

Studi Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode *Time Cost Trade Off* pada Pekerjaan Penambahan Lajur Ruas Kopo – Buah Batu Jalur B pada Jalan Tol Padalarang – Cileunyi

Cost and Time Optimization using Duration Cost Trade Off Method on Work Addition Section Lane Kopo – Buah Batu Track B on Highway Road Padalarang – Cileunyi

Hayya Syah Alam, Mandiyo Priyo

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Suatu proyek dikatakan berhasil jika memenuhi ketepatan waktu dan biaya yang telah dianggarkan. Dengan waktu yang cepat dan biaya yang minimal tanpa mengurangi mutu dari pekerjaannya dapat menghindarkan proyek dari kegagalan dan denda akibat keterlambatan proyek. Metode *time cost trade off* adalah suatu metode untuk melakukan percepatan pada proyek dengan menambahkan beberapa variasi seperti penambahan jam kerja dan alat berat serta menambahkan unsur tenaga kerja. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa antara percepatan waktu dan biaya pada Pekerjaan Penambahan Lajur Ruas Kopo – Buah Batu Jalur B pada Jalan Tol Padalarang – Cileunyi dengan menggunakan program *Microsoft Project* 2019, serta membandingkan hasil antara perubahan biaya setelah penambahan jam kerja dan alat berat dengan biaya denda. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan jam kerja lembur selama 1 jam didapat durasi 309,64 hari dengan biaya Rp. 86.946.677.481,54, penambahan jam kerja lembur selama 2 jam didapat durasi 241,42 hari dengan biaya Rp. 86.138.733.058,58, penambahan jam kerja lembur selama 3 jam didapat durasi 202,08 hari dengan biaya Rp.86.123.588.025,02. sementara untuk penambahan alat berat dengan durasi setara dalam waktu lembur 1 jam didapat durasi 309,64 hari dengan biaya Rp. 86.739.920.622,76, penambahan alat berat dengan durasi setara dalam waktu lembur 2 jam didapat durasi 241,42 hari dengan biaya Rp.85.738.758.231,67, penambahan alat berat dengan durasi setara dalam waktu lembur 3 jam didapat durasi 202,08 hari dengan biaya Rp. 85.161.383.401,72. Maka didapat penambahan jam lembur dan alat berat yang paling efektif adalah penambahan alat akibat durasi dengan waktu lembur selama 202,08 hari dengan biaya Rp. 85.161.383.401,72.

Kata kunci: *microsoft project* 2019, penambahan alat, penambahan jam lembur, *time cost trade off*

Abstract. A project that called successful were made by on time schedule and appropriate cost. by made it haste and compressing the cost of project without decreasing the quality of works, that will guide us to avoid project failure or get fined because of works delayed. The purpose of this research is to analyzing both of time crashing and budget cost in the project of “Penambahan Lajur Ruas Kopo – Buah Batu Jalur B pada Jalan Tol Padalarang – Cileunyi” by using *microsoft project* 2019. The result showed that time and cost acquired after increasing overtime of worker in 1hour lead to decreasing of duration at 309,64 days with Rp. 86.946.677.481,54, after that increasing overtime in 2hour lead to decreasing of duration at 241,42 days with Rp. 86.138.733.058,58, and then increasing overtime in 3hour lead to decreasing of duration at 202,08 days with Rp.86.123.588.025,02. In the addition of heavy equipment and increasing overtime in 1hour lead to decreasing of duration at 309,64 days with Rp. 86.739.920.622,76, after that increasing overtime in 2 hour lead to decreasing of duration 241,42 days with Rp.85.738.758.231,67, and then increasing overtime in 3 hour lead to decreasing of duration at 202,08 days with Rp.85.161.383.401,72. The result of this research acquired that increasing the number and overtime of heavy equipment is more efective for project crashing in 202,08 days and the cost consumption will be at Rp.85.161.383.401,72.

Key words: *microsoft project* 2019, overtime, the addition of heavy equipment, *time cost trade off*

1. Pendahuluan

Dalam sebuah pelaksanaan proyek konstruksi dapat memiliki masalah pada perencanaannya baik dalam pengaturan sumber daya seperti waktu, biaya, alat dan tenaga kerja sampai proyek berlangsung. Jika hal tersebut tidak cepat diatasi dengan baik maka akan banyak permasalahan muncul seperti keterlambatan dalam penyelesaian proyek, pembengkakan biaya dan penurunan mutu pekerjaan sehingga dapat merugikan dalam pelaksanaan proyek. Keberhasilan dan kegagalan suatu proyek dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu waktu dan biaya. Kesuksesan sebuah proyek dilihat dari durasi dalam penyelesaian proyek yang singkat dengan biaya yang seminimal mungkin tanpa meninggalkan kualitas dari pekerjaan.

Pengelolaan proyek yang terstruktur untuk memastikan waktu pelaksanaan proyek dapat selesai tepat waktu bahkan bisa lebih cepat sehingga biaya yang dikeluarkan lebih sedikit. Berhasilnya suatu proyek dapat menghindarkan dari biaya denda akibat keterlambatan dalam menyelesaikan proyek. Dalam merencanakan suatu proyek konstruksi, waktu dan biaya yang efisien sangat penting direncanakan. Hal itu bisa memberikan keuntungan bagi kontraktor yang bersangkutan, untuk bisa mendapatkan hal itu yang harus dilakukan dalam optimasi waktu dan biaya adalah dengan membuat jaringan kerja proyek (*network*), mengetahui pekerjaan yang berada dalam lintasan kritis, dan menghitung durasi proyek serta mengetahui jumlah sumber daya yang ada (*resources*).

Penelitian ini membahas analisis waktu dan biaya yang dipercepat pada Pekerjaan Penambahan Lajur Ruas Kopo – Buah Batu Jalur B pada Jalan Tol Padalarang – Cileunyi menggunakan metode *Time Cost Trade Off (TCTO)* dengan penambahan jam kerja (lembur) dan alat berat dalam durasi yang sama yaitu 1 jam lembur, 2 jam lembur, 3 jam lembur dan penambahan jumlah pekerja serta jumlah biaya setelah ditambahkan jam kerja lembur. Serta membandingkan jumlah biaya sebelum adanya jam kerja lembur dan sesudah penambahan jam kerja lembur juga penambahan tenaga kerja dengan menggunakan program *Microsoft Project 2019*.

2. Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

Dalam proses penjadwalan proyek, hal yang perlu diperhitungkan adalah dengan membuat hubungan antara waktu dan biaya untuk setiap aktivitas pada proyek. Kondisi pekerjaan yang berada dalam lintasan kritis membutuhkan percepatan waktu dalam pelaksanaannya. Dengan itu maka waktu bersifat minimum dengan biaya yang dikeluarkan maksimum, hal tersebut disebut dengan *Crash Program* (Arvianto dkk., 2015).

Nugraha (2016) hasil penelitian pada Proyek Perencanaan Jalan Bingin Teluk, Kabupaten Musi Rawas didapatkan waktu dan biaya total proyek pada kondisi normal sebesar 191 hari dengan biaya Rp. 26.715.308.004,00. Dengan penambahan 1 jam lembur durasi crashing 170 hari dengan biaya sebesar Rp. 26.357.254.135. Penambahan 2 jam lembur didapatkan durasi crashing 168 hari dengan biaya sebesar Rp. 26.355.030.245. untuk penambahan 3 jam lembur didapatkan durasi crashing 167 hari dengan biaya Rp. 26,376,355.390.

Imantoro (2016) hasil penelitian pada Pekerjaan Peningkatan Jalan Semin – Buluh, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) Tahun Anggaran 2015 yaitu waktu dan biaya total proyek pada kondisi normal sebesar 147 hari dengan biaya Rp. 19.799.720.908. penambahan 1 jam lembur didapatkan durasi optimal crashing 134 hari dengan biaya sebesar Rp. 19.683.146.711. penambahan 2 jam lembur didapatkan durasi optimal crashing 129 hari dengan biaya sebesar Rp. 19.646.191.411. penambahan 3 jam lembur didapatkan durasi optimal crashing 125 hari dengan biaya Rp.19.631.152.016.

Ardika dkk. (2014) pada proyek pembangunan Jalan Tol Bogor *Ring Road* Seksi II A pada minggu ke-24 mendapatkan kesimpulan untuk waktu normal 510 hari dengan penyelesaian proyek sebesar 562,34 hari, dan keterlambatan selama 52,34 biaya total proyek sebesar Rp.350.147.243.076,54. Kemudian setelah ditambah 4 jam kerja perhari mendapatkan pengurangan durasi sebesar 5 minggu atau setara dengan 476 hari dengan biaya total yang diperoleh menjadi Rp.311.854.684.527,07. Biaya langsung mengalami kenaikan menjadi Rp.306.081.386,18 dan variable cost

mengalami penurunan menjadi Rp.5.765.475.140,89.

Wibowo (2016) meneliti tentang Analisa percepatan pelaksanaan proyek dengan menambah jam kerja lembur dan tenaga kerja pada Proyek Peningkatan Jalan Siluk – Kretek Bagian I, hasil penelitian memberikan kesimpulan waktu dan biaya proyek pada kondisi normal sebesar 115 hari dengan biaya Rp. 6.071.194.804. penambahan 1 jam lembur didapat durasi proyek sebesar 104,98 hari kerja dengan total biaya sebesar Rp. 6.054.159.015,28. Penambahan 2 jam lembur didapat durasi proyek sebesar 101,24 hari kerja dengan total biaya proyek sebesar Rp. 6.045.515.615,74. Penambahan 3 jam lembur didapat durasi proyek sebesar 97,92 hari kerja dengan total biaya proyek sebesar Rp. 6.041.418.149,56.

Walean dkk. (2012) melakukan penelitian untuk merencanakan penjadwalan proyek menggunakan *software Microsoft Project* 2010 dan dilakukan *crashing* dengan hasil durasi yang diperoleh 66 hari kerja untuk menyelesaikan proyek dengan durasi awal 87 hari kerja.

Anggraeni dkk. (2017) melakukan penelitian dengan menggunakan metode *crashing* untuk mengetahui perbedaan biaya. Setelah melakukan proses *crashing* dengan penambahan tenaga kerja pada proyek memperoleh durasi selama 404 hari dan biaya proyek sebesar Rp 89.919.089.225,00. Selain penambahan tenaga kerja, dilakukan perbandingan dengan alternatif shift kerja diperoleh durasi selama 404 hari dan biaya proyek sebesar Rp 89.905.927.558,34. Setelah perhitungan maka diperoleh pada kedua alternatif efisiensi waktu 7,76 % atau 34 hari. Dan efisiensi pada biaya 0,77% atau Rp 701.809.654,74 pada alternatif penambahan tenaga kerja dan pada alternatif shift kerja efisiensi biaya 0,79 % atau Rp 714.971.321,41.

Priyo dan Aulia (2015) melakukan penelitian optimalisasi waktu proyek dan biaya proyek pada pelaksanaan dengan metode penambahan jam kerja (lembur) dan metode penambahan tenaga kerja. Dari penelitian didapatkan hasil yang terbaik dengan penambahan jam kerja (lembur) menghasilkan efisiensi waktu dan biaya dengan efisiensi waktu proyek sebanyak 24 hari sebesar 9,02%

dan efisiensi biaya proyek sebesar Rp. 43.019.556,39 (0,41%). Biaya mempercepat durasi proyek dengan penambahan jam lembur atau tenaga kerja lebih murah dibanding mengalami keterlambatan.

Wowor dkk. (2013) melakukan penelitian dengan menggunakan program *Microsoft Project* 2007 pada tahap perencanaan menunjukan percepatan durasi didapatkan durasi awal selama 33 hari menjadi 27 hari. Didapatkan pada tahap pengendalian pada item pekerjaan pengecatan dilakukan *crashing* dengan penambahan 3 jam kerja lembur sehingga didapatkan durasi 6 hari lebih cepat dari durasi awal 21 hari menjadi 15 hari.

Izzah (2017), pada proyek Pembangunan Perumahan menggunakan metode *duration cost trade off* mendapatkan kesimpulan pembangunan dengan durasi normal 555 hari dapat diselesaikan lebih cepat yaitu 547 hari dengan peluang 64,8%. Efisiensi waktu untuk mengerjakan proyek adalah 5,76% dengan selisih percepatan 32 hari. Biaya total normal dari 555 hari sebesar Rp.6.763.839.127. sedangkan dengan percepatan 523 hari biaya didapat sebesar Rp.6.753.245.793,00. Efisiensi biaya dalam pengerjaannya adalah 0,156% dan selisih biaya normal dengan percepatan sebesar Rp.10.559.334,00.

Rahayu (2017) pada pekerjaan proyek pembangunan Hotel Tosan Solo Baru menarik kesimpulan kesimpulan untuk waktu optimum yang diperoleh dari analisis adalah waktu yang paling optimum yang diperoleh dari analisis adalah dari waktu dan biaya total proyek normal sebesar 135 hari dengan total biaya Rp.6.133.992.961,82. Setelah melakukan perhitungan penambahan jam kerja (lembur) 1 sampai 3 jam dan penambahan tenaga kerja didapatkan biaya paling murah adalah dengan menambah 3 jam kerja (lembur) dengan durasi proyek yang didapatkan 94,66 hari dengan biaya Rp.5.836.832.839,52.

Novia Tanjung (2013) pada proyek Pekerjaan Struktur Hotel Lorin Triple Moderate Solo mendapatkan kesimpulan proyek dapat diselesaikan dari total durasi proyek normal 84 hari menjadi 66 hari kerja dengan biaya normal struktur Rp.12.765.950.430,11 setelah dilakukan analisis dengan penambahan jam kerja (lembur) menjadi Rp.13.488.216,991,

dengan pengurangan 21 hari kerja dan penambahan biaya sebesar Rp.722.266.561.

Wohon dkk. (2015) menganalisa tentang pengaruh dari percepatan durasi proyek pada biaya menggunakan *software Microsoft project* 2013. Waktu percepatan yang diperoleh sebesar 22 hari dengan hasil durasi maksimum setelah *crashing* 233 hari dengan biaya total proyek menjadi Rp.3.857.112.297 dari biaya awal sebesar Rp.3.843.913.131 dari hubungan antara durasi dan biaya yang paling efisien terjadi pada durasi 249 hari dengan biaya total proyek sebesar 3.845.740.631. Semakin dipercepatnya durasi mengakibatkan biaya tidak langsung berkurang dan mengakibatkan biaya langsung makin bertambah.

Putra dkk. (2014) melakukan penelitian dengan metode *crashing* untuk membandingkan durasi dan biaya proyek sebelum dan sesudah *crash program*. Dari hasil penelitiannya didapatkan durasi optimum proyek yaitu selama 259 hari dengan pengurangan $\pm 29\%$ dari durasi awal proyek dan perubahan pada biaya proyek terhadap biaya total pada proyek sebesar $\pm 0,64\%$.

Frederika (2010) melakukan penelitian yang sama pada pembangunan Super Villa, Peti Tenget - Badung diperoleh kesimpulan untuk waktu optimum dari analisis adalah 270 hari dengan biaya total Rp.2.885.582.622,65 dibandingkan dengan durasi normal 284 hari dengan biaya Rp.2.886.283.000,00 dengan kata lain proyek tersebut memperoleh hasil paling efektif untuk menambah jam kerja lembur yang menghasilkan percepatan 14 hari dengan selisih biaya Rp.700.377,35.

Manajemen Konstruksi

Istilah manajemen konstruksi diartikan sebagai merencanakan, mengorganisir, memimpin dan mengendalikan sumber daya dengan cara menggunakan sistem dan arus kegiatan perusahaan untuk mempersingkat waktu yang telah ditentukan (Soeharto, 1999).

Menurut Soeharto (1999), manajemen proyek memiliki beberapa tujuan yaitu sebagai berikut:

1. Pelaksanaan yang sesuai dengan apa yang sudah di tetapkan atau tepat waktu,

2. Efisiensi sumber dana sesuai dengan apa yang telah direncanakan, sehingga tidak ada tambahan dana yang harus dikeluarkan,
3. Kesesuaian kualitas dengan persyaratan yang berlaku,
4. Tahapan kegiatan yang sesuai dengan persyaratan.

Network Planning

Network planning adalah gambaran kejadian-kejadian dan kegiatan yang diharapkan akan terjadi dan dibuat secara kronologis serta logis dan berhubungan antara kejadian dan kegiatan dengan yang lainnya. Dengan adanya *network*, manajemen dapat menyusun perencanaan penyelesaian proyek dengan waktu dan biaya yang paling efisien.

Untuk melaksanakan percepatan penyelesaian waktu proyek terdapat beberapa macam cara yang dapat digunakan (Priyo dan Sudiro, 2017). Antara lain:

- a. Penambahan jumlah jam kerja (lembur)
- b. Penambahan tenaga kerja
- c. Pergantian atau penambahan peralatan
- d. Pemilihan sumber daya manusia yang berkualitas
- e. Penggunaan metode konstruksi yang efektif

Hubungan keterkaitan antar kegiatan dalam proyek yang digambarkan dalam bentuk jaringan. Melalui jaringan tersebut kita dapat memperoleh informasi mengenai kegiatan yang harus didahulukan dan sebagai dasar untuk memulai pekerjaan selanjutnya disebut dengan *Network Planning* (jaringan kerja) (Badri, 1997).

Biaya Total Proyek

Biaya proyek konstruksi di bagi menjadi dua macam yaitu biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tak langsung (*indirect cost*):

1. Biaya langsung adalah biaya yang diperlukan langsung untuk mendapatkan sumberdaya yang akan digunakan untuk menyelesaikan suatu proyek. Berhubungan langsung dengan pekerjaan konstruksi dilapangan, yang meliputi :
 - a. Biaya bahan atau material
 - b. Upah pekerja dan lain-lain
 - c. Biaya alat

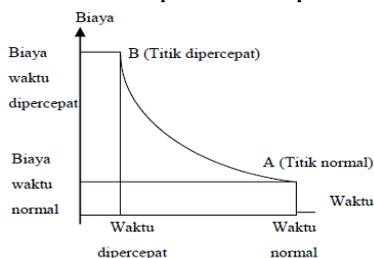
2. Biaya tidak langsung adalah segala sesuatu yang bukan merupakan komponen hasil akhir proyek, tetapi dibutuhkan dalam rangka proses pembangunan yang biasanya terjadi di luar proyek dan sering disebut dengan biaya tetap (*Fixed cost*). Walaupun sifatnya tetap, tetapi harus dilakukan pengendalian agar tidak melewati anggarannya, meliputi :

- Gaji staf/pegawai tetap tim manajemen
- Biaya konsultan (perencana dan pengawas)
- Fasilitas sementara di lokasi proyek
- Peralatan konstruksi
- Pajak, pungutan, asuransi dan perizinan
- Overhead
- Biaya tak terduga
- Laba

Jadi biaya total proyek adalah biaya langsung ditambah dengan biaya tidak langsung sesuai dengan waktu dan kemajuan proyek.

Hubungan Antara Biaya dan Waktu

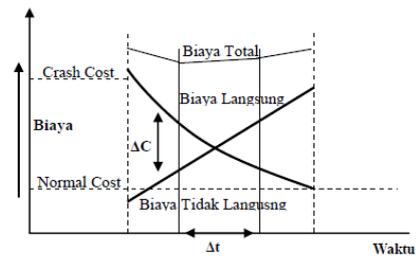
Biaya total proyek merupakan penjumlahan dari biaya langsung dan biaya tidak langsung dan sangat bergantung dari waktu penyelesaian proyek. Hubungan antara biaya dan waktu dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 1 Hubungan waktu – biaya normal dan dipercepat untuk suatu kegiatan (Soeharto, 1997)

Garis yang menghubungkan antara titik A dan titik B adalah kurva waktu dan biaya dengan titik A adalah titik normal dan B adalah titik yang dipercepat. Grafik diatas menunjukkan semakin tinggi waktu lembur maka proyek

akan selesai lebih cepat tetapi biaya yang dikeluarkan semakin besar.



Gambar 2 Grafik Hubungan waktu dengan biaya total, biaya langsung dan biaya tak langsung (Soeharto, 1997)

Program Microsoft Project

Software Microsoft Project digunakan untuk mengatur administrasi pada proyek agar lebih mudah. Aplikasi pengolah data administrasi yang digunakan untuk melakukan suatu perencanaan, pengelolaan, pengawasan, dan pelaporan dari suatu proyek. *Software Microsoft Project* mempunyai keunggulan serta keuntungan dalam memakai program ini.

Keunggulan program *Microsoft Project* adalah mempermudah menangani perencanaan suatu kegiatan, pengorganisasian, dan pengendalian waktu serta biaya yang mengubah input data menjadi sebuah output data sesuai tujuannya.

Keuntungan program *Microsoft Project* adalah melakukan penjadwalan produksi secara efektif dan efisien. Mudah untuk melakukan modifikasi dan penyusunan jadwal produksi yang tepat.

Metode Penyesuaian Durasi dan Biaya (Duration Cost Trade Off)

Waktu dan biaya mempunyai peranan yang sangat penting dalam suatu proyek. Biaya merupakan aspek penting dalam manajemen, dimana biaya dikendalikan seminimal mungkin. Biaya dan waktu berhubungan erat untuk menyelesaikan proyek. Di dalam proyek masalah yang sering di hadapi adalah bagaimana cara agar waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian proyek cepat dengan biaya yang minimum. Analisis mengenai penyesuaian waktu dan biaya disebut dengan *Duration Cost Trade Off* (Penyesuaian Durasi dan Biaya) dengan berubahnya waktu penyelesaian proyek maka berubah pula biaya

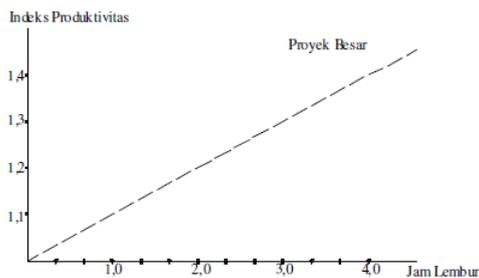
yang akan dikeluarkan. Jika waktu pelaksanaan proyek dipercepat maka biaya langsung proyek akan bertambah dan biaya tidak langsung proyek akan berkurang.

Produktivitas Pekerja

Produktivitas didefinisikan sebagai rasio antara hasil produksi dengan total sumber daya yang digunakan (*output* dan *input*). Didalam proyek konstruksi rasio dari produktivitas adalah nilai yang diukur selama proses konstruksi yang dapat dipisahkan menjadi biaya tenaga kerja, biaya material, metode, dan alat. Kesuksesan dari suatu proyek konstruksi salah satunya tergantung pada efektifitas pengelolaan sumber daya dan pengelolaan pekerja. Upah yang diberikan tergantung pada kecakapan pekerja karena setiap pekerja memiliki karakter masing-masing yang berbeda satu sama lainnya.

Pelaksanaan Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Untuk penambahan jam kerja (lembur) bisa dilakukan dengan penambahan 1 jam, 2 jam, dan 3 jam, sesuai dengan waktu penambahan yang diinginkan. Penambahan jam kerja (lembur) menimbulkan penurunan produktivitas, indikasi dari penurunan produktivitas pekerja dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 3 Grafik indikasi penurunan produktivitas akibat penambahan jam kerja (Soeharto, 1997)

Dari uraian di atas dapat ditulis sebagai berikut:

1. Produktivitas harian

2. Produktivitas tiap jam

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi normal}}$$

$$= \frac{\text{Produktivitas harian}}{\text{Jam kerja perhari}}$$

3. Produktivitas harian sesudah *crash*

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

Dengan :

a = lama penambahan jam lembur

b = koefisien penurunan produktivitas akibat penambahan jam lembur.

Nilai koefisien penurunan produktivitas dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 1 Koefisien Penurunan Produktivitas

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

Sumber: Soeharto (1997)

4. *Crash Duration*

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas harian sesudah crash}}$$

Pelaksanaan Penambahan Tenaga Kerja

Perhitungan untuk penambahan tenaga kerja dirumuskan sebagai berikut:

1. Jumlah tenaga kerja normal

$$= \frac{\text{koefisien tenaga kerja} \times \text{volume}}{\text{durasi normal}}$$

2. Jumlah tenaga kerja dipercepat

$$= \frac{\text{koefisien tenaga kerja} \times \text{volume}}{\text{durasi dipercepat}}$$

Dari rumus diatas maka akan diketahui jumlah pekerja normal dan jumlah penambahan tenaga kerja akibat percepatan durasi proyek.

Biaya Tambahan Pekerja (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 dan pada penambahan jam kerja berikutnya maka pekerja akan mendapatkan 2 kali upah perjam waktu normal.

Perhitungan untuk biaya tambahan pekerja akibat lembur dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

1. Normal ongkos pekerja perhari

- = Produktivitas harian \times Harga satuan upah pekerja
2. Normal ongkos pekerja perjam
= Produktivitas perjam \times Harga satuan upah pekerja
 3. Biaya lembur pekerja
= $1,5 \times$ upah perjam normal untuk penambahan jam kerja (lembur) pertama + $(2 \times n \times$ upah perjam normal untuk penambahan jam kerja (lembur)
Dengan: n = jumlah penambahan jam kerja (lembur)
 4. *Crash cost* pekerja perhari
= (Jam kerja perhari \times Normal cost pekerja) + $(n \times$ Biaya lembur perjam)
 5. *Cost slope*
= $\frac{\text{biaya percepatan} - \text{biaya normal}}{\text{durasi normal} - \text{durasi crash}}$
- Perhitungan untuk biaya tambahan akibat penambahan tenaga kerja dapat dirumuskan sebagai berikut:
1. Normal ongkos pekerja per hari sesuai dengan harga satuan setiap daerah.
 2. Biaya penambahan pekerja
= Jumlah pekerja \times upah normal pekerja per hari
 3. *Crash cost* pekerja
= (Biaya total pekerja yang dipercepat – Biaya total pekerja Normal)
 4. *Cost slope*
= $\frac{\text{biaya percepatan} - \text{biaya normal}}{\text{durasi normal} - \text{durasi crash}}$

Biaya Denda

Berdasarkan Perpres Nomor 70 Tahun 2012 Pasal 120 menyatakan bahwa “Selain perbuatan atau tindakan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 118 ayat (1), Penyedia Barang/Jasa yang terlambat menyelesaikan pekerjaan dalam jangka waktu sebagaimana ditetapkan dalam kontrak karena kesalahan penyedia barang/jasa, dikenakan denda keterlambatan sebesar 1/1000 (satu perseribu) dari nilai kontrak atau nilai bagian kontrak untuk setiap hari keterlambatan”. Keterlambatan penyelesaian proyek akan menyebabkan kontraktor terkena sanksi berupa denda yang telah disepakati dalam dokumen kontrak. Besarnya biaya denda umumnya dihitung sebagai berikut:

Total denda = total waktu akibat keterlambatan \times denda per hari akibat keterlambatan

Dengan : Denda perhari akibat keterlambatan sebesar 1 permil dari nilai kontrak.

Critical Path Methode (CPM)

CPM (*Critical Path Method*) adalah suatu metode dengan menggunakan *arrow diagram* dalam menentukan lintasan kritis sehingga disebut sebagai diagram lintasan kritis (Priyo dan Aulia, 2015). Tujuan lintasan kritis adalah untuk mengetahui secara cepat kegiatan-kegiatan yang tingkat kepekaannya tinggi terhadap keterlambatan pelaksanaan sehingga setiap saat dapat ditentukan tingkat prioritas kebijaksanaan penyelenggara proyek apabila kegiatan tersebut terlambat. Dalam mengidentifikasi jalur kritis dipakai suatu cara yang disebut hitungan maju. Perhitungan maju digunakan untuk menghitung EET (*Earliest Even Time*). EET adalah peristiwa paling awal atau waktu yang cepat dari event. (Soeharto, 1995)

3. Metode Penelitian

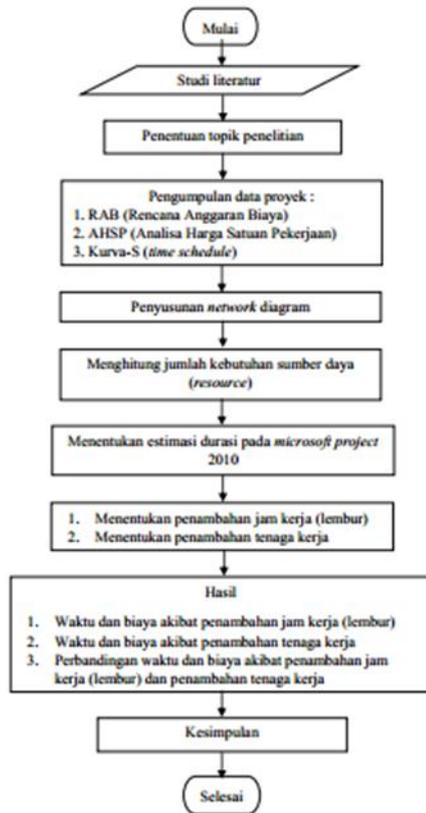
Lokasi Penelitian

Penelitian yang dilakukan yaitu pada pekerjaan Penambahan Lajur Ruas Kopo – Buah Batu Jalur B pada Jalan Tol Padalarang - Cileunyi. Lokasi proyek berada di daerah Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat.

Tahapan Penelitian

Tahap penelitian yang harus dilakukan secara sistematis dengan urutan yang sesuai, jelas dan berurutan, sehingga akan mendapatkan hasil yang sesuai dengan apa yang diharapkan. Tahapan ini akan disajikan secara skematis dalam bentuk diagram alir yang

dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 4 Bagan alir penelitian

Tahap Persiapan

Sebelum melakukan penelitian, penulis perlu melakukan studi literatur untuk memperdalam ilmu yang berkaitan dengan topik penelitian. Kemudian menentukan rumusan masalah sampai dengan kompilasi data.

Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dan informasi dari suatu proyek sangat bermanfaat untuk evaluasi optimasi waktu dan biaya secara menyeluruh. Data yang diperlukan dalam tahap ini adalah data sekunder yaitu data yang diperoleh dari proyek Penambahan Lajur Ruas Kopo – Buah Batu Jalur B pada Jalan Tol Padalarang - Cileunyi. Variabel yang sangat mempengaruhi dalam pengoptimasian waktu dan biaya pada proyek ini adalah variabel waktu dan variabel biaya.

1. Variabel waktu

Data-data yang diperlukan pada variabel waktu :

1.1 Data *Commulative Progress* (Kurva-S), meliputi :

- i. Jenis Kegiatan
- ii. Presentase Kegiatan
- iii. Durasi Kegiatan

1.2 Rekapitulasi perhitungan biaya proyek

2. Variabel biaya

Data-data yang diperlukan pada variabel biaya antara lain :

2.1 Daftar Rencana Anggaran Biaya (RAB), meliputi :

- a) Jumlah biaya normal
- b) Durasi normal
- c) Daftar-daftar harga bahan dan upah tenaga kerja
- d) Gambar rencana proyek

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Data Penelitian

Gambaran umum Pekerjaan Penambahan Lajur Ruas Kopo – Buah Batu Jalur B pada Jalan Tol Padalarang - Cileunyi, dengan rincian sebagai berikut :

Kontraktor Utama : PT PP Construction & Investment
 Konsultan Pelaksana : PT. Multi Phi Beta
 Nilai Proyek : Rp 84.801.385.478,08
 Waktu pelaksanaan : 336 Hari kerja
 Tanggal pekerjaan dimulai: 7 Desember 2015

Daftar Kegiatan Kritis

Daftar kegiatan – kegiatan kritis pada kondisi normal dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 2 Daftar kegiatan kritis pada kondisi normal

Kode	Task Name	Duration
PP1A	Pembongkaran Perkerasan Jalan Aspal	101.64
NSS	Normalisasi Sahran samping	54.98
PSKTL2M	Penggalan Struktur Kedalaman Tidak Lebih 2 meter	82.49
PSKL24	Penggalan Struktur Kedalaman Lebih 2 meter dan Kurang 4 meter	75.53
PGGBB60	Pipa Gorong-gorong Beton Bertulang, Ø 60 cm, Tipe B	24.81
PGGBB100	Pipa Gorong-gorong Beton Bertulang, Ø 100 cm, Tipe B	104.41
STDS	Sahran, Tipe DS - 1B (Sahran Tanah)	111.81
PBM	Pasangan Batu Mortar	41.79
PTD	Persiapan Tanah Dasar	153.36
LPAKA	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	167.07
PB29	Perkerasan Beton (t = 29 cm)	146.73
BKB11	Beton Kelas B - 1 - 1 (Reinforced Concrete Deck Slab)	62.21
BKB12	Beton Kelas B - 1 - 2 (Diaphragma I-Girder Bridges)	69.21
BKB13	Beton Kelas B - 1 - 3 (Concrete Parapet)	31.01
BKB41	Beton Kelas B - 4 - 1 (Reinforced Concrete Portal Pier head)	83.05
BKB42	Beton Kelas B - 4 - 2 (Reinforced Concrete Columns Pier & Wall Pier)	104.95
PCUG1020	PC U Girder bentang 10,20 m (kopo 4)	12.41
PCUG1067	PC U Girder bentang 10,67 m (tubat 2)	12.41
PCUGB1496	PC U Girder bentang 14,96 m (m toba 4)	12.41
GUT	Galian Untuk Timbunan	83.20
TTB	Timbunan Tanah Berbutir (CBR>15%)	97.18

Analisis Biaya Lembur

Analisis biaya lembur dihitung guna untuk mencari besarnya upah biaya lembur dari tenaga kerja dan alat berat yang berguna untuk mengetahui biaya total dari suatu kegiatan yang akan dilembur. Berikut contoh analisis perhitungan lembur dari tenaga kerja dan alat berat sebagai berikut :

a. Alat Berat

Untuk *Resource Name* :
Excavator

Biaya normal alat per jam :
Rp 293.346,61

Biaya Operator :
Rp 19.316,00

Biaya Pemb. Operator :
Rp 13.143,00

Keterangan :

bo = Biaya operator (Rp / jam)

bpo = Biaya pembantu operator (Rp / jam)

bn = Biaya normal alat (Rp / jam)

Biaya lembur per jam:

Lembur 1 Jam (L1)

$$\begin{aligned} &= bn + 0,5 \times (bo + bpo) \\ &= 293.346,61 + 0,5 \times (19.316,00 + 13.143,00) \\ &= 293.346,61 + 16.229,5 \\ &= \text{Rp } 309.576,11 \end{aligned}$$

Lembur 1 Jam

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{309.576,11}{1} \right) \\ &= \text{Rp. } 309.576,11 \end{aligned}$$

Lembur 2 Jam (L2)

$$\begin{aligned} &= \mathbf{L1} + bn + 1,0 \times (bo + bpo) \\ &= 309.576,11 + 293.346,61 + 1 \times (19.316,00 + 13.143,00) \\ &= \text{Rp } 635.381,72 \end{aligned}$$

Lembur 2 Jam

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{635.381,72}{2} \right) \\ &= \text{Rp. } 317.690,86 \end{aligned}$$

Lembur 3 Jam (L3)

$$\begin{aligned} &= \mathbf{L2} + bn + 1,0 \times (bo + bpo) \\ &= 635.381,72 + 293.346,61 + 1 \times (19.316,00 + 13.143,00) \\ &= \text{Rp } 961.187,33 \end{aligned}$$

Lembur 3 Jam

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{961.187,33}{3} \right) \\ &= \text{Rp. } 320.395,78 \end{aligned}$$

b. Tenaga Kerja

Untuk *Resource Name*: Pekerja

Biaya normal pekerja per jam (bn):

Rp 11.429,00

Biaya lembur per jam

$$\begin{aligned} \text{Lembur 1 Jam (L1)} &= 1,0 \times bn \\ &= 1,5 \times 11.429,00 \\ &= \text{Rp } 17.143,50 \end{aligned}$$

Lembur 1 Jam

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{17.143,50}{1} \right) \\ &= \text{Rp. } 17.143,50 \end{aligned}$$

Lembur 2 Jam (L2)

$$\begin{aligned} &= \mathbf{L1} + 2,0 \times bn \\ &= (1,5 \times 11.429,00) + (2 \times 1 \times 11.429,00) \\ &= \text{Rp } 40.001,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lembur 2 Jam} &= \left(\frac{40.001,50}{2} \right) \\ &= \text{Rp. } 20.000,75 \end{aligned}$$

Lembur 3 Jam (L3)

$$\begin{aligned} &= \mathbf{L2} + 2,0 \times bn \\ &= (1,5 \times 11.429,00) + (2 \times 2 \times 11.429,00) \\ &= \text{Rp } 62.859,50 \end{aligned}$$

Lembur 3 Jam

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{62.859,50}{3} \right) \\ &= \text{Rp. } 20.953,17 \end{aligned}$$

Analisis Durasi Percepatan

Produktivitas kerja lembur untuk 1 jam per hari diperhitungkan sebesar 90%, 2 jam per hari diperhitungkan sebesar 80%, dan 3 jam per hari diperhitungkan sebesar 70% dari produktivitas normal. Penurunan produktivitas untuk kerja lembur ini disebabkan oleh kelelahan pekerja, keterbatasan pandangan pada malam hari bekerja, serta keadaan cuaca yang dingin dan cuaca yang tidak memungkinkan untuk melakukan pekerjaan.

Salah satu contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

Nama pekerjaan : Lapis Pondasi Agregat Kelas A

Volume pekerjaan : 11.350,00 m³

Durasi normal : 168 Hari (dengan jam kerja 7 jam/hari)

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas perhari} &= \frac{\text{volume}}{\text{durasi normal}} \\ &= \frac{11.350,00}{168} \\ &= 60,20 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas normal} &= \frac{\text{produktifitas perhari}}{\text{jam kerja perhari}} \\ &= \frac{60,20}{7} \\ &= 8,60 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Durasi Percepatan (Dp) :

$$Dp = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{(k \times Pa \times jk) + (\sum jl \times pp \times Pa \times k)}$$

dengan :

- k = kebutuhan alat (unit/jam)
Pa = produktivitas alat (m³/jam)
jk = jam kerja (jam/hari)
jl = jam lembur (jam/hari)
pp = penurunan produktivitas

Durasi Percepatan (Dp) **lembur 1 jam :**

$$\begin{aligned} Dp \text{ 1 jam} &= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{(k \times Pa \times jk) + (\sum jl \times pp \times Pa \times k)} \\ &= \frac{11.350 \text{ m}^3}{(0,09 \times 8,60 \times 7) + (1 \times 0,9 \times 8,60 \times 0,09)} \\ &= \mathbf{167,07 \text{ hari}} \end{aligned}$$

Maksimal *Crashing*

$$\begin{aligned} &= \text{Durasi normal} - \text{Durasi percepatan} \\ &= 168 \text{ Hari} - 167,07 \text{ Hari} \\ &= \mathbf{0,93 \text{ Hari}} \end{aligned}$$

Durasi Percepatan (Dp) **lembur 2 jam :**

$$\begin{aligned} Dp \text{ 2 jam} &= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{(k \times Pa \times jk) + (\sum jl \times pp \times Pa \times k)} \\ &= \frac{11.350 \text{ m}^3}{(0,09 \times 8,60 \times 7) + (1 \times (0,9 + 0,8) \times 8,60 \times 0,09)} \\ &= \mathbf{163,87 \text{ hari}} \end{aligned}$$

Maksimal *Crashing*

$$\begin{aligned} &= \text{Durasi normal} - \text{Durasi percepatan} \\ &= 168 \text{ Hari} - 163,87 \text{ Hari} \\ &= \mathbf{4,13 \text{ Hari}} \end{aligned}$$

Durasi Percepatan (Dp) **lembur 3 jam :**

$$\begin{aligned} Dp \text{ 3 jam} &= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{(k \times Pa \times jk) + (\sum jl \times pp \times Pa \times k)} \\ &= \frac{11.350 \text{ m}^3}{(0,09 \times 8,60 \times 7) + (1 \times (0,9 + 0,8 + 0,7) \times 8,60 \times 0,09)} \\ Dp \text{ 3 jam} &= \mathbf{158,79 \text{ hari}} \end{aligned}$$

Maksimal *Crashing*

$$\begin{aligned} &= \text{Durasi normal} - \text{Durasi percepatan} \\ &= 168 \text{ Hari} - 158,79 \text{ Hari} \\ &= \mathbf{9,21 \text{ Hari}} \end{aligned}$$

Tabel 3 Hasil Perhitungan durasi *crashing* *Microsoft Project 2019*

Kegiatan	Durasi			
	Normal	Lembur 1 Jam	Lembur 2 jam	Lembur 3 jam
Pembongkaran Perkerasan Jalan Aspal	105	101,64	98,65	98,17
Normalisasi Sahran samping	56	54,98	49,35	54,12
Penggalan Struktur Kedalaman Tidak Lebih 2 meter	84	82,49	82,73	81,25
Penggalan Struktur Kedalaman Lebih 2 meter dan Kurang 4 meter	77	75,53	71,35	72,98
Pipa Gorong-gorong Beton Bertulang, Ø 60 cm, Tipe B	28	24,81	22,27	20,21
Pipa Gorong-gorong Beton Bertulang, Ø 100 cm, Tipe B	105	104,41	97,89	97,76
Sahran, Tipe DS - 1B (Sahran Tanah)	112	111,81	109,76	102,76
Pasangan Batu Mortar	42	41,79	37,52	34,03
Persiapan Tanah Dasar	154	153,36	149,65	148,65
Lapis Pondasi Agregat Kelas A	168	167,07	163,87	158,79
Perkerasan Beton (t=29 cm)	147	146,73	131,72	119,50
Beton K.das B - 1 - 1 (Reinforced Concrete Deck Slab)	63	62,21	59,18	59,26
Beton K.das B - 1 - 2 (Diaphragma I-Girder Bridges)	70	69,21	61,65	68,93
Beton K.das B - 1 - 3 (Concrete Parapet)	35	31,01	32,16	25,26
Beton K.das B - 4 - 1 (Reinforced Concrete Portal Pier head)	84	83,05	82,76	78,95
Beton K.das B - 4 - 2 (Reinforced Concrete Columns Pier & Wall Pier)	105	104,95	102,87	98,63
PC U Girder bentang 10,20 m (lopo 4)	14	12,41	11,14	10,10
PC U Girder bentang 10,67 m (butah 2)	14	12,41	11,14	10,10
PC U Girder bentang 14,96 m (m taha 4)	14	12,41	11,14	10,10
Gakan Untuk Timbunan	84	83,20	81,76	82,87
Timbunan Tanah Berbutir (CBR>15%)	98	97,18	95,87	92,65

Analisis Biaya Percepatan

Biaya percepatan adalah biaya yang dihasilkan karena durasi percepatan oleh lembur 1, 2 dan 3 jam dalam sehari. Untuk kegiatan-kegiatan kritis yang akan dihitung biaya percepatannya berdasarkan penambahan jam lembur dan durasi percepatan, menggunakan *Microsoft Project 2019* dan dikontrol dengan *Microsoft Excel 2019*. Salah satu contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

1) Kondisi Normal

Nama pekerjaan : Perkerasan Beton
(t=29 cm)

Volume pekerjaan: 42,932 m³

Durasi pekerjaan : 147 Hari (dengan jam kerja (jk) 7 jam/hari)

Biaya total *resource* (Btr) :

$$\begin{aligned} Btr &= (\text{Btrh} \times \text{durasi}) + \text{Beton} \\ &\quad \text{Readymix K-500} + \text{Kayu} \\ &\quad \text{Perancah} + \text{Paku} + \text{Alat Bantu} \\ &= (\text{Rp. } 29.004.582 / \text{hari} \times 147 \\ &\quad \text{hari}) + \text{Rp. } 3.160.959.730,500 + \\ &\quad \text{Rp } 4.665.849.760 + \text{Rp} \\ &\quad 680.042.880 + \text{Rp} \\ &\quad 10.089.020.000 \\ &= \mathbf{Rp. 22.859.545.969,114} \end{aligned}$$

Kondisi Lembur 1 Jam

Total biaya percepatan (Tbp) :

$$\begin{aligned} Tbp &= (\text{Tbrh} \times \text{durasi percepatan}) + \text{Bahan} \\ &= (\text{Rp. } 34.423.838 / \text{hari} \times 146,73 \text{ hari}) + \\ &\quad 8.506.852.370,500 \\ &= \mathbf{Rp. 23.646.827.382} \end{aligned}$$

Kondisi Lembur 2 Jam

Total biaya percepatan (Tbp) :

$$\begin{aligned} \text{Tbp} &= (\text{Tbrh} \times \text{durasi percepatan}) + \text{Bahan} \\ &= (\text{Rp. } 41.118.836 / \text{hari} \times 131,72 \text{ hari}) + \\ &\quad 3.160.959.730,500 + 4.665.849.760 + \\ &\quad 680.042.880 + 10.089.020.000 \\ &= \text{Rp. } 24.012.131.712 \end{aligned}$$

Kondisi Lembur 3 Jam

Total biaya percepatan (Tbp) :

$$\begin{aligned} \text{Tbp} &= (\text{Tbrh} \times \text{durasi percepatan}) + \text{Bahan} \\ &= (\text{Rp. } 47.813.835 / \text{hari} \times 119,50 \text{ hari}) + \\ &\quad 3.160.959.730,500 + 4.665.849.760 + \\ &\quad 680.042.880 + 10.089.020.000 \\ &= \text{Rp. } 24.309.647.609 \end{aligned}$$

Tabel 4 Hasil perhitungan analisis biaya percepatan pada *Microsoft Project 2019* dengan waktu lembur 1 jam

No	Kegiatan	Biaya	
		Normal (Rp)	Lembur 1 jam (Rp)
1	Pembongkaran Perkerasan Jalan Aspal	157.111.947,81	162.348.490,50
2	Normalisasi Sahran samping	88.535.843,68	90.101.084,66
3	Penggalian Struktur Kedalaman Tidak Lebih 2 meter	145.897.326,77	157.404.507,85
4	Penggalian Struktur Kedalaman Lebih 2 meter dan Kurang 4 meter	26.681.219,57	27.089.603,57
5	Pipa Gorong-gorong Beton Bertulang, Ø 60 cm, Tipe B	160.503.789,50	160.924.797,45
6	Pipa Gorong-gorong Beton Bertulang, Ø 100 cm, Tipe B	906.756.679,10	921.998.357,50
7	Sahran, Tipe DS - 1B (Sahran Tanah)	261.570.188,13	269.311.689,12
8	Pasangan Batu Mortar	629.920.263,95	655.992.831,64
9	Persiapan Tanah Dasar	265.948.920,30	309.194.877,72
10	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	3.269.181.361,70	3.538.050.135,92
11	Perkerasan Beton (t = 29 cm)	22.859.545.969,11	23.646.827.382,35
12	Beton Kelas B - 1 - 1 (Reinforced Concrete Deck Slab)	278.153.170,78	280.393.744,32
13	Beton Kelas B - 1 - 2 (Diaphragma I-Girder Bridges)	14.047.230,47	14.220.854,78
14	Beton Kelas B - 1 - 3 (Concrete Parapet)	99.350.494,58	99.643.418,49
15	Beton Kelas B - 4 - 1 (Reinforced Concrete Portal Pier head)	128.009.166,42	128.784.719,83
16	Beton Kelas B - 4 - 2 (Reinforced Concrete Colsms Pier & Wall Pier)	161.887.941,98	162.800.011,53
17	PC U Girder bentang 10.20 m (kopo 4)	500.827.766,30	501.301.546,94
18	PC U Girder bentang 10.67 m (tubut 2)	260.252.759,15	260.489.649,47
19	PC U Girder bentang 14.96 m (m toha 4)	695.305.518,30	695.779.298,94
20	Galian Untuk Timbunan	939.318.732,55	1.101.747.284,63
21	Timbunan Tanah Berbutir (CBR>15%)	14.027.921.127,33	15.908.479.692,17

Analisis Cost Variance, Cost Slope, dan Duration Variance

Nama pekerjaan : Perkerasan Beton (t=29 cm)

Biaya Normal :Rp 22.859.545.677

Biaya Percepatan:

Lembur 1 jam =Rp 22.923.454.266

Lembur 2 jam =Rp 23.076.823.622

Lembur 3 jam =Rp 23.161.333.981

Selisih Biaya:

Lembur 1 jam

=Rp22.923.454.266- Rp 22.859.545.677

= Rp 63.908.589

Lembur 2 jam

=Rp23.076.823.622- Rp 22.859.545.677

= Rp 217.277.945

Lembur 3 jam

=Rp23.161.333.981- Rp 22.859.545.677

= Rp 301.788.304

Tabel 5 Hasil perhitungan selisih biaya normal dan biaya percepatan pada *Microsoft Project 2019* dengan waktu lembur 1 jam

No	Uraian Pekerjaan	Selisih Biaya (Rp)
1	Pembongkaran Perkerasan Jalan Aspal	5,229,054
2	Normalisasi Sahran samping	1,557,793
3	Penggalian Struktur Kedalaman Tidak Lebih 2 meter	10,776,209
4	Penggalian Struktur Kedalaman Lebih 2 meter dan Kurang 4 meter	108,123
5	Pipa Gorong-gorong Beton Bertulang, Ø 60 cm, Tipe B	483,842
6	Pipa Gorong-gorong Beton Bertulang, Ø 100 cm, Tipe B	15,019,974
7	Sahran, Tipe DS - 1B (Sahran Tanah)	6,343,042
8	Pasangan Batu Mortar	40,436,289
9	Persiapan Tanah Dasar	40,639,173
10	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	11,117,793
11	Perkerasan Beton (t = 29 cm)	63,908,589
12	Beton Kelas B - 1 - 1 (Reinforced Concrete Deck Slab)	353,465
13	Beton Kelas B - 1 - 2 (Diaphragma I-Girder Bridges)	811,873
14	Beton Kelas B - 1 - 3 (Concrete Parapet)	299,481
15	Beton Kelas B - 4 - 1 (Reinforced Concrete Portal Pier head)	462,700
16	Beton Kelas B - 4 - 2 (Reinforced Concrete Colsms Pier & Wall Pier)	39,684
17	PC U Girder bentang 10.20 m (kopo 4)	485,886
18	PC U Girder bentang 10.67 m (tubut 2)	242,405
19	PC U Girder bentang 14.96 m (m toha 4)	384,897
20	Galian Untuk Timbunan	281,143
21	Timbunan Tanah Berbutir (CBR>15%)	8,087,991

Menentukan biaya tidak langsung

Biaya tidak langsung = $y \times x1$

= $5,65\% \times$

Rp.87.126.387.126,51

= **Rp. 4.930.813.696,10**

Menentukan biaya langsung

Untuk mencari biaya langsung akibat percepatan (Kode PB29) selanjutnya adalah sebagai berikut :

Lembur 1 jam

= Biaya langsung + selisih biaya

= Rp. 82.195.770.332,93+ 16.434,97

= Rp 82.195.786.767,91

Lembur 2 jam

= Biaya langsung + selisih biaya

= Rp. 82.195.584.098,67+ 12.098,40

= Rp 82.195.596.197,08

Lembur 3 jam

= Biaya langsung + selisih biaya

= Rp. 82.195.589.483,82 + 26.886,90

= Rp. 82.195.616.370,73

Analisis Biaya Penambahan Alat

Kondisi Penambahan Alat Setara dengan Penambahan Jam Kerja (lembur) 1 Jam

Nama pekerja: Perkerasan Beton (t=29 cm)

Volume pekerjaan: 42,932 m³

Durasi pekerjaan: 146,73 Hari(dengan jam kerja (jk) 7 jam/hari)

Kebutuhan *resource* (kr):

Pekerja	= 67,14	orang/jam
Tukang	= 41,967	orang/jam
Mandor	= 8,393	orang/jam
Beton <i>Readymix</i> K-500	= 2,712	m ³
Kayu Perancah	= 3,171	m ³
Paku	= 50,066	m ³
<i>Concrete pan Mixer</i>	= 4,196	unit/jam
<i>Truck Mixer</i>	= 22,682	unit/jam
<i>Water Tang Truck</i>	= 2,810	unit/jam
Alat Bantu	= 41,722	m ³

Biaya *resource* (Brj) :

Pekerja	= Rp 11.429,0/jam
Tukang	= Rp 16.097,00/jam
Mandor	= Rp 17.815,00/jam
Beton <i>Readymix</i> K-500	= Rp 1.132.725,00/m ³
Kayu Perancah	= Rp 1.430.000,00/m ³
Paku	= Rp 13.200,00/m ³
<i>Concrete pan Mixer</i>	= Rp 95.790.105,00/m ³
<i>Truck Mixer</i>	= Rp 65.946.802,00/m ³
<i>Water Tang Truck</i>	= Rp 235.108.051,00/jam
Alat Bantu	= Rp 235.000,00/m ³

Biaya *resource* perhari (Brh) :

$$\begin{aligned} \text{Brh} &= \text{jk} \times \text{kr} \times \text{Brj} \\ \text{Sehingga,} \\ \text{Brh Pekerja} &= 7 \times 67,147 \times 11.429 \\ &= \text{Rp. } 5.372.001 \text{ /hari} \\ \text{Brh Tukang} &= 7 \times 41,967 \times 16.097 \\ &= \text{Rp. } 4.728.822 \text{ / hari} \\ \text{Brh Mandor} &= 7 \times 8,393 \times 17.815 \\ &= \text{Rp. } 1.046.711 \text{ / hari} \\ \text{Brh } \textit{Concrete pan Mixer} &= 7 \times 4,196 \times 95.790 \\ &= \text{Rp. } 2.814.083 \text{ / hari} \\ \text{Brh } \textit{Truck Mixer} &= 7 \times 22,682 \times 65,946 \\ &= \text{Rp. } 10.470.868 \text{ / hari} \\ \text{Brh } \textit{Water Tang Truck} &= 7 \times 2,810 \times 235.108 \\ &= \text{Rp. } 4.625.891 \text{ / hari} \end{aligned}$$

Biaya normal total *resource* harian (Btrh):

$$\text{Btrh} = \sum \text{Brh}$$

$$\begin{aligned} &= (\text{Pekerja} + \text{Tukang} + \text{Mandor} + \textit{Concrete pan Mixer} + \textit{Truck Mixer} + \textit{Water Tang Truck}) \\ &= 5.372.001 + 4.728.822 + 1.046.711 + 2.814.083 + 10.470.868 + 4.625.891 \\ &= \text{Rp. } 29.058.378 \text{ / hari} \end{aligned}$$

Biaya total *resource* (Btr):

$$\begin{aligned} \text{Btr} &= (\text{Btrh} \times \text{durasi}) + \text{Beton } \textit{Readymix} \text{ K-500} \\ &\quad + \text{Kayu Perancah} + \text{Paku} + \text{Alat Bantu} \\ &= (\text{Rp. } 29.058.378 \text{ / hari} \times 146,73 \text{ hari}) + \text{Rp. } \\ &\quad 3.160.959.730,500 + \text{Rp } 4.665.849.760 + \\ &\quad \text{Rp } 680.042.880 + \text{Rp } 10.089.020.000 \\ &= \text{Rp. } 22.859.562.111,97 \end{aligned}$$

Menentukan total biaya

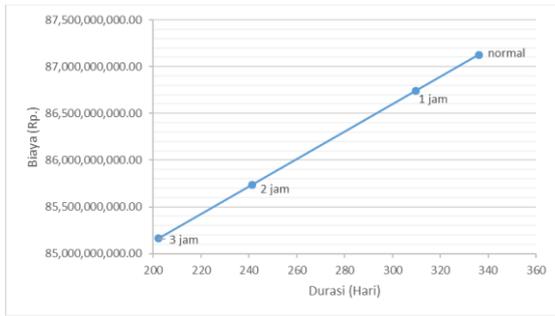
Total biaya = biaya langsung + biaya tidak langsung sehingga nilai dari total biaya pada proyek adalah

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Rp. } 82.195.573.430,41 + \text{Rp. } \\ &\quad 4.930.813.696,10 \\ &= \text{Rp. } 87.126.387.126,51 \end{aligned}$$

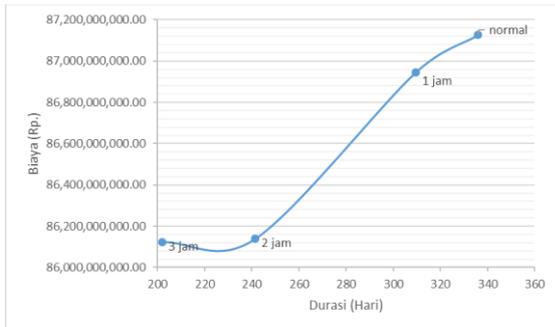
Analisa Perbandingan Antara Penambahan Jam lembur dan Penambahan Alat Berat

Tabel 6 Biaya total penambahan alat terhadap durasi setara dengan penambahan jam kerja (lembur) 1 jam

Kode	Durasi (Hari)		Total Biaya (Rp.)	
	Normal	crash	Penambahan Jam Kerja	Penambahan Alat
PSKL24	75.53	77	87,104,971,958.39	87,077,028,341.88
BKB13	31.01	35	87,046,757,036.35	87,018,515,591.56
PGGBB60	24.81	28	87,000,429,355.92	86,971,711,102.58
PCUG1067	12.41	14	86,977,265,999.70	86,948,309,555.01
PCUGB1496	12.41	14	86,954,245,135.49	86,924,908,075.43
PCUG1020	12.41	14	86,931,325,260.27	86,901,507,210.80
GUT	83.20	84	86,919,795,821.79	86,889,967,816.06
BKB11	62.21	63	86,908,545,021.87	86,876,029,919.24
BKB41	83.05	84	86,895,066,681.20	86,854,517,821.45
BKB42	104.95	105	86,894,325,141.30	86,839,513,601.54
BKB12	69.21	70	86,883,595,051.60	86,836,418,226.17
NSS	54.98	56	86,870,136,596.12	86,814,318,724.83
PPJA	101.64	105	86,826,005,703.28	86,802,727,252.16
PSKTL2M	82.49	84	86,814,661,126.34	86,794,070,470.88
TTB	97.18	98	86,810,788,205.95	86,782,285,171.80
LPAKA	167.07	168	86,808,253,443.17	86,772,939,794.43
PGGBB100	104.41	105	86,814,604,616.72	86,772,160,628.55
STDS	111.81	112	86,818,143,007.97	86,760,247,752.85
PTD	153.36	154	86,849,416,086.77	86,756,278,619.56
PBM	41.79	42	86,886,754,460.81	86,742,708,137.07
PB29	146.73	147	86,946,677,481.54	86,739,920,622.76



Gambar 5 Perbandingan biaya normal dengan biaya penambahan alat



Gambar 6 Perbandingan biaya normal dengan biaya penambahan jam kerja.

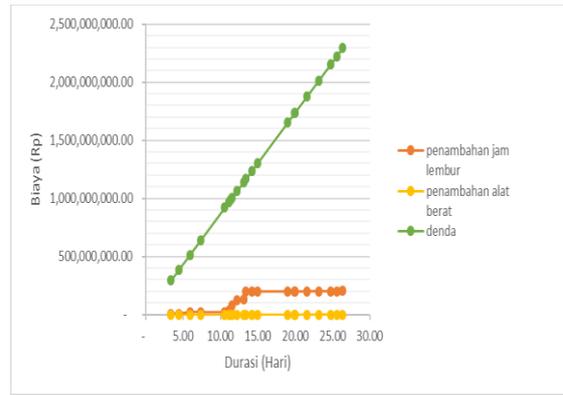


Gambar 7 Perbandingan antara titik biaya normal dengan biaya penambahan alat dan tenaga kerja dan penambahan jam lembur

Perhitungan biaya denda akibat keterlambatan

Berikut dibawah ini salah satu contoh perhitungan biaya denda untuk pekerjaan kode PPJA :

$$\begin{aligned} \text{Total hari keterlambatan} &= 3,36 \text{ hari} \\ \text{Biaya total proyek} &= \text{Rp } 87.126.387.126,51 \\ \text{Total denda} \\ &= 3,36 \times \frac{1}{1000} \times 87.126.387.126,51 \\ &= \text{Rp } 293.052.258,40 \end{aligned}$$



Gambar 8 Perbandingan Biaya Penambahan Jam Lembur, Alat Berat/ Tenaga Kerja, dan Denda Pada Lembur 1 Jam

5. Kesimpulan

Berdasarkan data serta hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada Pekerjaan Penambahan Lajur Ruas Kopo – Buah Batu Jalur B pada Jalan Tol Padalarang - Cileunyi didapatkan hasil kesimpulan, sebagai berikut :

1. Waktu dan biaya proyek pada kondisi normal dengan durasi normal 336 hari dengan biaya sebesar Rp 84.801.385.478,08.
2. Setelah dilakukan penambahan 1 jam kerja lembur didapatkan durasi *crashing* sebesar 309,64 hari kerja dengan biaya sebesar Rp. 86.946.677.481,54. Selanjutnya, untuk penambahan 2 jam kerja lembur didapatkan durasi *crashing* sebesar 241,42 hari kerja dengan biaya sebesar Rp. 86.138.733.058,58. Kemudian pada penambahan 3 jam kerja lembur didapatkan durasi *crashing* sebesar 202,08 hari dengan biaya sebesar Rp.86.123.588.025,02.
3. Pada penambahan alat berat dengan durasi sama seperti penambahan jam kerja yaitu untuk durasi jam kerja lembur selama 1 jam didapatkan durasi *crashing* sebesar 309,64 hari dengan biaya sebesar Rp. 86.739.920.622,76 , selanjutnya untuk penambahan alat berat dengan jam kerja lembur selama 2 jam didapatkan durasi *crashing* 241,42 hari dengan biaya sebesar Rp.85.738.758.231,67, kemudian pada penambahan alat berat dengan jam kerja lembur selama 3 jam didapatkan durasi

crashing sebesar 202,08 hari dengan biaya sebesar Rp. 85.161.383.401,72.

4. Biaya setelah dilakukannya percepatan dengan penambahan jam kerja lembur dan penambahan alat didapatkan bahwa, percepatan penambahan alat 3 jam dengan durasi *crashing* sebesar 202,08 hari dengan biaya sebesar Rp. 85.161.383.401,72 lebih efisien dan lebih murah jika dibandingkan dengan penambahan jam kerja lembur serta lebih murah jika dibandingkan dengan biaya yang harus dikeluarkan apabila proyek tersebut mengalami keterlambatan pelaksanaan yang akan dikenakan denda.

6. Daftar Pustaka

- Anggraeni, E.R., Hartono, W., dan Sugiyarto., 2017, Analisis Percepatan Proyek Menggunakan Metode Crashing dengan Penambahan Tenaga Kerja Dan Shift Kerja (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Hotel Grand Keisha), *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 5 (2), 605-614.
- Ardika, O.P.C., Sugiyarto., dan Handayani, F.S., 2014, Analisis *Time Cost Trade Off* dengan Pernambahan Jam Kerja pada Proyek Kontruksi (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Bogor Ring Road Seksi II A). *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 273-280.
- Arvianto, R., Handayani, F.S., Setiono., 2017, Optimasi Biaya dan Waktu Dengan Metode Time Cost Trade Off, *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, Vol. 5, pp, 69-70.
- Badri, S., 1997, *Dasar-Dasar Network Planning*, Rineka Cipta.
- Frederika, A., 2010, Analisis Percepatan Pelaksanaan Dengan Menambah Jam Kerja Optimum Pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Super Villa), *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14 (2), 113-126.
- Imantoro, Teguh.2016. Analisis Biaya Dan Waktu Proyek Konstruksi Dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Dibandingkan Dengan Penambahan Tenaga Kerja Menggunakan Metode Time Cost Trade Off. Teknik Sipil : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Izzah, N., 2017, Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya menggunakan Metode Time Cost Trade Off (TCTO) pada Proyek Pembangunan Perumahan di PT.X. *Jurnal Rekayasa*, 10 (1), 51-58.
- Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor KEP.102/MEN/VI/2004. Tentang Waktu Lembur dan Upah Kerja Lembur.
- Nugraha, Ahmad Surya.2016.Analisis Biaya dan Waktu Proyek Konstruksi Dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Dibandingkan Dengan Penambahan Tenaga Kerja Menggunakan Metode Time Cost Trade Off. Teknik Sipil : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2012 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Presiden Nomor 54 Tahun 2010 Tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah.
- Priyo, M., dan Aulia, M.R., 2015, Aplikasi Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Konstruksi:Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Indonesia, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 18 (1), 30-43.
- Priyo, M., Sudiro, S., 2017, Studi Optimasi Waktu Dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Konstruksi, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, Vol. 20, pp, 172-174.
- Putra, V.P.R.H., Andriansyah, A., Wibowo, M.A., Pudjianto, B., 2014, Penerapan Metode Crashing Proyek Pembangunan Elizabeth Building RS. Santo Borromeus Paket 1 Bandung, *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3 (3), 597-616.
- Rahayu, A., 2017, Analisis Biaya dan Waktu Proyek Kontruksi dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) dibandingkan dengan Penambahan Tenaga Kerja menggunakan Metode Time Cost Trade Off (Studi Kasus: Pekerjaan Proyek Pembangunan Hotel Tosan Solo Baru (Lantai 5 – Lantai 9)). Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Soeharto, I., 1995, Manajemen proyek dari konseptual sampai operasional, Erlangga, Jakarta.

- Soeharto, I., 1997, Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional Jilid II Erlangga, Jakarta.
- Soeharto, I., 1999, Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional Jilid I Edisi Kedua Erlangga, Jakarta.
- Tanjung, Novia. 2013. Optimasi waktu dan biaya dengan metode crash pada proyek Pekerjaan Struktur Hotel Lorin Triple Moderate Solo. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Walean, D.M., Mandagi, R.J.M., Tjakra, J., Malingkas, G.Y., 2012, Perencanaan Dan Pengendalian Jadwal Dengan Menggunakan Program Microsoft Project 2010 (Studi Kasus: Proyek PT. Trakindo Utama), *Jurnal Sipil Statik*, 1 (1), 22-26.
- Wibowo, Dono Wahyu. 2016. "Analisis Biaya Dan Waktu Proyek Konstruksi dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) dibandingkan dengan Penambahan Tenaga Kerja Menggunakan Metode Time Cost Trade Off". Teknik Sipil: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Wohon, F.Y., Mandagi, R.J.M., Pratahis, P.A.K., 2015, Analisa Pengaruh Percepatan Durasi Pada Biaya Proyek Menggunakan Program Microsoft Project 2013 (Studi Kasus : Pembangunan Gereja GMIM Syaloom Karombasan), *Jurnal Sipil Statik*, 3 (2), 141-150.
- Wowor, F.N., Sompie, B.F., Walangitan, D.R.O., Malingkas, G.Y., 2013, Aplikasi Microsoft Project Dalam Pengendalian Waktu Pelaksanaan Pekerjaan Proyek, *Jurnal Sipil Statik*, 1 (8), 543-548.

