

# Efisiensi Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Konstruksi Dengan Metode Crashing pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Pandaan-Malang Zona 3 STA 15+600 - 19+225.

*Cost Efficiency and Time of Construction Project Implementation With Crashing Method on Highway Road Construction Project Pandaan-Malang Zone 3 STA 15 + 600 - 19 + 225.*

**Muhammad Jihad AlFaiq, Mandiyo Priyo.**

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Keberhasilan dari jalanya sebuah proyek dipengaruhi oleh faktor-faktor yaitu waktu dan biaya. Tolak ukur kesuksesan dari proyek tersebut dapat diukur dari durasi dalam penyelesaian proyek tersebut dengan singkat dan dengan biaya yang minimal namun tidak menghilangkan unsur mutu pekerjaan yang akan di hasilkan dari akhir pekerjaan. Cara yang umum dilakukan untuk menghasilkan proyek yang efektif dan efisien adalah dengan cara melakukan pembandingan biaya konstruksi dalam penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan alat berat, hal yang perlu di perhatikan untuk pekerjaan yang dipercepat adalah pekerjaan yang kritis, yang dimaksud kritis disini adalah dimana pekerjaan yang tidak boleh terlambat penyelesaiannya. Dalam kasus ini salah satu metode yang digunakan adalah metode *Time Cost Trade Off* dengan bantuan program *Microsoft Project 2016*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan penambahan jam kerja lembur selama 1 jam biaya yang harus dikeluarkan sebesar Rp.281.063.720.352,30 dengan durasi sebesar 530,99 hari, untuk penambahan jam lembur selama 2 jam biaya yang harus dikeluarkan sebesar Rp.281.887.203.422,08 dengan durasi sebesar 411,54 hari, untuk penambahan lembur selama 3 jam biaya yang harus dikeluarkan sebesar Rp.283.175.920.941,69 dengan durasi akhir 323 hari, sementara untuk penambahan alat berat yang durasinya setara dengan 1 jam biaya yang dikeluarkan sebesar Rp.279.602.275.741,61 dengan durasi 530,99 hari, untuk penambahan alat yang setara 2 jam dengan biaya sebesar Rp.277.918.099.995,31 dengan durasi 411,54 hari, lalu untuk penambahan alat yang setara 3 jam didapatkan dengan biaya sebesar Rp.276.682.950.257,64 dengan durasi 323 hari. Biaya penambahan alat berat disini lebih efisien dari waktu dan biaya.

**Kata Kunci:** Time Cost Trade Off, Microsoft Project 2016, Penambahan Jam Lembur, Penambahan Alat Berat, Manajemen Proyek.

**Abstract.** The success of the net of a project is influenced by factors such as time and cost. The measurements of success from the project can be measured from the duration of completion of the project briefly and at a minimal cost but do not eliminate the quality element of the work that will be generated from the end of the job. The most common way to generate effective and efficient projects is to compare construction costs in the addition of working hours (overtime) and the addition of heavy equipment, which needs to be noticed for expedited work is critical work, which is critical here is where work that can not be late for the settlement. In this case one of the methods used is Time Cost Trade Off method with the help of Microsoft Project 2016 program. The result of this research shows that if after the addition of overtime working hours for 1 hour the cost must be Rp.281.063.720.352,30 with the duration of 530,99 days, for additional hours overtime for 2 hours cost incurred Rp.281.887.203.422,08 with duration of 411,54 days , for the addition of overtime for 3 hours costs to be incurred Rp.283.175.920.941,69 with a final duration of 323 days, while for the addition of heavy equipment whose duration is equivalent to 1 hour costs incurred Rp.279.602.275.741,61 with a duration of 530,99 days, for the addition of equipments 2 hour with the cost of Rp.277.918.099.995,31 with 411,54 days duration, then for the addition of equipment equivalent to 3 hours obtained at a cost of Rp.276.682.950.257,64 with a duration of 323 days. The cost of adding heavy equipment here is more efficient than time and cost.

**Keywords:** Charge Time Trading, Microsoft Project 2016, Overtime Hours, Addition of Heavy Equipment, Project Management.

## 1. Pendahuluan

Pelaksanaan sebuah proyek konstruksi adalah bagian dari rangkaian atau alur terhadap mekanisme pekerjaan yang bersifat vital karena pada tiap aspek pekerjaan terhadap proyek konstruksi itu saling berketerkaitan terhadap satu pekerjaan dengan yang lainnya. Saat pelaksanaan suatu proyek konstruksi banyak hal yang terjadi seperti tidak sesuai apa yang telah direncanakan seperti, *schedule* rencana dan realisasi apa yang dilaksanakan di lokasi pekerjaan, yang bias membuat penyelesaian proyek menjadi terlambat dan berakibat terhadap pembengkakan waktu dan biaya yang harus dikeluarkan apabila proyek mengalami keterlambatan. Keterlambatan ini umumnya terjadi karena perubahan situasi dan kondisi di lokasi pekerjaan, perubahan gambar rencana, pengaruh cuaca yang buruk, dan kurangnya kebutuhan pekerja yang memadai, kebutuhan material ataupun alat berat yang dibutuhkan, ataupun kesalahan dalam perencanaan maupun spesifikasi.

Menurut Wibowo (2016) dalam penelitiannya tentang analisis biaya dan waktu proyek konstruksi dengan penambahan jam kerja (lembur) dibandingkan dengan penambahan tenaga kerja menggunakan metode *time cost trade off* dengan studi kasus pekerjaan peningkatan jalan Siluk-Kretrek STA. 13+000 – 15+900, mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Waktu dan biaya optimum akibat penambahan lembur 1 jam didapat pada umur proyek 104,98 hari kerja dengan total biaya proyek sebesar Rp.6.056.110.917,11.
2. Untuk penambahan lembur 2 jam didapat durasi proyek 101,24 hari kerja dengan total biaya proyek sebesar Rp.6.045.515.615,74, dan untuk penambahan lembur 3 jam didapat durasi proyek 97,92 hari kerja dengan total biaya proyek sebesar Rp.6.041.418.149,56. Dari ketiga penambahan jam lembur didapatkan biaya termurah yaitu terdapat pada penambahan lembur 3 jam dengan durasi 97,92 hari dan total biaya proyek Rp.6.041.418.149,56.

3. Waktu dan biaya total akibat penambahan tenaga kerja 1 didapat durasi proyek 104,98 hari kerja dengan total biaya proyek sebesar Rp.6.049.998.075,53. Untuk penambahan tenaga kerja 2 didapat pada durasi proyek 101,24 hari kerja dengan total biaya proyek sebesar Rp.6.042.355.075,59, untuk penambahan tenaga kerja 3 didapat durasi proyek 97,92 hari kerja dengan total biaya proyek sebesar Rp.6.032.372.481,17. Dari ketiga penambahan tenaga kerja didapatkan biaya termurah yaitu terdapat pada penambahan tenaga kerja 3 dengan durasi 97,92 hari dan total biaya proyek Rp.6.032.372.481,17.
4. Biaya mempercepat durasi proyek dengan penambahan jam lembur atau penambahan tenaga kerja lebih murah dibandingkan dengan biaya yang harus dikeluarkan apabila proyek mengalami keterlambatan dan dikenakan denda.

*Time cost trade off* (TCTO) atau pertukaran waktu dan biaya merupakan suatu cara yang digunakan untuk mempercepat waktu dan pelaksanaan pada proyek dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis yang disengaja dan sistematis (Izzah, 2017).

Dalam hal ini ada beberapa factor yang berpengaruh diantaranya durasi normal (*normal duration*), durasi percepatan (*crash duration*), biaya normal (*normal cost*), serta biaya percepatan (*crash cost*) (Andhita dan Dani, 2017).

Keterlambatan sebuah proyek dapat diatasi dengan melakukan percepatan pelaksanaan proyek, namun harus dengan memperhitungkan biaya dan waktu yang optimal. Percepatan waktu tersebut tetap harus memperhatikan mutu. Maka untuk mendapatkan hal tersebut harus dilakukan efisiensi biaya dan waktu dan biaya dengan cara membuat jaringan kerja proyek (*network*), mencari kegiatan-kegiatan kritis yang tidak boleh terlambat dalam sebuah pekerjaan dan menghitung durasi proyek serta mengetahui jumlah sumber daya (*resources*).

Dalam penelitian ini akan dianalisis percepatan waktu proyek pada pelaksanaan Pembangunan Jalan Tol Pandaan-Malang Zona 3 STA 15+600 - 19+225 dengan metode penambahan jam kerja (lembur) yang bervariasi dari 1 jam lembur hingga 3 jam lembur dan penambahan tenaga kerja menggunakan program *Microsoft Project 2016*. Kemudian menentukan perubahan biaya proyek setelah dilakukan lembur, dan penambahan alat berat. Serta membandingkan antara biaya denda dengan perubahan biaya sebelum dan sesudah penambahan durasi jam kerja (lembur) selama 1–3 jam dan penambahan alat berat.

## 2. Landasan Teori

### *Proyek*

Proyek merupakan sebuah proses dari gabungan atau rangkaian kegiatan sementara yang mempunyai titik awal dan akhir, yang melibatkan berbagai sumber daya yang bersifat terbatas / tertentu untuk mencapai sasaran dan tujuan yang telah di tetapkan (Arsjad dkk., 2015). Pada saat kondisi pekerjaan berada pada zona kritis maka diperlukan analisa untuk dilakukan percepatan waktu, dimana pada saat pelaksanaan maka durasi total pekerjaan diharapkan menjadi berkurang, namun dengan biaya yang bertambah, itulah yang dinamakan dengan *Crash Program*, (Arvianto dkk., 2017). Saat melakukan percepatan durasi secara maksimum itu akan dipengaruhi oleh volume pekerjaan atau tempat kerja , tetapi terdapat faktor-faktor yang bisa dioptimalkan saat akan melakukan sebuah percepatan dari satu pekerjaan yang meliputi penambahan unit atau tenaga kerja, penjadwalan lembur atau *scheduling*, penambahan alat berat, dan penyesuaian metode konstruksi terhadap apa yang ada di lokasi pekerjaan (Frederika, 2010), seperti halnya proyek infrastruktur yang berskala besar.

### *Manajemen Proyek*

Manajemen proyek adalah sebuah tahapan dalam merencanakan atau menyusun struktur organisasi untuk memimpin kegiatan atau pelaksanaan proyek dan dapat mengendalikan sumber daya dari perusahaan untuk mencapai target yang telah di tentukan,

Pandangan lain secara luas dari manajemen proyek menggunakan pendekatan sistem dan hierarki (arus kegiatan) vertikal dan horizontal. (Soeharto, 1997).

Menurut Soeharto (1999), manajemen proyek memiliki beberapa tujuan diantaranya 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 kegiatan yang sengaja dibuat namun sesuai dengan metode konstruksinya atau memiliki keterkaitan antar pekerjaan yang diharapkan akan berjalan sesuai rencana. *Network Planning* pada prinsipnya adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan (*variable*) yang digambarkan/ divisualisasikan kedalam bentuk diagram *network* (Badri, 1997). Terdapat tiga tahapan *network planning* yang akan dilakukan apabila sudah ada kesepakatan tentang proyek yang akan dikerjakan, yaitu: pembuatan gambar rencana pekerjaan, pemakaian gambar rencana pekerjaan, dan perbaikan gambar rencana pekerjaan (Federika, 2010). Ada beberapa macam cara yang dapat digunakan untuk melaksanakan percepatan penyelesaian waktu proyek. (Priyo dkk., 2017). Seperti : Penambahan jumlah jam kerja (lembur), penambahan tenaga kerja, pergantian atau penambahan peralatan, pemilihan sumber daya manusia yang berkualitas

### *Biaya Total Proyek*

Biaya total proyek konstruksi di dapat dari dua aspek, yaitu adalah biaya langsung dan biaya tidak langsung.

1. Biaya langsung (*direct cost*) adalah biaya-biaya yang dipisahkan dan dikenali secara langsung yang digunakan dan berhubungan langsung

dengan jalanya suatu pelaksanaan pekerjaan dilapangan, yang meliputi :

- a. Bahan/material,
  - b. Biaya upah pekerja,
  - c. Biaya alat,
  - d. Biaya subkontraktor dan lain-lain.
2. Menurut Pamungkas dan Hidayat (2011) Biaya tidak langsung (*indirect cost*) adalah Biaya proyek yang tidak secara langsung berhubungan dengan konstruksi di lapangan namun biaya ini harus ada dan tidak dapat dilepaskan dari proyek tersebut, diantaranya:
- a. Biaya pekerja di lapangan,
  - b. Bunga bank, ijin bangunan dan pajak,
  - c. Fasilitas sementara proyek seperti biaya pembuatan; gudang ,kantor ,pagar ,penerangan,
  - d. Peralatan kecil yang habis setelah proyek selesai,
  - e. Foto-foto dan gambar jadi,
  - f. Kualitas control seperti test kuat tekan beton,
  - g. Biaya pengukuran,
  - h. Rapat dilapangan.

Menurut Jayadewa (2016) biaya tidak langsung dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$y = -0,95 - 4,8888(\ln(x1 - 0,21) - \ln(x2)) + \varepsilon \dots (1)$$

dengan:

- $x1$  = nilai total proyek,  
 $x2$  = durasi proyek,  
 $\varepsilon$  = *random error*, dan  
 $y$  = prosentase biaya tidak langsung

Dalam hubungan biaya langsung dan biaya tidak langsung terhadap waktu didapatkan hasil apabila durasi pelaksanaan dipercepat maka biaya langsung akan naik, namun berbanding terbalik dengan biaya tidak langsung yang mengalami penurunan biaya (Sudarsana, 2008)

### **Critical Path Method**

CPM (*Critical Path Method*) merupakan salah satu metode dalam manajemen konstruksi yang penerapannya menggunakan arrow diagram yang bertujuan untuk menentukan jalur kritis dimana *critical*

*path method* ini disebut juga sebagai diagram lintasan kritis (Priyo dan Aulia, 2015).

### **Metode Penyesuaian Waktu dan Biaya (Duration Cost Trade Off)**

Duration cost trade off merupakan proses yang disengaja, secara sistematis dan secara analitis dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis. Selanjutnya akan dilakukan kompresi pada kegiatan yang berada di lintasan kritis yang mempunyai nilai *cost slope* terendah. Kompresi dilakukan terus hingga lintasan kritis mempunyai aktivitas yang telah jenuh dari keseluruhan pekerjaan (Ervianto, 2008).

Pada perencanaan suatu proyek selain variabel waktu dan sumber daya, terdapat variabel biaya (*cost*) yang memiliki peranan cukup penting, dimana biaya ini harus dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin dan dapat dikendalikan, saat melakukan pengendalian harus memperhatikan faktor waktu, karena adanya hubungan antar waktu dan penyelesaian proyek terhadap biaya yang diperlukan.

Terkadang project management dihadapkan pada suatu kondisi dimana proyek harus selesai lebih cepat dari waktu normal, hal yang harus di Analisis mengenai pertukaran waktu dan biaya disebut dengan *Duration Cost Trade Off* untuk mempercepat proyek dengan biaya yang seminimal mungkin (Pertukaran Durasi dan Biaya).

### **Produktivitas Kerja**

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.11-PRT-M-2013 tentang pedoman analisis harga satuan pekerjaan bidang pekerjaan umum, bahwa produktivitas yang dimaksud disini adalah perbandingan antara *output* yang dihasilkan terhadap *input*. *Output* disini diartikan sebagai hasil produksi sedangkan *inputnya* adalah komponen produksinya seperti : material atau tenaga kerja. *Output* dan *input* disini saling berbanding terbalik, yaitu apabila *input* dan durasi kecil maka *output* semakin besar sehingga berpengaruh terhadap produktivitas semakin besar. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi analisis produktivitas antara

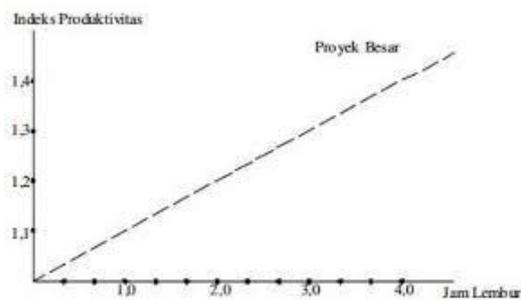
lain waktu siklus, faktor kembang susut atau faktor pengembangan bahan, faktor alat, dan faktor kehilangan.

Produktivitas ini merupakan salah satu konsep yang bisa menggambarkan hubungan antara hasil dan sumber, yang akan menghasilkan *output* diantar keduanya, dengan kata lain produktivitas sangat tergantung pada sumbernya seperti: tenaga kerja, modal dsb. Dimana semakin tinggi biaya yang dikeluarkan maka produktivitas yang dihasilkan juga semakin besar.

### **Pelaksanaan Penambahan Jam Kerja (Lembur)**

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.12-PRT-M-2004 tentang Waktu Lembur dan Upah Kerja Lembur, bahwa kerja lembur dilakukan dengan cara menambahkan jam kerja tiap harinya dengan sumber daya manusia yang sama. Penambahan jam kerja bertujuan agar produktivitas harian semakin besar. Umumnya waktu normal dari pekerja selama 8 jam (dimulai dari pukul 08.00 dan selesai pukul 16.00 dengan satu jam istirahat), lalu lembur dikerjakan setelah jam normal.

Penambahan jam lembur dapat dilakukan secara dengan penambahan maksimal hingga 3 jam, karena apabila dipaksakan dengan jam lembur akan mempengaruhi dan menimbulkan penurunan produktivitas. Indikasi dari penurunan pekerja disajikan pada (Gambar 1)



Grafik 1 Grafik penurunan produktivitas karena jam lembur (Soeharto, 1999)

### **Penambahan Alat Berat dan Tenaga Kerja**

Saat melakukan penambahan jumlah pekerja yang diperhatikan adalah ruang kerja dari tiap pekerja karena diharapkan adalah saat dilakukan penambahan bias merata dan tidak sesak di lokasi pekerjaan namun cukup atau sesuai dengan volume pekerjaannya sehingga dapat berjalan maksimal.

Penambahan ini dapat dihitung dengan rumus berikut :

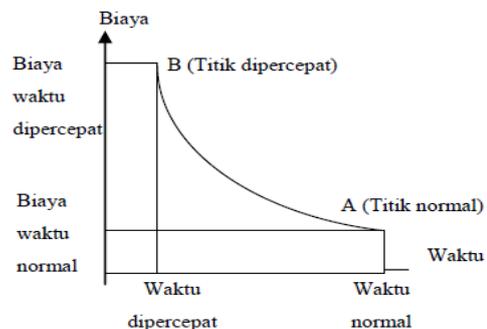
1. Perhitungan penambahan tenaga kerja  

$$Ptk = (\text{durasi normal} \times \text{keb. Tenaga}) / \text{durasi percepatan}$$
  2. Perhitungan penambahan alat berat  

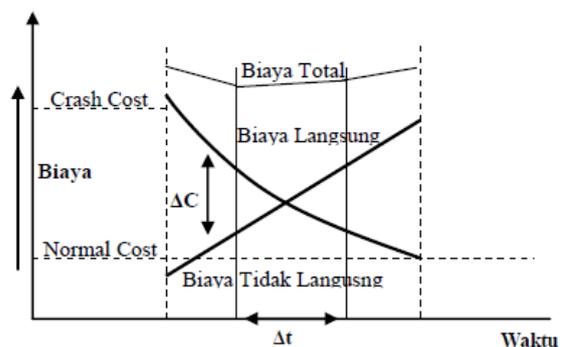
$$Pab = (\text{durasi normal} \times \text{keb. alat}) / \text{durasi percepatan}$$
- Keterangan :  
 Ptk = Penambahan tenaga kerja (orang/jam)  
 Pab = Penambahan alat berat (unit/jam)

### **Hubungan Antara Biaya dan Waktu**

Besarnya biaya total bergantung oleh lamanya waktu pelaksanaan proyek. Umumnya semakin panjang durasi proyek maka semakin tinggi pula biaya total yang diperlukan.



Grafik 2 Hubungan waktu – biaya normal dan dipercepat untuk suatu kegiatan (Sumber: Soeharto, 1997)



Grafik 3 Hubungan antara waktu dengan biaya total, biaya langsung, dan biaya tak langsung (Sumber: Soeharto, 1997)

### **Biaya Denda**

Keterlambatan penyelesaian proyek akan menyebabkan kontraktor terkena sanksi berupa denda yang telah disepakati dalam

dokumen kontrak. Besarnya biaya denda umumnya dihitung sebagai berikut :

$$\text{Total denda} = \text{Total waktu akibat ketelambatan} \times \text{denda per hari akibat keterlambatan}$$

dengan :

Denda per hari akibat keterlambatan sebesar 1 ‰ (per mil) dari nilai kontrak

### Program Microsoft Project

*Microsoft Project* merupakan program bantu atau aplikasi pengolah data administrasi yang dibuat untuk melakukan sebuah perencanaan maupun pengelolaan serta pengawasan hingga laporan akhir dari jalanya suatu proyek yang dapat di control oleh program bantu ini. Pengoprasian yang mudah serta fleksibel dan mencakup semua unsur yang ada dalam proyek sehingga software ini dipilih sebagai program bantu dalam proyek.

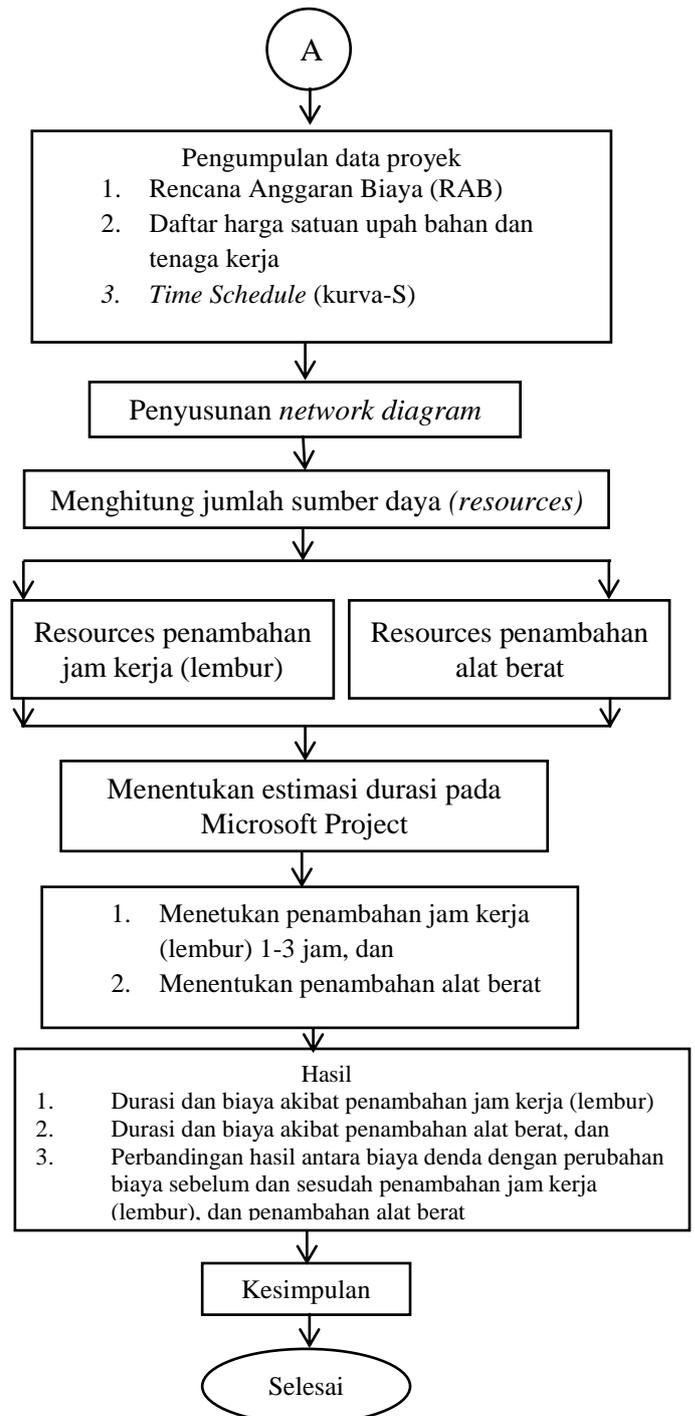
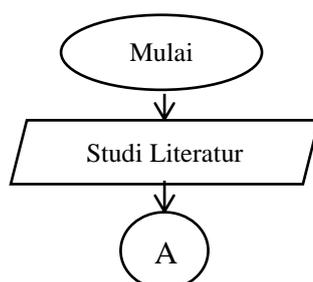
Kemudahan proses yang ada saat menggunakan program ini adalah dimana proses input *resources* maupun input *prodecesor* ini sangat mudah dan setelah dianalisis akan mendapatkan *output* yang berguna sebagai pembandingan pada perhitungan di *Microsoft Excel 2010*. Oleh sebab itu *Microsoft Project* sangat berguna bagi para penggunaannya dalam menunjang dan membantu tugas pengelolaan sebuah proyek konstruksi sehingga menghasilkan sebuah data yang akurat.

### 3. Metode Penelitian

#### Lokasi Penelitian

Penelitian kali ini berada pada proyek pembangunan jalan tol Pandaan-Malang dengan area yang saya lakukan sebagai penelitian, yaitu terdapat pada zona 3 yang meliputi STA 15+600 hingga STA 19+225 dengan panjang 3,65 km, lokasi proyek ini berada di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur.

#### Tahap dan Prosedur Penelitian



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

#### 1. Tahap Persiapan

Penulis melakukan persiapan penyusunan rencana studi literatur penelitian terlebih dahulu, sebelum melaksanakan penelitian guna mendapatkan hasil yang relevan ke-efektifan dan efisiensi seperti dan untuk memperdalam ilmu yang berkaitan dengan dengan topik penelitian

#### 2. Pengumpulan data dan informasi dari suatu pelaksanaan proyek konstruksi yang sangat

bermanfaat untuk evaluasi optimasi waktu dan biaya secara keseluruhan. Data yang digunakan yaitu data yang diperoleh langsung dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Pandaan-Malang Kab. Pasuruan, Jawa Timur. Variabel-variabel yang sangat mempengaruhi dalam pengoptimasian waktu dan biaya pelaksanaan proyek ini yaitu variable waktu dan biaya,

#### 1. Variabel waktu

Data tentang variable waktu dapat diperoleh dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Pandaan-Malang Kab. Pasuruan, Jawa Timur. Data-data yang diperlukan pada variabel waktu adalah

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

- a) Jenis Kegiatan,
- b) Persentase kegiatan,
- c) Durasi kegiatan

##### 1.2 Rekapitulasi perhitungan biaya proyek

#### 2. Variabel biaya

Semua data yang mempengaruhi variabel biaya diperoleh dari kontraktor pelaksana yaitu PT. Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk. Data-data yang diperlukan dalam variabel biaya antara lain :

##### 2.1 Daftar rencana anggaran biaya (RAB) penawaran, meliputi :

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

Dari data sekunder di atas yang meliputi Kurva S, RAB, harga satuan upah, dan jumlah pekerja kemudian akan dianalisis (Kisworo dkk., 2017).

### **Tahap Analisis Data**

Analisis data yang dilakukan dengan bantuan *software Microsoft Project* 2016. Dengan menginputkan data terkait untuk dianalisis ke dalam *software* tersebut, maka *Microsoft Project* ini nantinya akan melakukan kalkulasi perhitungan secara otomatis sesuai dengan rumus-rumus kalkulasi yang terdapat pada program ini.

Proses *input* data ke dalam program untuk perencanaan dan *update* perencanaan dengan bantuan *Microsoft Project* ini dilakukan pengujian dari semua kegiatan yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis atau kegiatan yang tidak boleh mengalami sebuah keterlambatan yang memiliki nilai *cost slope* terendah. Kemudian selanjutnya adalah membandingkan hasil analisis percepatan yang berupa perubahan biaya proyek sebelum dan sesudah penambahan jam lembur dan penambahan alat berat dengan biaya denda akibat keterlambatan proyek konstruksi.

### **Tahap Kesimpulan**

Kesimpulan disebut juga pengambilan keputusan dari sebuah hasil. Pada tahap ini, data yang telah dianalisis telah dibuat suatu kesimpulan yang berhubungan dan sesuai dengan tujuan penelitian.

## **4. Hasil dan Pembahasan**

### **Data Penelitian**

Data Proyek Pembangunan Jalan Tol Pandaan-Malang STA 15+600- 19+225 Kab. Pasuruan, Jawa Timur sebagai berikut :

Kontraktor Utama : PT Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk.

Konsultan Supervisi : PT. Virama Karya

Konsultan Pelaksana : PT. PP Presisi

Nilai Proyek : Rp 281.925.116,46,-

Waktu pelaksanaan : 698 Hari kerja

Tanggal dimulai : 16 November 2016

### **Data – Data Kegiatan Kritis**

Data kegiatan kritis ini didapat setelah dilakukan *networking* antar pekerjaan dan didapatkan item atau jenis jenis pekerjaan yang berada di lintasan kritis atau pelaksanaannya tidak boleh sampai terlambat. Daftar kegiatan – kegiatan kritis pada kondisi normal dapat dilihat pada table di bawah ini.

Tabel 1 Daftar Kegiatan Kritis

No	Uraian Pekerjaan	Durasi (hari)
1	Pembersihan Tempat Kerja	122
2	Pembongkaran Pasangan Batu atau Struktur	31
3	Galian Biasa Untuk Timbunan	90

Tabel 1 Lanjutan

No	Uraian Pekerjaan	Durasi (hari)
4	Galian Biasa Untuk Material Pengisi Median	61
5	Galian Batu Lunak Untuk Dibuang	39
6	Common Borrow Material	182
7	Penggalian Struktur Tidak lebih Dari 2 Meter	153
8	Persiapan Tanah Dasar	181
9	Lapis Pondasi Agregat A	182
10	Lapis Pondasi Agregat B	122
11	Perkerasan Beton ( single wire mesh t=30cm)	122
12	Lean Concrete (t=15)	181

### **Analisis Biaya Lembur Untuk Pekerja dan Alat Berat**

Analisis biaya lembur dapat dihitung untuk mengetahui besarnya biaya yang dikeluarkan akibat terjadinya lembur dari alat berat maupun sumber daya manusianya. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan lembur dari tenaga kerja dan alat berat sebagai berikut :

#### 1. Tenaga Kerja

Untuk *Resource Name* : Pekerja  
 Biaya normal pekerja per jam (bn) :  
 Rp. 10.000  
 Biaya lembur per jam :  
 lembur 1 jam (L1) =  $1,5 \times 10.000$   
 = Rp. 15.000

#### 2. Alat Berat

Untuk *Resource Name*: *Bulldozer*  
 Biaya normal per jam : Rp. 197.758,55  
 Biaya Operator : Rp. 21.428,57  
 Biaya Pemb.Operator : Rp. 14.285,71  
 Biaya lembur per jam :  
 lembur 1 jam (L1)  
 =  $197.758,55 + 0,5 \times (21.428,57 + 14.285,71)$   
 = Rp 215.615,69

### **Analisis Durasi Percepatan**

Dalam menganalisis durasi percepatan dari suatu item pekerjaan, hal yang harus diperhatikan adalah produktivitas normal alat berat, produktivitas lembur, kebutuhan alat per jam, serta volume dan durasi normal. Menurut Mangitung (2008), Percepatan proyek dapat di definisikan sebagai sebuah cara perubahan jadwal proyek dengan cara memperpendek

satu atau lebih kegiatan yang akibatnya akan memperpendek total waktu yang sudah ditetapkan sebelumnya (i.e. kontraktor)

Hasil observasi dan wawancara terhadap manajer proyek, keterlambatan penyelesaian proyek ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu keadaan cuaca yang tidak menentu, kerusakan alat yang mengharuskan alat diperbaiki terlebih dahulu, keadaan lapangan seperti berlumpur dan tergenang air, hingga masyarakat sekitar yang melakukan aksi demo menolak adanya kegiatan proyek dilingkungan mereka (Suherman dkk., 2016).

Produktivitas kerja lembur untuk 1 jam per hari diperhitungkan sebesar 90%, 2 jam per hari diperhitungkan sebesar 80%, dan 3 jam per hari diperhitungkan sebanyak 70% dari produktivitas normal. Penurunan nilai produktivitas tersebut akibat oleh kelelahan para pekerja, minimnya penerangan pada malam hari, serta keadaan suhu udara yang dingin. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan percepatan durasi untuk 1 jam :

Nama pekerjaan : *Common Borrow Material*  
 Volume pekerjaan: 887.819,97 m<sup>3</sup>  
 Durasi normal : 182 Hari ( dengan jam kerja 7 jam/hari )  
 Produktivitas alat

<i>Bulldozer</i>	=229,26 m <sup>3</sup> /jam
<i>Sheepfoot</i>	=249 m <sup>3</sup> /jam
<i>Vibratory Roller</i>	=66,4 m <sup>3</sup> /jam
<i>Water Tanker</i>	=177,86 m <sup>3</sup> /jam

#### Kebutuhan alat

<i>Bulldozer</i>	=3,04unit/jam
<i>Sheepfoot</i>	=2,80 unit/jam
<i>Vibratory Roller</i>	=10,50 unit/jam
<i>Water Tanker</i>	=3,92 unit/jam

#### Durasi Percepatan (Dp) :

$$Dp = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{(k \times Pa \times jk) + (\sum jl \times pp \times Pa \times k)} \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

k = kebutuhan alat (unit/jam)  
 Pa = produktivitas alat (m<sup>3</sup>/jam)  
 jk = jam kerja (jam/hari)  
 jl = jam lembur (jam/hari)  
 pp = penurunan produktivitas

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

$$Dp \text{ 1 jam} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{(k \times Pa \times jk) + (\sum jl \times pp \times Pa \times k)}$$

$$= \frac{887,819.97 \text{ m}^3}{(3.04 \times 229.26 \times 7) + (1 \times 0.9 \times 229.26 \times 3.04)}$$

$$= 161.27 \text{ hari}$$

#### Maksimal *Crashing*

$$= \text{Durasi normal} - \text{Durasi percepatan}$$

$$= 182 \text{ Hari} - 161,27 \text{ Hari}$$

$$= 20,73 \text{ Hari}$$

Hasil dari kebutuhan *resources* (perjam) akan di inputkan kedalam *Microsoft Project 2016* yang pada akhirnya akan digunakan sebagai angka pembanding *Microsoft Project 2016*.

Tabel 2 Hasil analisis durasi setelah dilakukan lembur 1 - 3 jam

Kegiatan	Durasi			
	Normal	Ovt 1 jam	Ovt2 jam	Ovt 3 jam
Pembersihan Tempat Kerja	122	108,10	98,16	90,85
Pembongkaran Pasangan Batu atau Struktur	31	27,47	24,94	23,09
Galian Biasa Untuk Timbunan	90	79,75	72,41	67,02
Galian Biasa Untuk Material Pengisi Median	61	54,05	49,08	45,43
Galian Batu Lunak Untuk Dibuang	39	34,56	31,38	29,04
Common Borrow Material	182	161,27	146,44	135,53
Penggalian Struktur Tidak lebih Dari 2 Meter	153	135,57	123,10	113,94
Persiapan Tanah Dasar	181	160,38	145,63	134,79
Lapis Pondasi Agregat A	182	161,27	146,44	135,53
Lapis Pondasi Agregat B	122	108,10	98,16	90,85
Perkerasan Beton (single wire mesh 30cm)	122	108,10	98,16	90,85
Lean Concrete (t=15)	181	160,38	145,63	134,79

#### Analisis Biaya Percepatan

Biaya percepatan merupakan biaya yang dihasilkan akibat adanya durasi percepatan yang disebabkan oleh lembur 1 – 3 jam dalam sehari. Untuk kegiatan-kegiatan kritis yang akan dihitung biaya percepatannya berdasarkan penambahan jam lembur dan durasi percepatan, menggunakan *Microsoft Project 2016* dan dikontrol dengan *Microsoft Excel 2010*. Berikut salah satu contoh perhitungannya :

#### Kondisi Normal

Nama pekerjaan: *Common Borrow Material*  
 Volume pekerjaan: 887.819,97 m<sup>3</sup>  
 Durasi pekerjaan : 182 Hari  
 Biaya total *resource* harian (Btrh) :

$$Btrh = \sum Brh$$

$$= (\text{Pekerja} + \text{Mandor} + \text{Bulldozer} + \text{SheepFoot} + \text{VibroRoller} + \text{Water Tanker})$$

$$= 882.700 + 665.000 + 4.208.311,52 + 2.270.777 + 8.479.073 + 3.569.773$$

$$= \text{Rp. } 20.075.625 / \text{hari}$$

Analisa perhitungan biaya material atau bahan sebagai berikut :

$$\text{Biaya total resource} = \text{Harga satuan} \times \text{volume}$$

$$\text{Bahan Timbunan} = \text{Rp } 84.000 \times 887.819,97 \text{ m}^3$$

$$= \text{Rp } 74.575.564.700$$

Biaya total *resource* (Btr) :

$$Btr = (\text{Btrh} \times \text{durasi}) + \text{Bahan Timbunan}$$

$$= (\text{Rp. } 20.075.675,48 / \text{hari} \times 182 \text{ hari}) + \text{Rp. } 74.575.564.700$$

$$= \text{Rp. } 78.222.276.416$$

Tabel 3 Hasil analisis biaya akibat percepatan 1 Jam

Uraian Pekerjaan	Biaya Normal (Rp)	Biaya Percepatan (Rp)
Pembersihan Tempat Kerja	1.428.155.020	1.466.069.196
Pembongkaran Pasangan Batu atau Struktur	1.085.605.521	1.117.118.334
Galian Biasa Untuk Timbunan	7.308.284.192	7.524.217.058
Galian Biasa Untuk Material Pengisi Median	64.573.914	66.140.743
Galian Batu Lunak Untuk Dibuang	2.693.778.771	2.767.503.714
Common Borrow Material	78.222.276.416	78.351.750.202
Penggalian Struktur Tidak lebih Dari 2 Meter	108.685.527	111.796.400
Persiapan Tanah Dasar	1.876.323.723	1.970.160.128
Lapis Pondasi Agregat A	12.754.414.771	12.758.607.482
Lapis Pondasi Agregat B	3.564.768.484	3.609.128.097
Beton(Single Wire Mesh t=30cm)	665.867.177	700.434.665
Lean Concrete (t=15)	28.060.557.690	28.880.332.782

*Cost Slope* merupakan biaya perhari dari selisih biaya normal dengan biaya percepatan dan selisih durasi normal dengan durasi percepatan. Dibawah ini adalah contoh perhitungan *cost slope* dari item pekerjaan yang kritis adalah sebagai berikut :

Nama pekerjaan : Common Borrow Material

*Cost variance* :

Lembur 1 jam = Rp 129.473.786  
 Lembur 2 jam = Rp 340.545.823

Lembur 3 jam = Rp 560.353.785  
*Duration variance* :  
 Lembur 1 jam = 20,73 hari  
 Lembur 2 jam = 35,56 hari  
 Lembur 3 jam = 46,47 hari  
*Cost slope* :  
 Lembur 1 jam = *Cost variance / Duration variance*  
 = Rp129.473.786 / 20,73hari  
 = Rp 6.244.462

$y = -0,95 - 4,8888(\ln(x1 - 0,21) - \ln(x2)) + \varepsilon$   
 dengan :  
 $x1$  = Nilai total proyek  
 $x2$  = Durasi proyek  
 $\varepsilon$  = *random error*  
 $y$  = Prosentase biaya tak langsung  
 sehingga biaya tidak langsung dari proyek adalah sebagai berikut :  
 $x1$  = Rp. 281,924,630,435  
 $x2$  = 698 hari  
 $\varepsilon$  = *random error*

Tabel 4 Hasil *cost slope* pada dengan waktu 1 jam

No	Uraian Pekerjaan	Cost Slope (Rp. /hari)
1	Pembersihan Tempat Kerja	2.727.886
2	Penggalian Struktur Tidak lebih Dari 2 Meter	178.474
3	Lapis Pondasi Agregat A	202.212
4	Galian Biasa Untuk Material Pengisi Median	225.463
5	Perkerasan Beton ( single wire mesh t=30cm)	2.487.096
6	Lapis Pondasi Agregat B	3.191.629
7	Persiapan Tanah Dasar	4.550.691
8	Common Borrow Material	6.244.462
9	Pembongkaran Pasangan Batu atau Struktur	8.922.982
10	Galian Batu Lunak Untuk Dibuang	16.593.363
11	Galian Biasa Untuk Timbunan	21.060.118
12	Lean Concrete (t=15)	39.755.820

$$y = -0,95 - 4,888(\ln(281,924,630,435 - 0,21) - \ln(112)) + \varepsilon$$

$$y = 3,48 \%$$

Biaya tidak langsung  
 =  $y \times x1$   
 = 3,48 %  $\times$  Rp. 281.924.630.435  
 = Rp. 9.825.079.352

#### Analisis Biaya Langsung

Untuk menentukan biaya langsung terhadap total durasi proyek dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

Biaya langsung  
 = Nilai total proyek – biaya tidak langsung  
 = Rp. 281.924.630.435 – Rp. 9.852.079.352  
 = **Rp. 272.099.551.082**

#### Analisi Biaya Tidak Langsung

Analisis biaya disini yang dimaksud adalah analisis biaya tidak langsung, analisis biaya langsung, dan total biaya. Dalam menentukan analisis biaya-biaya tersebut, hal yang harus dilakukan yaitu :

Parameter yang digunakan untuk estimasi menentukan biaya tak langsung berdasarkan persamaan diatas adalah sebagai berikut :

- Semakin besar nilai proyek maka rasio biaya tak langsung semakin kecil
- Semakin panjang durasi waktu pelaksanaan proyek maka nilai rasio terhadap biaya tak langsung yang dikeluarkan menjadi besar.

Penentuan biaya tidak langsung berdasarkan hasil dari penelitian oleh Jayadewa (2016). Berdasarkan persamaan sebagai berikut :

#### Analisis Biaya Total

Dalam menentukan total biaya terhadap total durasi proyek dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

Total biaya  
 = biaya langsung + biaya tidak langsung  
 = Rp. 272.099.551.082 + Rp. 9.825.079.352  
 = **Rp. 281.924.630.435**

#### Analisis Penambahan Tenaga Kerja dan Alat Berat

Dibawah ini merupakan contoh perhitungan salah satu item pekerjaan, perubahan biaya percepatan akibat penambahan tenaga kerja dan alat berat.

Nama pekerjaan : *Common Borrow Material*  
 Volume pekerjaan : 887.819,97 m<sup>3</sup>  
 Durasi pekerjaan : 161,27Hari (dengan jam kerja 7 jam/hari )

Kebutuhan *resource* (kr):

Pekerja	= 13.72 orang/jam
Mandor	= 3.43 orang/jam
Bahan Timbunan	= 1,065,384 m <sup>3</sup>
<i>Bulldozer</i>	= 3.43 unit/jam
<i>SheepFoot</i>	= 3.16 unit/jam
<i>Vibro Roller</i>	= 11.84 unit/jam
<i>Water Tank Truck</i>	= 4.42 unit/jam

Biaya *resource* (Brj) :

Pekerja	= Rp 10,000 /jam
Mandor	= Rp 31,250 /jam
Bahan Timbunan	= Rp 70,000 /m <sup>3</sup>
<i>Bulldozer</i>	= Rp 197,759 /jam
<i>Sheepfoot</i>	= Rp 115,856 /jam
<i>Vibro Roller</i>	= Rp 115,362 /jam
<i>Water Tank Truck</i>	= Rp 130,094 /jam

Biaya *resource* perhari (Brh) :

$$\text{Brh} = \text{jK} \times \text{Kr} \times \text{Brj}$$

Sehingga,

Brh Pekerja	= 7 × 13.72 × 10.000 = Rp.960.400/ hari
Brh Mandor	= 7 × 3.43 × 31.250 = Rp. 750.312 / hari
Brh <i>Bulldozer</i>	= 7 × 3.43 × 197.759 = Rp.4.748.193 / hari
Brh <i>Sheepfoot</i>	= 7 × 3.16 × 115,856 = Rp. 2.562.734 / hari
Brh <i>Vibro Roller</i>	= 7 × 11.84 × 115,362 = Rp. 9.561.202 / hari
Brh <i>Water Tank</i>	= 7 × 3.42 × 130,094 = Rp. 4.025.108 /hari

Biaya total *resource* harian(Btrh):

$$\begin{aligned} \text{Btrh} &= \sum \text{Brh} \\ &= (\text{Pekerja} + \text{Mandor} + \text{Bulldozer} + \\ &\text{Sheepfoot} + \text{Vibro Roller} + \text{Water tank}) \\ &= 960.400 + 750.312 + 4.748.193 \\ &\quad + 2.562.734 + 9.561.202 + 4.025.108 \\ &= \text{Rp. 22.607.951 / hari} \end{aligned}$$

Analisa perhitungan biaya material atau bahan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Biaya total resource} &= \text{Harga satuan} \times \text{volume} \\ \text{Bahan Timbunan} &= \text{Rp } 70.000 \times 1.065.384 \text{ m}^3 \\ &= \text{Rp } 74.576.877 \end{aligned}$$

Biaya total *resource* (Btr) :

$$\begin{aligned} \text{Btr} &= (\text{Btrh} \times \text{durasi}) + \text{Bahan Timbunan} \\ &= (\text{Rp. 22.607.951 / hari} \times 161.27 \text{ hari}) \\ &\quad + \text{Rp. 74.576.877} \\ &= \text{Rp. 78.222.767.249} \end{aligned}$$

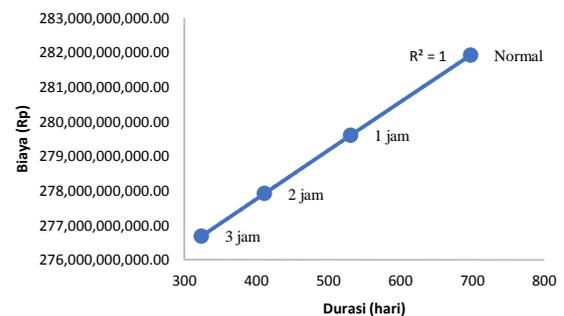
### Analisa Perbandingan Antara Penambahan Jam lembur dan Penambahan Alat Berat

Berdasarkan penerapan metode *Duration cost trade off* antara penambahan jam kerja atau waktu lembur selama 1-3 jam dengan penambahan alat berat dan tenaga kerja didapatkan perbedaan-perbedaan dari keduanya yaitu sebagai berikut

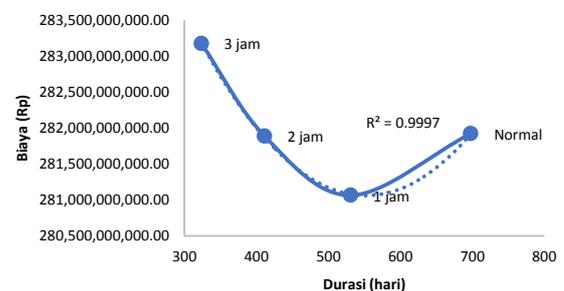
Tabel 5 Perbandingan biaya penambahan jam lembur dengan biaya penambahan alat

Ovt Alat	Durasi	Biaya Penambahan jam Lembur	Biaya Penambahan Tenaga/Alat
Normal	698	281.924.630.435	281.924.630.435
1	530.99	281.063.720.352	279.602.275.741
2	411.54	281.887.203.422	277.918.099.995
3	323.70	283.175.920.941	276.682.950.257

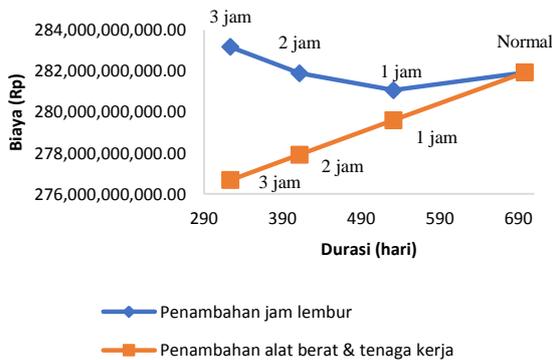
Kemudian di dapatkan perbandingan biaya normal dengan penambahan alat dan tenaga kerja seperti di bawah ini :



Grafik 4 Perbandingan biaya normal dengan biaya penambahan alat



Grafik 5 Perbandingan biaya normal dengan biaya penambahan jam kerja.



Grafik 6 Perbandingan biaya normal dengan biaya penambahan alat dan tenaga kerja dan penambahan jam lembur

Dari Grafik diatas menunjukkan penambahan lembur 1 jam jika dibandingkan dengan penambahan alat berat 1 yang lebih efektif adalah dengan penambahan lembur 1 jam. Untuk selanjutnya pada penambahan jam lembur 2 jam jika di bandingkan dengan penambahan alat 2 yang lebih efektif adalah dengan menambah jam lembur karena dari segi durasi dan biaya lebih cepat dan murah. Pada penambahan jam lembur 3 jam jika di bandingkan dengan penambahan alat berat 3 yang lebih efektif dengan menambah alat berat di bandingkan dengan menambah jam lembur jika di lihat dari durasi dan biayanya.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan data serta hasil dari analisis dan penambahan yang dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Pandaan-Malang Kab. Pasuruan, Jawa Timur pada STA 15+600 hingga STA 19+225 dengan panjang sekitar 3,65 km di dapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Waktu dan biaya proyek pada kondisi normal dengan durasi 698 hari dengan biaya sebesar Rp.281.924.630.435,00
2. Setelah dilakukan penambahan jam kerja lembur selama 1 jam didapatkan durasi *crashing* sebesar 530,99 hari dengan biaya total yaitu sebesar Rp.281.063.720.352,30, selanjutnya untuk penambahan jam kerja lembur selama 2 jam didapatkan durasi *crashing* sebesar 411,54 hari dengan biaya sebesar Rp.281.887.203.422,08, kemudian pada penambahan jam kerja lembur selama 3 jam didapatkan durasi *crashing* sebesar 323 hari dengan biaya sebesar Rp.283.175.920.941,69.

3. Pada penambahan alat berat yang durasinya sama seperti penambahan jam kerja yaitu untuk durasi jam kerja lembur selama 1 jam didapatkan durasi *crashing* sebesar 530,99 hari dengan biaya sebesar Rp.279.602.275.741,61, selanjutnya untuk penambahan alat berat dengan jam kerja lembur selama 2 jam didapatkan durasi *crashing* sebesar 411,54 hari dengan biaya sebesar Rp.277.918.099.995,31, kemudian pada penambahan alat berat dengan jam kerja lembur selama 3 jam didapatkan durasi *crashing* sebesar 323 hari dengan biaya sebesar Rp.276.682.950.257,64.
4. Percepatan dengan penambahan alat lebih efisien dan lebih murah jika dibandingkan dengan penambahan jam kerja lembur dan juga lebih murah jika dibandingkan dengan biaya yang harus dikeluarkan apabila proyek tersebut mengalami keterlambatan pelaksanaan yang akan di kenakan denda.

## 6. Daftar Pustaka

- Andhita, A., dan Dani, H., 2017, *Analisis Pemampatan Waktu Terhadap Biaya pada Pembangunan My Tower Hotel & Apartemen Project dengan Menggunakan Metode Time Cost Trade Off (TCTO)*, Jurnal Rekayasa Teknik Sipil, Vol.3, pp, 47-55.
- Arviyanto, R., Handayani, F., dan Setiono, S., 2017, *Optimasi Biaya dan Waktu dengan Metode Time Cost Trade Off (TCTO) (Studi Kasus Proyek Bangunan Rawat Inap Kelas II dan Parkir RSUD Dr. Moewardi Surakarta)*, Jurnal Matriks Teknik Sipil, Vol.5, pp.69-74.
- Badri, S., 1997, *Dasar - Dasar Network Planning, Indonesia* : Rineka Cipta.
- Ervianto, W.I., 2008, *Pengukuran Produktivitas Kelompok Pekerja Bangunan Dalam Proyek Konstruksi (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung di Surakarta)*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 9, pp, 31-42
- Frederika, A., 2010, *Analisa Percepatan Pelaksanaan dengan Menambah Jam Kerja Optimum pada Proyek*

- Konstruksi*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, vol.14, pp, 113-126.
- Izzah, N., 2017, *Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya Menggunakan Metode Time Cost Trade Off (TCTO) pada Proyek Pembangunan Perumahan di PT. X*, Jurnal Rekayasa Teknik Sipil, Vol. 10, pp. 51-58.
- Jayadewa, O. F., 2016, Permodelan Biaya Tak Langsung Proyek Konstruksi di PT Wijaya Karya, Tugas Akhir, Jurusan Statistika, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor KEP.102/MEN/VI/2004. Tentang Waktu Lembur dan Upah Kerja Lembur
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor KEP.11/PRT/M/2013. Tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum
- Kisworo, R.W., Handayani, F.S., Sunarmasto., 2017, *Analisis Percepatan Proyek Menggunakan Metode Time Cost Trade Off Dengan Penambahan Jam Kerja Lembur Dan Jumlah Alat*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 5, pp, 766-776.
- Mangitung, D. M., 2008, *Analisis Dampak Percepatan Jadwal Proyek Terhadap Biaya Konstruksi dengan Teknik Statistika Non Parametrik*, Jurnal Teknik Sipil, Vol.6, pp. 71-79
- Pamungkas, R. T. dan Hidayat, R. T. 2011 *Analisis Time Cost Trade Off pada Proyek Konstruksi (The Analysis of Time Cost Trade Off on Construction Project)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Pasaribu, C., Tjakra, J., dan Arsjad, T. T., 2015, *Pengaruh Penambahan Jam Kerja Terhadap Durasi Pelaksanaan (Studi Kasus Pembangunan Perumahan Puri Kelapa Gading)*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 3, pp. 554-561.
- 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, Vol. 18, pp. 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.
- Sudarsana, D.K., 2008, *Pengendalian Biaya dan Jadwal Terpadu Pada Proyek Konstruksi*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 12, pp. 117-125.
- Suherman., Hariono, Q.P., 2016, *Optimasi Waktu Dan Biaya Menggunakan Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Access Road Construction and Soil Clean Up*, Jurnal Teknik Industri, Vol. 2, pp, 199-200.
- 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
- Wibowo, D.W., 2016, *Analisis Biaya dan Waktu Proyek Konstruksi dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Dibandingkan dengan Penambahan Tenaga Kerja Menggunakan Metode Time Cost Trade Off. Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta : Yogyakarta