manual diatas bisa dilihat pada tabel 6 untuk perhitungan *crash duration*.

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Crash Duration*

Kode	Durasi Normal (Hari)	Durasi <i>Craching</i> (Hari)		Kode	Durasi Normal (Hari)	Durasi <i>Craching</i> (Hari)	
		1 Jam	2 Jam			1 Jam	2 Jam
3.1	49	43	39	5.2	70	62	56
3.2	49	43	39	5.3	84	74	67
4.1	56	49	45	5.4	84	74	68
4.2	56	50	45	5.5	63	56	51
4.3	63	56	51	5.6	112	99	90
5.1	70	62	56				

Contoh perhitungan biayanya bisa dilihat dibawah ini :

- a. Kondisi lembur 1 jam

Pekerjaan galian tanah untuk pelebaran dengan durasi percepatan 43 hari. Jumlah tenaga kerja, masing-masing 1 orang untuk mandor, operator, pembantu operator dan 2 orang untuk pekerja.

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

- 1) Mandor = 1 orang x 1,5 x Rp. 17.142,86 = Rp. 25.714,29
- 2) Operator = 1 orang x 1,5 x Rp. 10.714,29 = Rp. 16.071,43
- 3) Pembantu operator = 1 orang x 1,5 x Rp. 7.142,86 = Rp. 10.714,29
- 4) Pekerja = 2 orang x 1,5 x Rp. 6.000,00 = Rp. 18.000,00

Total upah lembur 1 jam = Rp. 70.500,00

Total biaya lembur 1 jam/hari = total upah normal perhari + total upah lembur 1 jam
= Rp. 329.000,00 + Rp. 70.500,00 = Rp. 399.500,00

Total upah lembur 1 jam = total upah lembur 1 jam x Durasi *crashing* 1 jam lembur
= Rp. 399.500,00 x 43 hari = Rp. 17.178.500,00

Jadi total biaya upah untuk pekerjaan galian tanah untuk pelebaran dengan menambah 1 jam lembur dengan durasi 43 hari ialah Rp. 17.178.500,00. Untuk harga upah dengan penambahan jam lembur dan durasi percepatan lainnya bisa dilihat pada tabel 7 upah penambahan jam lembur 1 jam berikut :

Tabel 7. Upah Penambahan Jam Lembur 1 Jam

Kode	Durasi Normal	Durasi setelah penambahan 1 jam lembur	Upah Jam Normal (Rp)	Upah Penambahan 1 jam lembur (Rp)
1.1	140	-	-	-
1.2	140	-	11.760.000,00	11.760.000,00
2.1	14	-	2.268.000,00	2.268.000,00
2.2	21	-	7.959.000,00	7.959.000,00
2.3	14	-	2.268.000,00	2.268.000,00
2.4	28	-	4.536.000,00	4.536.000,00
2.5	14	-	2.856.000,00	2.856.000,00
2.6	14	-	2.268.000,00	2.268.000,00
2.7	7	-	1.134.000,00	1.134.000,00
2.8	7	-	1.134.000,00	1.134.000,00
3.1	49	43	16.121.000,00	17.178.500,00
3.2	49	43	9.996.000,00	10.651.714,29
4.1	56	49	18.424.000,00	19.575.500,00
4.2	56	50	18.424.000,00	19.975.000,00
4.3	63	56	26.334.000,00	28.424.000,00
5.1	70	62	27.580.000,00	29.662.571,43
5.2	70	62	27.580.000,00	29.662.571,43
5.3	84	74	71.064.000,00	76.019.142,86
5.4	84	74	106.008.000,00	113.399.714,29
5.5	63	56	34.524.000,00	37.264.000,00
5.6	112	99	46.816.000,00	50.249.571,43
6.1	35	-	9.765.000,00	9.765.000,00
6.2	56	-	30.688.000,00	30.688.000,00

Tabel 7. Upah Penambahan Jam Lembur 1 Jam (Lanjutan)

Kode	Durasi Normal	Durasi setelah penambahan 1 jam lembur	Upah Jam Normal (Rp)	Upah Penambahan 1 jam lembur (Rp)
6.3	63	-	14.301.000,00	14.301.000,00
6.4	21	-	6.531.000,00	6.531.000,00
Total Keseluruhan			500.339.000,00	529.530.285,71

Jadi pada tabel diatas didapat upah pada kegiatan jalur kritis ini meningkat karena adanya upah penambahan jam kerja lembur 1 jam, yaitu Rp. 529.530.285,71

b. Kondisi lembur 2 jam

Pekerjaan galian tanah untuk pelebaran dengan durasi percepatan 39 hari. Jumlah tenaga kerja, masing-masing 1 orang untuk mandor, operator, pembantu operator dan 2 orang untuk pekerja.

Biaya lembur 2 jam

= TK x [(1,5 x biaya normal per jam) + (2 x 1 x biaya normal per jam)]

1) Mandor = 1 orang x (1,5 x Rp. 17.142,86) + (2 x 1 x Rp. 17.142,86)
= Rp. 60.000,00

2) Operator = 1 orang x (1,5 x Rp. 10.714,29) + (2 x 1 x Rp. 10.714,29)
= Rp. 37.500,00

3) Pembantu operator = 1 x (1,5 x Rp. 7.142,86) + (2 x 1 x Rp. 7.142,86)
= Rp. 25.000,00

4) Pekerja = 2 x [(1,5 x Rp. 6.000,00) + (2 x 1 x Rp. 6.000,00)]
= 2 x Rp. 21.000,00 = Rp. 42.000,00

Total upah lembur 2 jam = Rp. 164.500,00

Total upah lembur 2 jam perhari

= total upah normal perhari + total upah lembur 2 jam

= Rp. 329.000,00 + Rp. 164.500,00 = Rp. 493.500,00

Total biaya upah lembur 2 jam

= Total upah lembur 2 jam/hari x durasi *crashing* 2 jam lembur

= Rp. 493.500,00 x 39 hari = Rp. 19.246.500,00

Untuk harga upah dengan penambahan jam lembur dan durasi percepatan lainnya bisa dilihat pada tabel 8 upah penambahan jam lembur 2 jam berikut :

Tabel 8. Upah Penambahan Jam Lembur 2 Jam

Kode	Durasi Normal	Durasi Setelah Penambahan 2 Jam Lembur	Upah Jam Normal (Rp)	Upah Penambahan 2 Jam Lembur (Rp)
1.1	140	-	-	-
1.2	140	-	11.760.000,00	11.760.000,00
2.1	14	-	2.268.000,00	2.268.000,00
2.2	21	-	7.959.000,00	7.959.000,00
2.3	14	-	2.268.000,00	2.268.000,00
2.4	28	-	4.536.000,00	4.536.000,00
2.5	14	-	2.856.000,00	2.856.000,00

Tabel 8. Upah Penambahan Jam Lembur 2 Jam (Lanjutan)

Kode	Durasi Normal	Durasi Setelah Penambahan 2 Jam Lembur	Upah Jam Normal (Rp)	Upah Penambahan 2 Jam Lembur (Rp)
2.6	14	-	2.268.000,00	2.268.000,00
2.7	7	-	1.134.000,00	1.134.000,00
2.8	7	-	1.134.000,00	1.134.000,00
3.1	49	39	16.121.000,00	19.246.500,00
3.2	49	39	9.996.000,00	11.934.000,00
4.1	56	45	18.424.000,00	22.207.500,00
4.2	56	45	18.424.000,00	22.207.500,00
4.3	63	51	26.334.000,00	31.977.000,00
5.1	70	56	27.580.000,00	33.096.000,00
5.2	70	56	27.580.000,00	33.096.000,00
5.3	84	67	71.064.000,00	85.023.000,00
5.4	84	68	106.008.000,00	128.724.000,00
5.5	63	51	34.524.000,00	41.922.000,00
5.6	112	90	46.816.000,00	56.430.000,00
6.1	35	-	9.765.000,00	9.765.000,00
6.2	56	-	30.688.000,00	30.688.000,00
6.3	63	-	14.301.000,00	14.301.000,00
6.4	21	-	6.531.000,00	6.531.000,00
Total Keseluruhan			500.339.000,00	583.331.500,00

Jadi pada tabel diatas didapat upah pada kegiatan jalur kritis ini meningkat karena adanya upah penambahan jam kerja lembur 2 jam, yaitu Rp. 583.331.500,00.

4.6. Penggunaan 2 Shift Kerja

Analisis percepatan durasi dengan menambah jumlah *shift* ini dimana terdapat dua *shift* yaitu *shift* pagi dan *shift* malam. Dengan adanya dua jam *shift* ini diharapkan produktivitas yang ada pada jalur kritis menjadi lebih besar sehingga pengerjaannya menjadi lebih cepat selesai. Adapun contoh salah satu perhitungan ada pada pekerjaan divisi 3.1 yaitu pekerjaan galian tanah untuk pelebaran, volume 817,50 m³, dengan durasi normal 49 hari.

$$a. \text{ Produktivitas shift pagi} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal}} = \frac{817,50}{49} = 16,68 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$b. \text{ Produktivitas shift malam} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal}} = \frac{817,50}{49} = 16,68 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$c. \text{ Produktivitas total/hari} = \text{Produktivitas shift pagi} + \text{Produktivitas shift malam} \\ = 16,68 \text{ m}^3/\text{hari} + 16,68 \text{ m}^3/\text{hari} = 33,36 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$d. \text{ Crash Duration} = \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas total total perhari}} = \frac{817,50 \text{ m}^3}{33,36 \text{ m}^3/\text{hari}} = 24,5 \approx 25 \text{ hari}$$

Hasil perhitungan *crash duration* untuk penggunaan 2 *shift* kerja pada pekerjaan lainnya bisa dilihat pada tabel 9 dibawah ini :

Tabel 9. Hasil Perhitungan *Crash Duration* Penggunaan 2 *Shift*

Kode	Nama Kegiatan	Volume	Durasi Normal (Hari)	Produktivitas Shift Harian		Total Produktivitas Perhari	Crash Duration (Hari)
				Pagi	Malam		
3.1	Galian tanah untuk pelebaran	817.5	49	16.68	16.68	33.37	25
3.2	Pembersihan semak-semak	4400	49	89.80	89.80	179.59	25
4.1	Lapisan pondasi agregat kelas A	324	56	5.79	5.79	11.57	28
4.2	Lapisan pondasi agregat kelas B	486	56	8.68	8.68	17.36	28
4.3	Timbunan bahu jalan (kelas agregat B)	658.5	63	10.45	10.45	20.90	32
5.1	Perbaikan lapisan pondasi agregat kelas A	712.95	70	10.19	10.19	20.37	35
5.2	Perbaikan lapisan pondasi agregat kelas B	346.5	70	4.95	4.95	9.90	35
5.3	Lapisan pondasi bawah beton kurus	1097.2	84	13.06	13.06	26.12	42
5.4	Perkerasan beton semen (K-400)	2200	84	26.19	26.19	52.38	42
5.5	Baja tulangan untuk perkerasan beton	42504	63	674.67	674.67	1,349.33	32
5.6	Acuan untuk perkerasan Beton	1340	112	11.96	11.96	23.93	56

4.7 Analisis Biaya Penggunaan 2 Shift Kerja

Untuk mempercepat waktu pengerjaan proyek pula bisa dengan menggunakan metode *shift* dimana perhari bisa 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 berikut dibawah ini merupakan salah satu contoh perhitungan upah penggunaan total *shift* dengan menggunakan waktu percepatan :

Pekerjaan galian tanah untuk pelebaran dengan durasi percepatan 25 hari. Jumlah tenaga kerja, masing-masing 1 orang untuk mandor, operator, pembantu operator dan 2 orang untuk pekerja.

Upah Tenaga kerja digunakan = jumlah tenaga kerja x harga satuan

Mandor = 1 × Rp. 120.000,00 = Rp. 120.000,00

Operator = 1 × Rp. 75.000,00 = Rp. 75.000,00

Pembantu operator = 1 × Rp. 50.000,00 = Rp. 50.000,00

Pekerja (2 orang) = 2 × Rp. 42.000,00 = Rp. 84.000,00

Total upah tenaga kerja 1 *shift* = Rp. 329.000,00

a. Total upah pekerja perhari = Upah *shift* pagi + Upah *shift* malam
= Rp. 329.000,00 + Rp. 329.000,00 = Rp. 658.000,00

b. Total upah tenaga kerja dengan durasi percepatan 25 hari adalah :
= Total upah pekerja perhari x Durasi percepatan
= Rp. 658.000,00 x 25 hari = Rp. 16.450.000,00

Untuk harga upah dengan penggunaan 2 *shift* pada setiap pekerjaan kritis lainnya bisa di lihat pada tabel 10 dibawah ini :

Tabel 10. Upah Penggunaan 2 *Shift* Kerja

Kode	Durasi Normal	Durasi setelah penggunaan 2 <i>Shift</i> Kerja	Upah Jam Normal (Rp)	Upah Penggunaan 2 <i>Shift</i> Kerja (Rp)
1.1	140	-	-	-
1.2	140	-	11.760.000,00	11.760.000,00
2.1	14	-	2.268.000,00	2.268.000,00
2.2	21	-	7.959.000,00	7.959.000,00
2.3	14	-	2.268.000,00	2.268.000,00
2.4	28	-	4.536.000,00	4.536.000,00
2.5	14	-	2.856.000,00	2.856.000,00
2.6	14	-	2.268.000,00	2.268.000,00
2.7	7	-	1.134.000,00	1.134.000,00
2.8	7	-	1.134.000,00	1.134.000,00
3.1	49	25	16.121.000,00	6.450.000,00
3.2	49	25	9.996.000,00	10.200.000,00
4.1	56	28	18.424.000,00	18.424.000,00
4.2	56	28	18.424.000,00	18.424.000,00
4.3	63	32	26.334.000,00	26.752.000,00
5.1	70	35	27.580.000,00	27.580.000,00
5.2	70	35	27.580.000,00	27.580.000,00
5.3	84	42	71.064.000,00	71.064.000,00
5.4	84	42	106.008.000,00	106.008.000,00
5.5	63	32	34.524.000,00	35.072.000,00
5.6	112	56	46.816.000,00	46.816.000,00
6.1	35	-	9.765.000,00	9.765.000,00
6.2	56	-	30.688.000,00	30.688.000,00
6.3	63	-	14.301.000,00	14.301.000,00
6.4	21	-	6.531.000,00	6.531.000,00
Total Keseluruhan			500.339.000,00	501.838.000,00

Jadi pada tabel diatas didapat upah pada kegiatan jalur kritis ini sedikit meningkat karena adanya perubahan penggunaan sistem 2 *shift* kerja.

4.7. Alternatif Yang Bisa Digunakan

Dari perhitungan sebelumnya terdapat perbedaan antara biaya upah total akibat penambahan jam lembur dengan biaya total akibat penggunaan 2 *shift* kerja bisa dilihat pada tabel 11 berikut :

Tabel 11. Alternatif yang Bisa Digunakan

Keterangan	Normal	Penambahan 1 Jam Lembur	Penambahan 2 Jam Lembur	Penggunaan 2 shift Kerja
Durasi (Hari)	140	127	117	105
Upah Pekerja Total (Rp)	500.339.000,00	529.530.285,71	583.331.500,00	501.838.000,00
Selisih (Rp)		29.191.285,71	82.992.500,00	1.499.000,00

Dari tabel 11. diatas dapat dilihat bahwa penambahan 1 jam kerja lembur bisa mempercepat waktu sampai 127 hari dengan penambahan biaya sebesar Rp. 29.191.285,71 dari biaya normal. Sedangkan penambahan jam kerja lembur 2 jam bisa mempercepat waktu hingga 117 hari dengan biaya yang lebih besar dari biaya normal, yaitu sebesar Rp. 82.992.500,00. Sedangkan apabila pekerjaan proyek ini menggunakan 2 *shift* pada pekerjaan yang menjadi jalur kritis hal tersebut bisa mempercepat waktu hingga 105 hari dengan biaya hanya sedikit lebih mahal dari biaya normal yaitu sebesar Rp. 1.499.000,00.

Dari analisa di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan 2 *shift* kerja lebih menguntungkan karena bisa mempercepat waktu hingga 105 hari dengan biaya upah yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan penambahan jam kerja (lembur) 1 dan 2 jam.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis diatas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Dari hasil analisis jalur kritis menggunakan program *Microsoft Project* didapat kegiatan yang termasuk kedalam jalur kritis adalah galian tanah untuk pelebaran, pembersihan semak-semak, lapisan pondasi *agregat* kelas A, lapisan pondasi *agregat* kelas B, timbunan bahu jalan (kelas *agregat* B), Perbaikan lapisan pondasi *agregat* kelas A, perbaikan lapisan pondasi *agregat* kelas B, lapisan pondasi bawah beton kurus, perkerasan beton semen (K-400), baja tulangan untuk perkerasan beton, dan acuan untuk perkerasan beton.
- Alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan penambahan jam kerja (lembur) atau dengan penggunaan 2 *shift* kerja. Hasil penambahan jam lembur 1 jam bisa mempercepat waktu hingga 127 hari dengan selisih biaya lebih besar, yaitu Rp. 29.191.285,71 dari biaya normal dan untuk penambahan 2 jam kerja lembur bisa mempercepat waktu hingga 117 dengan selisih upah yang lebih besar Rp. 82.992.500,00 dari biaya normal. Sedangkan penggunaan 2 *shift* kerja bisa mempercepat waktu pengerjaan proyek hingga 105 hari dengan selisih upah hanya Rp. 1.499.000,00 sedikit lebih besar dari upah normal.
- Hasil perhitungan waktu yang paling optimal dalam menyelesaikan proyek ialah dengan penggunaan 2 *shift* kerja dengan durasi 105 hari dengan biaya upah pekerja sebesar Rp. 501.838.000,00 hanya selisih Rp. 1.499.000,00 lebih besar dari biaya normal.

DAFTAR PUSTAKA

Araszkiwicz, K. 2017. *Application of Critical Chain Management in Construction Projects Schedules in a Multi-Project Environment: A Case Study*. *Procedia Engineering*, 182, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.108>

Santosa, Budi. 2009. *Manajemen Proyek Konsep & Implementasi*. Yogyakarta : Graha Ilmu.

Kazaz, A., Ulubeyli, S., Er, B., dan Acikara, T. 2016. *Construction Materials-Based*

Methodology for Time-Cost-quality Trade-off Problems. Procedia Engineering, 164(June), 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.589>

Klevanskiy, N. N., Tkachev, S. I., dan Voloshchouk, L. A. 2019. *Multi-Project Scheduling: Multicriteria Time-Cost Trade-Off Problem*. Procedia Computer Science, 150, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.02.048>

Olivia, Priska dan Puspasari, V. H. 2019. *Analisa Percepatan Waktu Proyek Menggunakan Metode Crashing (Studi Kasus : Peningkatan Jalan Pelantaran – Parenggean – Tumbang Sangai)*. 3(1), 41–52.

Priyo, M., dan Sumanto, A. 2016. *Analisis Percepatan Waktu dan Biaya Proyek Konstruksi dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Menggunakan Metode Time Cost Trade Off: Studi Kasus Proyek Pembangunan Prasarana*. Semesta Teknika, 19(1), 1–15.

Putra, Y., dan Hartati, S. 2017. *Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode Least Cost Analysis pada Proyek Peningkatan Jalan Lingkar Kota Dumai*. 17(April), 100–112.

Soeharto, Ir. Iman. 1999. *Manajemen Proyek dari Konseptual sampai Operasional*. Jakarta : Erlangga.

Tegar, M., Aji, J., Sari, S. N., Studi, P., dan Sipil, T. 2020. *Analisis Biaya Percepatan dengan Metode Time Cost Trade Off di Pasar*. 01(01), 63–72.

Widiasanti, Irika Ir. M.T, dan Lenggogeni, M. T. 2013. *Manajemen Konstruksi*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.