

Studi Optimasi Waktu dan Biaya menggunakan Metode *Time Cost Trade Off* pada Proyek Gedung Laboratorim Terpadu Fakultas Teknik

Studi of Time and Cost Optimazitaion Method Using Time Cost Trade Off on Integrated Engineering Faculty Laboratory Building

Gilang Zainul Irfan, Mandiyo Priyo

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Optimasi biaya dan waktu sangat penting bagi kegiatan konstruksi. Hal ini digunakan sebagai perencanaan untuk mendapatkan biaya dan waktu yang terbaik sehingga proyek mendapatkan keuntungan yang optimal. Untuk mencapai keuntungan tersebut maka dilakukan langkah-langkah untuk mencapai optimasi biaya dan waktu seperti pembuatan jaringan kerja proyek, mencari lintasan kritis, menghitung durasi proyek dan mengetahui jumlah sumber daya. Ada beberapa cara mencapai optimasi biaya pada kegiatan proyek, seperti penambahan jam kerja (lembur), penambahan tenaga kerja dan penambahan alat berat (bagi proyek yang menggunakan alat berat). Dari masing-masing alternatif tersebut akan mendapatkan hasil berupa percepatan durasi yang sama akan tetapi biaya yang dihasilkan akan berbeda. Pada penelitian proyek pembangunan berupa gedung menggunakan metode *time cost trade off* dengan dua alternatif perhitungan yaitu dengan penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja. Dari analisis yang dilakukan hasil paling optimal didapatkan dengan penambahan tenaga kerja setara dengan 3 jam lembur yaitu Rp.2.425.905.797,13 dari biaya normal Rp.2.720.384.705,00 dengan durasi percepatan menjadi 62,93 hari dari durasi normal 147 hari.

Kata kunci : biaya, waktu, penambahan jam kerja (lembur), penambahan tenaga kerja, *time cost trade off*.

Abstract. The optimization of costs and time is very important to construction activities. It is used as a planning to get the best cost and time so that the optimal benefit of the project. To achieve the advantage then do steps to reach cost and time optimization such as making network project, find the critical path, calculate the duration of the project and know the amount of resources. There are several ways of achieving cost optimization in project activities, such as the addition of working hours (overtime), the addition of labor and the addition of heavy equipment (for projects that use heavy equipment). From each of these alternatives will get the results in the form of an acceleration of the same duration but the resulting costs will be different. On the research of development projects in the form of building method using *time-cost trade off* with two alternative calculation with addition of working hours (overtime) and additions to the labor. From the analysis conducted most optimal results are obtained with the addition of a workforce equivalent to 3 hours of overtime that is Rp.2.425.905.797,00 of the normal cost of Rp.2.720.384.705,00 with a duration of the acceleration becomes 62,93 days from a normal duration is 147 days.

Keywords : cost, time, the addition of working hours (overtime), the addition of labor, *time cost trade off*.

1. Pendahuluan

Dalam proyek konstruksi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan proyek yaitu waktu dan biaya. Parameter keberhasilan suatu proyek konstruksi dapat dilihat dari waktu penyelesaian pekerjaan, biaya yang dikeluarkan, dan mutu proyek. Semakin besar suatu proyek konstruksi, maka masalah yang dihadapi juga semakin besar, akan tetapi jika pelaksanaan proyek dikelola dengan baik dan tepat

sesuai dengan rencana atau bahkan lebih cepat dapat memberikan keuntungan dari segi biaya pelaksanaan. Selain itu, dengan memperhatikan waktu pelaksanaan maka proyek secara langsung terhindar dari biaya denda keterlambatan penyelesaian proyek.

Pada kegiatan proyek konstruksi optimasi waktu dan biaya merupakan hal yang sangat penting untuk mendapatkan waktu dan biaya yang

efisien, sehingga mendapatkan keuntungan yang maksimal untuk suatu proyek. Untuk memperoleh hal tersebut yang harus dilakukan adalah membuat jaringan proyek (*network*), mencari kegiatan-kegiatan yang kritis serta menghitung durasi proyek dan mengetahui jumlah sumber daya (*resources*).

Pada penelitian ini membahas perihal optimasi waktu dan biaya pada pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik dengan menggunakan metode penambahan jam kerja (lembur) dan menentukan perubahan biaya proyek setelah dilakukan penambahan jam kerja, kemudian membandingkannya dengan penambahan tenaga kerja, selanjutnya perbandingan biaya denda dengan perubahan biaya sebelum dan sesudah penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja menggunakan perangkat lunak *Microsoft Project* 2010.

1. Dasar Teori

Proyek Konstruksi

Menurut Aditya Dei dkk. (2017) Proyek konstruksi merupakan kebutuhan dari pihak *owner* yang kemudian diteruskan kepada konsultan, kontraktor, sub kontraktor, *supplier*, dan *labour* yang saling berkaitan dalam suatu rangkaian proses konstruksi.

Manajemen Proyek

Menurut Rosanti dkk. (2016) Manajemen proyek memiliki beberapa aspek, yaitu :

1. Pengelolaan lingkup kerja.
2. Manajemen waktu.
3. Manajemen biaya.
4. Manajemen kualitas dan sebagainya.

Setiap aspek tersebut memiliki kendalanya masing-masing. Proses yang efektif untuk perencanaan, organisasi, pelaksanaan dan pengendalian suatu proyek dengan sumber daya yang tersedia secara efektif untuk mencapai suatu tujuan yang efektif (Ningrum dkk., 2017).

Manajemen konstruksi adalah merencanakan, mengorganisir, memimpin dan mengendalikan sumber daya dengan cara menggunakan sistem dan arus kegiatan

perusahaan untuk mempersingkat waktu yang telah ditentukan (Soeharto, 1999).

Network Planning

Network planning adalah gambaran kejadian dan kegiatan yang diharapkan akan terjadi dengan kaitan yang logis dan berhubungan antara sebuah kejadian atau kegiatan dengan yang lainnya (Anggraeni dkk., 2017). Dengan adanya *network*, manajemen dapat menyusun perencanaan penyelesaian proyek dengan waktu dan biaya yang paling efisien.

Jaringan kerja adalah suatu alat atau panduan yang digunakan untuk merencanakan, menjadwalkan, dan mengawasi kemajuan dari suatu proyek (Bangun dkk., 2016). Jaringan kerja menggambarkan beberapa hal seperti berikut :

1. Kegiatan-kegiatan proyek yang harus dilaksanakan
2. Urutan kegiatan yang harus logis
3. Ketergantungan antara kegiatan
4. Waktu kegiatan melalui kegiatan kritis

Biaya Total

Pada dasarnya biaya proyek terdiri dari biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). Menurut Simatupang (2015), Biaya langsung merupakan biaya yang diperlukan langsung untuk mendapatkan sumber daya yang akan dipergunakan untuk penyelesaian proyek. Ketika durasi proyek ditentukan/dipercepat, biaya langsung akan lebih tinggi dibanding durasi proyek yang dikembangkan dari waktu normal ideal untuk aktivitas. Unsur-unsur yang termasuk dalam biaya langsung yaitu: biaya material/bahan, biaya upah pekerja, biaya alat, dan biaya sub kontraktor.

Menurut Yoni dkk., (2013) Biaya tidak langsung merupakan semua biaya proyek yang tidak secara langsung berhubungan dengan konstruksi di lapangan tetapi biaya ini harus ada dan tidak dapat dilepaskan dari proyek tersebut. Biaya-biaya yang termasuk dalam biaya tidak langsung yaitu biaya *overhead* (biaya konsultan, gaji staf, fasilitas di lokasi proyek, pajak, peralatan konstruksi).

Soemardi dan Kusumawardani (2010) menentukan biaya tidak langsung berdasarkan hasil dari studi praktik estimasi biaya tidak langsung pada proyek konstruksi berdasarkan persamaan sebagai berikut.

$$y = -0,95 - 4,888(\ln(x_1 - 0,21) - \ln(x_2)) + \varepsilon$$

dengan:

- x_1 = nilai total proyek,
- x_2 = durasi proyek,
- ε = *random error*, dan
- y = prosentase biaya tidak langsung

Metode pertukaran waktu dan biaya (*time cost trade off*)

Dalam perencanaan proyek, variabel biaya (*cost*) mempunyai peranan yang sangat penting. Biaya merupakan salah satu aspek penting dalam manajemen, oleh karena itu biaya yang ada harus dikendalikan seminimal mungkin dengan memperhatikan faktor waktu, karena waktu dan biaya saling berhubungan erat. Dalam setiap proyek biasanya sering terjadi dimana proyek harus selesai lebih cepat dibandingkan dengan waktu normalnya. Hal ini menyebabkan pekerjaan proyek harus selesai dalam waktu yang cepat dengan biaya seminimal mungkin. Oleh sebab itu perlu dipelajari terlebih dahulu bagaimana hubungan antara waktu dan biaya. Analisis mengenai pertukaran waktu dan biaya disebut *duration cost trade off*. Analisa *duration cost trade off* merupakan analisa yang mengubah waktu serta biaya dari suatu proyek. Jika waktu pelaksanaan dipercepat maka biaya langsung proyek akan bertambah dan biaya tidak langsung proyek akan berkurang.

Program Microsoft Project

Dalam penelitian Wowor (2013) menyatakan bahwa *Microsoft Project* adalah salah satu bagian dari *Microsoft Office Professional* yang mampu mengolah data mengenai kegiatan proyek konstruksi.

Adapun jenis metode manajemen proyek yang dikenal saat ini antara lain CPM (*Critical Path Method*), PERT (*Program Evaluation Review Technique*), dan *Gantt Chart*. *Microsoft Project* adalah penggabungan dari ketiganya. *Microsoft Project* juga merupakan sistem perencanaan yang dapat membantu penyusunan jadwal (*scheduling*) untuk suatu proyek atau rangkaian pekerjaan.

Microsoft Project juga membantu melakukan pencatatan dan pemantauan terhadap pengguna sumber daya (*resource*), baik yang berupa sumber daya manusia maupun berupa peralatan

Produktivitas Pekerja

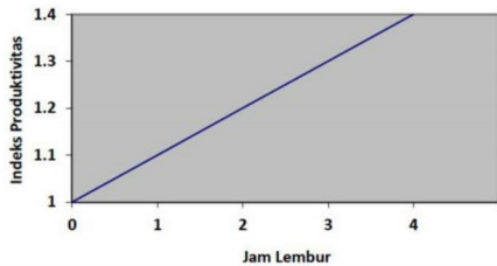
Menurut Priyo dan Aulia (2015) Produktivitas yaitu rasio antara *input* dan *output*, dalam arti lain adalah sebagai rasio antara hasil produksi dengan total sumber daya yang digunakan. Rasio produktivitas itu sendiri adalah nilai yang diukur selama proses konstruksi yang dapat dipisah jadi biaya tenaga kerja, biaya material, alat dan metode. Sebuah proyek konstruksi akan dikatakan berhasil salah satunya tergantung pada efektivitas pengelolaan sumber dayanya.

Upah yang diberikan tergantung pada kecakapan pekerja masing-masing karena setiap pekerja mempunyai karakter berbeda-beda satu sama lain

Pelaksanaan Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek yaitu dengan menambah jam kerja (lembur). Penambahan jam kerja (lembur) sering dilakukan karena bisa memberdayakan sumber daya yang sudah ada di lapangan, cukup dengan mengefisienkan tambahan biaya yang akan dikeluarkan kontraktor. Jam kerja normal pada proyek ini adalah 9 jam, dari pukul 07.00 sampai 17.00 WIB dengan jam istirahat pukul 12.00 sampai 13.00 WIB. Untuk jam kerja (lembur) dilaksanakan setelah jam normal selesai.

Menurut Priyo dan Sumanto (2016) Untuk penambahan jam kerja (lembur) bisa dilakukan dengan penambahan 1 sampai 3 jam sesuai dengan waktu yang diinginkan. Penambahan jam kerja (lembur) dapat menurunkan produktivitas. Semakin besar penambahan jam kerja (lembur) maka nilai indeks produktivitas bertambah dan prestasi kerja menurun. Indikasi dari penurunan produktivitas pekerja terhadap penambahan jam kerja (lembur) pada gambar berikut.



Gambar 1 Grafik indikasi penurunan produktivitas akibat penambahan jam kerja (Soeharto, 1997)

Dari uraian di atas dapat ditulis sebagai berikut:

1. Produktivitas harian

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

2. Produktivitas tiap jam

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

3. Produktivitas harian sesudah *crash*
 = (Jam kerja perhari × Produktivitas tiap jam) + (a × b × Produktivitas tiap jam)

Dengan :

a = lama penambahan jam lembur
 b = koefisien penurunan produktivitas akibat penambahan jam lembur.

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*

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

5. *Cost Slope*

$$= \frac{\text{Crash cost} - \text{biaya normal}}{\text{durasi normal} - \text{durasi crash}}$$

Pelaksanaan Penambahan Tenaga Kerja

Pada tahap ini penambahan tenaga kerja harus diperhatikan agar tidak mengganggu pekerjaan lain. Perhitungan untuk penambahan tenaga kerja dapat dilakukan seperti berikut

1. Jumlah tenaga kerja normal

$$= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi normal}}$$

2. Jumlah tenaga kerja dipercepat

$$= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi dipercepat}}$$

Biaya Tambahan Pekerja (*Crash Cost*)

Penambahan waktu kerja akan menambah besar biaya untuk tenaga kerja dari biaya normal tenaga kerja. 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

$$= \text{Produktivitas harian} \times \text{Harga satuan upah pekerja}$$

2. Normal ongkos pekerja perjam

$$= \text{Produktivitas perjam} \times \text{Harga satuan upah pekerja}$$

3. Biaya lembur pekerja

$$= 1,5 \times \text{upah perjam normal untuk penambahan jam kerja (lembur) pertama} + (2 \times n \times \text{upah perjam normal untuk penambahan jam kerja (lembur)})$$

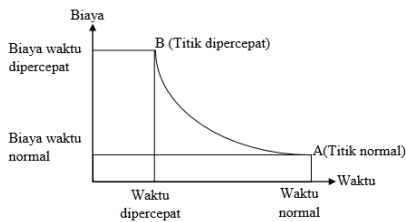
Dengan: n = jumlah penambahan jam kerja (lembur)

4. *Crash cost* pekerja perhari

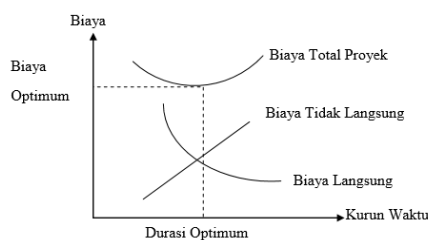
$$= (\text{Jam kerja perhari} \times \text{Normal cost pekerja}) + (n \times \text{Biaya lembur perjam})$$

Biaya Total Proyek

Biaya total proyek sama dengan penjumlahan dari biaya langsung dan biaya tidak langsung. Total biaya proyek sendiri sangat bergantung dari penyelesaian suatu proyek. Hubungan antara biaya dengan waktu bisa dilihat pada gambar 2. Titik A pada gambar menunjukkan kondisi normal, sedangkan untuk titik B pada gambar menunjukkan kondisi dipercepat. Garis yang menghubungkan antar titik tersebut dinamakan dengan kurva waktu dan biaya. Gambar 3 menjelaskan bahwa semakin besar penambahan jam kerja (lembur) maka akan semakin cepat pula waktu penyelesaian proyek. Tetapi konsekuensinya mengakibatkan biaya tambahan yang harus dikeluarkan akan semakin besar. Gambar 3 menunjukkan hubungan biaya langsung, biaya tidak langsung dan biaya total dalam grafik, dan terlihat bahwa biaya optimum dapat diperoleh dengan mencari hasil total biaya proyek yang paling kecil.



Gambar 2 Grafik hubungan waktu dan biaya pada kondisi normal dan dipercepat untuk suatu kegiatan (Soeharto,1997)



Gambar 3 Grafik hubungan waktu dengan biaya langsung, biaya tidak langsung dan biaya total (Soeharto,1997)

Biaya Denda

Keterlambatan penyelesaian suatu proyek akan menyebabkan kontraktor terkena

sanksi/hukuman berupa denda yang telah disetujui dalam dokumen kontrak. Denda perhari karena keterlambatan proyek sebesar 1 % (per mil) dari nilai kontrak. Biaya denda tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

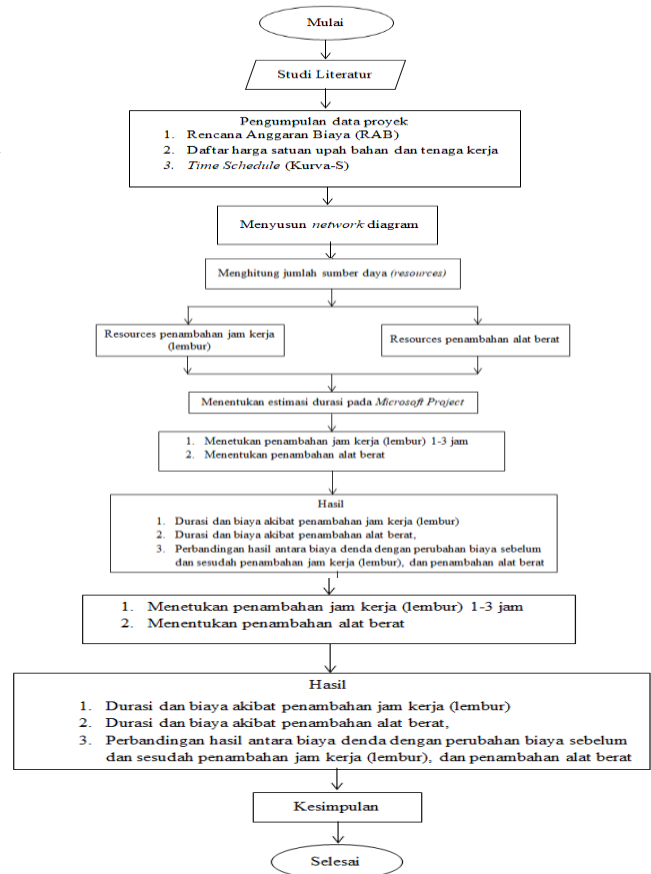
$$\text{Total denda} = \text{Total waktu keterlambatan} \times \text{Denda perhari keterlambatan}$$

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik.

Tahapan Penelitian



Tahap 1 : Persiapan

Sebelum dilakukannya penelitian perlu dilakukan studi literatur mengenai topik penelitian. Kemudian menentukan rumusan masalah sampai dengan persiapan data-data yang nantinya akan diperlukan.

Tahap 2 : Pengumpulan Data

Ada dua variabel yang mempengaruhi pada optimasi waktu dan biaya ini yaitu variabel waktu dan variabel biaya.

1. Variabel Waktu

Data yang dibutuhkan pada variabel waktu yaitu:

- a. Data *time schedule* (kurva-S), meliputi:
 - Kegiatan pekerjaan
 - Durasi kegiatan

2. Variabel Biaya

Data yang dibutuhkan pada variabel biaya yaitu:

- a. Rencana anggaran biaya (RAB), meliputi:
 - Detail biaya pekerjaan
 - Daftar harga upah dan bahan
 - Analisa harga satuan pekerjaan

Tahap 3 : Analisis dan Pembahasan

Analisis data dilakukan menggunakan program bantuan perangkat lunak *microsoft project 2010* dan *microsoft excel* dengan cara menginput data-data perencanaan. Selanjutnya dilakukan analisa lebih lanjut yang difokuskan pada kegiatan-kegiatan kritis yang nantinya akan dilakukan analisis percepatan sehingga mendapatkan hasil berupa biaya dan waktu yang optimal. Setelah mendapatkan semua hasil maka dapat dibandingkan hasil analisis sebelum percepatan dan setelah percepatan dilakukan.

Tahap 4 : Kesimpulan

Tahap terakhir penelitian ini adalah kesimpulan yang merupakan tahap pengambilan keputusan dari analisis yang telah dilakukan sebelumnya untuk memutuskan hasil yang paling optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

Data Penelitian

Data umum proyek pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik :

Pemilik proyek : A
 Konsultan Supervisi : PT. B
 Kontraktor : PT. C

Anggaran : Rp. 2.720.384.705,00
 Waktu Pelaksanaan : 147 hari
 Tanggal dimulai : 2 Juli 2018
 Tanggal selesai : 23 November 2018

Data – Data Kegiatan Kritis

Tabel 2 menjelaskan bahwa beberapa kegiatan yang akan dipercepat merupakan pekerjaan yang memiliki unsur tenaga kerja.

Tabel 2 Daftar kegiatan kritis pada kondisi normal

Kode	Jenis Pekerjaan	Durasi (Hari)
BTTT LT.D	Beton tapak tangga LT Dasar	14
BSST LT.D	Besi tapak tangga LT Dasar	14
BKTT LL.D	Bekisting tangga LT Dasar	7
BSKL K.2 LT.1	Besi kolom K.2 (40/40)LT 1	14
BSKP LT.1	Besi kolom praktis (12/12)LT 1	14
BSBK B.3 1	Besi balok B3 (20/35)LT 1	14
BTPL LT.1	Beton plat lantai 12 cm LT 1	14
BSPL LT.1	Besi plat lantai 12 cm LT 1	14
BKPL LT.1	Bekisting plat lantai 12 cm LT 1	14
BSPT LT.1	Besi plat tangga k.225 LT 1	14
BTBK LT.1	Beton balok LP 10/45 LT 1	14
BSBK LT.1	Besi beton balok LP 10/45 LT 1	14
BKBK LT.1	Bekisting beton balok 10/45 LT 1	14
BSKL K.2 LT.2	Besi kolom K2 (40/40)LT 2	14
BSKP LT.2	Besi kolom praktis (12/12)LT 2	14
BSPL LT.2	Besi plat lantai 12 cm LT 2	14
BSKL K.2 LT.3	Besi kolom K2 (40/40)LT 3	14
BSKP LT.2	Besi kolom praktis (12/12)LT 3	14
BSBK B.3 LT.3	Besi balok B3 (20/35)LT 3	14
BSPL LT.3	Besi plat lantai 12 cm LT 3	14
BTPD LT.4	Beton plat dak 12 cm LT 4	14
BSPD LT.4	Besi plat dak 12 cm LT 4	14
BKPD L.4	Bekisting plat dak 12 cm LT 4	14
BTBK R.2 LT.4	Beton balok R2 (15/35)LT 4	14
BSBK R.2 LT.4	Besi balok R2 (15/35)LT 4	14
BKBK R.2 LT.4	Bekisting balok R2 (15/35)LT 4	14
BTBK R.3 LT.4	Beton balok R3 (15/20)LT 4	14
BSBK R.3 LT.4	Besi balok R3 (15/20)LT 4	14
BKBK R.3 LT.4	Bekisting balok R3 (15/20)LT 4	14

Analisis Biaya Lembur untuk Tenaga Kerja

Analisis biaya lembur dihitung untuk mengetahui besarnya upah biaya lembur tenaga kerja. Berikut contoh analisis perhitungan lembur dari tenaga kerja:

Resource name = Pekerja
 Biaya normal per hari = Rp. 92.000,00
 Jam kerja normal per hari = 9 jam/hari
 Biaya normal per jam = $\frac{Rp.92.000,00}{9 \text{ jam/hari}}$
 = Rp. 10.222,22

- a. Biaya lembur
 Lembur 1 jam = $1,5 \times Rp. 10.222,22$
 = Rp. 15.333,00

$$\begin{aligned} \text{Lembur 2 jam} &= (1,5 \times \text{Rp. } 10.222,22) \\ &+ (2 \times (1 \times \text{Rp.} \\ &10.222,22)) \\ &= \text{Rp. } 35.778,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lembur 3 jam} &= (1,5 \times \text{Rp. } 10.222,22) \\ &+ (2 \times (2 \times \text{Rp.} \\ &10.222,22)) \\ &= \text{Rp. } 76.667,00 \end{aligned}$$

a. Biaya lembur per jam

$$\begin{aligned} \text{Lembur 1 jam} &= \frac{\text{Rp. } 15.333,00}{1 \text{ jam}} \\ &= \text{Rp. } 15.333,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lembur 2 jam} &= \frac{\text{Rp. } 35.778,00}{2 \text{ jam}} \\ &= \text{Rp. } 17.889,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lembur 3 jam} &= \frac{\text{Rp. } 76.667,00}{3 \text{ jam}} \\ &= \text{Rp. } 38.333,00 \end{aligned}$$

Analisis Durasi Percepatan

Setelah menghitung biaya lembur, kemudian masuk ke tahap *crashing*. Tahap *crashing* adalah tahap percepatan durasi bagi kegiatan-kegiatan kritis. Dalam perhitungan ini terdapat produktivitas kerja untuk masing-masing waktu lembur. Produktivitas kerja lembur 1 jam per hari diperhitungkan sebesar 0,9 atau 90%, 2 jam perhari menjadi 0,8 atau 80% dan 3 jam sebesar 0,7 atau 70%. Penurunan produktivitas disebabkan berbagai faktor seperti kondisi penerangan yang terbatas karena malam hari dan kelelahan pekerja. Pada perhitungan percepatan durasi ini akan diambil contoh dari kegiatan kritis Pengecoran Beton Plat Lantai (BTPL LT.1) sebagai berikut.

a. Durasi yang bisa dipercepat berdasarkan penambahan 1 jam lembur.

$$\frac{(\Sigma \text{Ppk} \times \text{Pnp} \times \text{Jam lembur}) + (\text{Pnp} \times \text{Jam kerja normal})}{\text{Volume}}$$

Keterangan :

Ppk = Penurunan produktivitas kerja

Pnp = Produktivitas normal per jam

Data :

$$\text{Volume} = 34,92 \text{ m}^3$$

$$\text{Durasi normal} = 14 \text{ hari}$$

$$\text{Jam kerja normal} = 9 \text{ jam}$$

$$\text{Produktivitas per hari} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi normal}}$$

$$= \frac{34,92}{14 \text{ hari}}$$

$$= 2,49 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas per jam} &= \frac{\text{Produktivitas per hari}}{\text{Jam kerja normal}} \\ &= \frac{2,49}{9 \text{ jam}} \\ &= 0,277 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maksimal percepatan} &= \frac{34,92}{(0,9 \times 0,277 \times 1) + (0,277 \times 9)} \\ &= 12,73 \text{ hari} \\ &= 13 \text{ hari} \end{aligned}$$

Maka, maksimal percepatan adalah 14 hari – 13 hari = 1 hari

Hasil perhitungan durasi *crashing* manual diatas sesuai dengan hasil perhitungan pada Microsoft Project 2010. Hasil dari pengolahan Microsoft Project 2010 dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3 Hasil Perhitungan durasi *crashing* Microsoft Project 2010

Kode	Normal	Durasi (Hari)		
		Lembur 1 Jam	Lembur 2 Jam	Lembur 3 Jam
BTTL LT.D	14	12,73	11,78	11,05
BSST LT.D	14	12,73	11,78	11,05
BKTT LT.D	7	6,36	5,89	5,53
BSKL K.2LT.1	14	12,73	11,78	11,05
BSKPL T.1	14	12,73	11,78	11,05
BSBKB.3.1	14	12,73	11,78	11,05
BTPL LT.1	14	12,73	11,78	11,05
BSPL LT.1	14	12,73	11,78	11,05
BKPL LT.1	14	12,73	11,78	11,05
BSPTLT.1	14	12,73	11,78	11,05
BTBK LT.1	14	12,73	11,78	11,05
BSBKLT.1	14	12,73	11,78	11,05
BKBK LT.1	14	12,73	11,78	11,05
BSKL K.2LT.2	14	12,73	11,78	11,05
BSKPL T.2	14	12,73	11,78	11,05
BSPL LT.2	14	12,73	11,78	11,05
BSKL K.2LT.3	14	12,73	11,78	11,05
BSKPL T.2	14	12,73	11,78	11,05
BSBKB.3.LT.3	14	12,73	11,78	11,05
BSPL LT.3	14	12,73	11,78	11,05
BTPD LT.4	14	12,73	11,78	11,05
BSPDL T.4	14	12,73	11,78	11,05
BKPD L.4	14	12,73	11,78	11,05
BTBK R.2LT.4	14	12,73	11,78	11,05
BSBKR.2LT.4	14	12,73	11,78	11,05
BKBK R.2LT.4	14	12,73	11,78	11,05
BTBK R.3LT.4	14	12,73	11,78	11,05
BSBKR.3LT.4	14	12,73	11,78	11,05
BKBK R.3LT.4	14	12,73	11,78	11,05

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 2010 dan dikontrol dengan Microsoft Excel 2010. Salah

satu contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

1) Kondisi Normal

Nama Pekerjaan : Pengecoran Beton Plat Lantai Lt.1

Volume pekerjaan : $34,92 \text{ m}^3$

Durasi pekerjaan : 14 hari(9 jam kerja per hari)

Total biaya = Total harga material + (Total harga tenaga kerja \times durasi)

$$= \text{Rp. } 29.734.075,14 + (\text{Rp. } 501.750,5 \times 14) \\ = \text{Rp. } 36.755.759,34$$

2) Kondisi lembur 1 Jam

Total biaya percepatan 1 Jam :

Tbp = Total harga material + (Total upah percepatan \times durasi percepatan)

$$= \text{Rp. } 29.734.075,14 + \\ (\text{Rp. } 585.375,59 \times 12,73) \\ = \text{Rp. } 37.183.145,00$$

3) Kondisi lembur 2 Jam

Tbp = Total harga material + (Total upah percepatan \times durasi percepatan)

$$= \text{Rp. } 29.734.075,14 + \\ (\text{Rp. } 696.875,70 \times 11,78) \\ = \text{Rp. } 37.939.993,00$$

4) Kondisi lembur 3 Jam

Tbp = Total harga material + (Total upah percepatan \times durasi percepatan)

$$= \text{Rp. } 29.734.075,14 + \\ (\text{Rp. } 808.375,31 \times 11,05) \\ = \text{Rp. } 38.668.173,00$$

Tabel 4 Hasil perhitungan analisis biaya percepatan dengan waktu lembur 1 jam

Kode	Durasi Normal (Han)	Durasi Percepatan	Biaya Normal (Rp)	Biaya Percepatan (Rp)
BTTT LT.D	14	12,73	Rp 610.012,00	Rp 617.597,00
BSTT LT.D	14	12,73	Rp 1.062.520,00	Rp 1.081.756,00
BKTT LT.D	7	6,36	Rp 316.900,00	Rp 325.098,00
BSKL K.2 LT.1	14	12,73	Rp 2.727.074,00	Rp 2.759.580,00
BSKP LT.1	14	12,73	Rp 4.772.482,00	Rp 4.819.113,00
BSBK B.3 1	14	12,73	Rp 9.174.380,00	Rp 9.245.221,00
BTPL LT.1	14	12,73	Rp 36.755.759,00	Rp 37.183.145,00
BSPL LT.1	14	12,73	Rp 67.536.216,00	Rp 68.031.095,00
BKPL LT.1	14	12,73	Rp 104.913.459,00	Rp 106.868.345,00
BSPT LT.1	14	12,73	Rp 21.549.330,00	Rp 21.705.046,00
BTBK LT.1	14	12,73	Rp 430.904,00	Rp 436.049,00
BSBK LT.1	14	12,73	Rp 11.821.038,00	Rp 11.907.429,00
BKBK LT.1	14	12,73	Rp 2.261.320,00	Rp 2.309.602,00
BSKL K.2 LT.2	14	12,73	Rp 2.727.074,00	Rp 2.759.580,00
BSKP LT.2	14	12,73	Rp 4.772.482,00	Rp 4.820.125,00
BSPL LT.2	14	12,73	Rp 73.962.026,00	Rp 74.512.625,00
BSKL K.2 LT.3	14	12,73	Rp 3.123.320,00	Rp 3.173.439,00
BSKP LT.2	14	12,73	Rp 4.772.482,00	Rp 4.819.113,00
BSBK B.3 LT.3	14	12,73	Rp 9.810.140,00	Rp 9.895.290,00
BSPL LT.3	14	12,73	Rp 70.725.050,00	Rp 71.237.520,00
BTPD LT.4	14	12,73	Rp 7.978.542,00	Rp 8.070.040,00
BSPD LT.4	14	12,73	Rp 12.193.988,00	Rp 12.282.404,00
BKPD L.4	14	12,73	Rp 22.786.420,00	Rp 23.213.154,00
BTBK R.2 LT.4	14	12,73	Rp 4.124.428,00	Rp 4.173.763,00
BSBK R.2 LT.4	14	12,73	Rp 10.711.768,00	Rp 10.808.048,00
BKBK R.2 LT.4	14	12,73	Rp 20.986.450,00	Rp 21.413.454,00
BTBK R.3 LT.4	14	12,73	Rp 1.956.824,00	Rp 1.980.254,00
BSBK R.3 LT.4	14	12,73	Rp 4.165.558,00	Rp 4.195.520,00
BKBK R.3 LT.4	14	12,73	Rp 8.205.860,00	Rp 8.374.705,00

Analisis Cost Variance, Cost Slope, dan Duration Variance

a. *Cost Variance* sebagai contoh diambil salah satu contoh item pekerjaan untuk perhitungan analisis *cost variance* :

Selisih Biaya = Biaya Percepatan - Biaya Normal

Biaya Normal = Rp 36.755.759,00

Biaya Percepatan

Lembur 1 jam = Rp 37.183.145,00

Lembur 2 jam = Rp 37.939.993,00

Lembur 3 jam = Rp 38.668.173,00

Selisih Biaya :

$$\text{Lembur 1 jam} = \text{Rp } 37.183.145,00 - \text{Rp } 36.755.759,00 \\ = \text{Rp } 427.389,00$$

b. *Cost Slope* adalah perbandingan selisih biaya normal dengan biaya percepatan dan selisih durasi normal dengan durasi percepatan. Berikut adalah contoh perhitungan *cost slope* pada pekerjaan sebagai berikut.

Nama pekerjaan : Pengecoran beton plat lantai Lt.1

Cost variance :

$$\text{Lembur 1 jam} = \text{Rp } 427.389,00$$

Lembur 2 jam = Rp 1.184.234,00
 Lembur 3 jam = Rp 1.912.414,00
Duration variance :
 Lembur 1 jam = 1,27 hari
 Lembur 2 jam = 2,22 hari
 Lembur 3 jam = 2,95 hari

Cost slope :
 Lembur 1 jam = *Cost variance / Duration variance*
 = Rp 427.389,00 / 1,27 hari
 = Rp 336.524,41

Tabel 5 Hasil *cost slope* untuk waktu lembur 1 jam

KODE	Selisih Durasi (Hari)	Selisih Biaya	Cost Slope
BTTT.LT.D	1,27	Rp 7.585,00	Rp 5.972,44
BSTT.LT.D	1,27	Rp 19.236,00	Rp 15.146,46
BKTT.LT.D	0,64	Rp 8.198,00	Rp 12.809,38
BSKL.K.2.LT.1	1,27	Rp 32.506,00	Rp 25.595,28
BSKPLT.1	1,27	Rp 46.631,00	Rp 36.717,32
BSBK.B.3.1	1,27	Rp 70.841,00	Rp 55.780,31
BTPL.LT.1	1,27	Rp 427.386,00	Rp 336.524,41
BSPL.LT.1	1,27	Rp 494.879,00	Rp 389.668,50
BKPL.LT.1	1,27	Rp 1.955.086,00	Rp 1.539.437,80
BSPT.LT.1	1,27	Rp 155.716,00	Rp 122.611,02
BTBK.LT.1	1,27	Rp 5.145,00	Rp 4.051,18
BSBK.LT.1	1,27	Rp 86.391,00	Rp 68.024,41
BKBK.LT.1	1,27	Rp 48.282,00	Rp 38.017,32
BSKL.K.2.LT.2	1,27	Rp 32.506,00	Rp 25.595,28
BSKPLT.2	1,27	Rp 47.643,00	Rp 37.514,17
BSPL.LT.2	1,27	Rp 550.599,00	Rp 433.542,52
BSKL.K.2.LT.3	1,27	Rp 50.119,00	Rp 39.463,78
BSKPLT.2	1,27	Rp 46.631,00	Rp 36.717,32
BSBK.B.3.LT.3	1,27	Rp 85.150,00	Rp 67.047,24
BSPL.LT.3	1,27	Rp 512.470,00	Rp 403.519,69
BTPD.LT.4	1,27	Rp 91.498,00	Rp 72.045,67
BSPD.LT.4	1,27	Rp 88.416,00	Rp 69.618,90
BKPD.L.4	1,27	Rp 426.734,00	Rp 336.011,02
BTBK.R.2.LT.4	1,27	Rp 49.335,00	Rp 38.846,46
BSBK.R.2.LT.4	1,27	Rp 96.280,00	Rp 75.811,02
BKBK.R.2.LT.4	1,27	Rp 427.004,00	Rp 336.223,62
BTBK.R.3.LT.4	1,27	Rp 23.430,00	Rp 18.448,82
BSBK.R.3.LT.4	1,27	Rp 29.962,00	Rp 23.592,13
BKBK.R.3.LT.4	1,27	Rp 168.845,00	Rp 132.948,82

Analisis Biaya Tidak Langsung

Menurut Yoni dkk., (2013) Biaya tidak langsung merupakan semua biaya proyek yang tidak secara langsung berhubungan dengan konstruksi di lapangan tetapi biaya ini harus ada dan tidak dapat dilepaskan dari proyek tersebut. Biaya-biaya yang termasuk dalam biaya tidak langsung yaitu biaya *overhead* (biaya konsultan, gaji staf, fasilitas di lokasi proyek, pajak, peralatan konstruksi).

Menentukan biaya tidak langsung

Penentuan biaya tidak langsung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$y = -0,95 - 4,888(\ln(x1 - 0,21) - \ln(x2)) + \varepsilon$$

dengan :

$x1$ = Nilai total proyek

$x2$ = Durasi proyek

ε = *random error*

y = Prosentase biaya tak langsung

Sehingga biaya tidak langsung dari proyek adalah sebagai berikut :

$x1$ = Rp. 2.720.384.705,85

$x2$ = 147 hari

ε = *random error*

$$y = -0,95 - 4.888(\ln - \ln(x2)) + \varepsilon$$

$$y = -0,95 - 4.888(\ln(2.721.121.828,85 - 0,21) - \ln(147)) + \varepsilon$$

$$y = 18,94 \%$$

Biaya tidak langsung

$$= y \times x1$$

$$= 18,94 \% \times \text{Rp. } 2.720.384.705,00$$

$$= \text{Rp. } 515.353.575,89$$

Analisis Biaya Langsung

Menurut Simatupang (2015), Biaya langsung merupakan biaya yang diperlukan langsung untuk mendapatkan sumber daya yang akan dipergunakan untuk penyelesaian proyek. Unsur-unsur yang termasuk dalam biaya langsung yaitu: biaya material/bahan, biaya upah pekerja, biaya alat, dan biaya sub kontraktor. Dalam menentukan biaya langsung terhadap total durasi proyek dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

Biaya langsung = Biaya total proyek – biaya tidak langsung

sehingga nilai dari biaya langsung pada proyek adalah

$$\begin{aligned} \text{Biaya langsung} &= \text{Rp. } 2.720.384.705,00 - \text{Rp. } \\ & \quad 515.353.575,89 \\ &= \text{Rp. } 2.205.031.129,11 \end{aligned}$$

Analisis Biaya Total

Total biaya merupakan penjumlahan dari biaya tidak langsung dan biaya langsung. Dalam menentukan biaya terhadap biaya total durasi proyek dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

Total biaya = biaya langsung + biaya tidak langsung

sehingga nilai dari total biaya pada proyek adalah

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Rp } 2.205.031.129,11 + \text{Rp.} \\ & \quad 515.353.575,89 \\ &= \text{Rp. } 2.720.384.705,00 \end{aligned}$$

Analisis Biaya Tenaga Kerja Kondisi Lembur 1 Jam

Nama pekerjaan : Pengecoran beton plat lantai Lt.1

Volume pekerjaan : 34,92 m³

Durasi pekerjaan : 12,73 Hari (dengan jam kerja 9 jam/hari)

Tabel 6 Kebutuhan tenaga kerja kegiatan pengecoran beton plat lantai Lt.1

Tenaga Kerja	Satuan	Koefisien	Harga Satuan
Pekerja	OH	1,650	Rp 92.000,00
Tukang Batu	OH	0,275	Rp 125.000,00
Kepala Tukang	OH	0,028	Rp 135.000,00
Mandor	OH	0,083	Rp 135.000,00

- Pekerja

Jumlah tenaga kerja

$$= \frac{(1,650 \times 34,92)}{12,73}$$

= 4,527 orang/hari

Upah tenaga kerja

$$= 4,527 \times \text{Rp. } 92.000,00$$

= Rp. 416.484,00

- Tukang besi

Jumlah tenaga kerja

$$= \frac{(0,275 \times 34,92)}{12,73}$$

= 0,755 orang/hari

Upah tenaga kerja

$$= 0,755 \times \text{Rp. } 125.000,00$$

= Rp. 94.375,00

- Kepala tukang

Jumlah tenaga kerja

$$= \frac{(0,028 \times 34,92)}{12,73}$$

= 0,077 orang/hari

Upah tenaga kerja

$$= 0,077 \times \text{Rp. } 135.000,00$$

= Rp. 10.395,00

- Mandor

Jumlah tenaga kerja

$$= \frac{(0,083 \times 34,92)}{12,73}$$

= 0,228 orang/hari

Upah tenaga kerja

$$= 0,228 \times \text{Rp. } 135.000,00$$

= Rp. 30.780,00

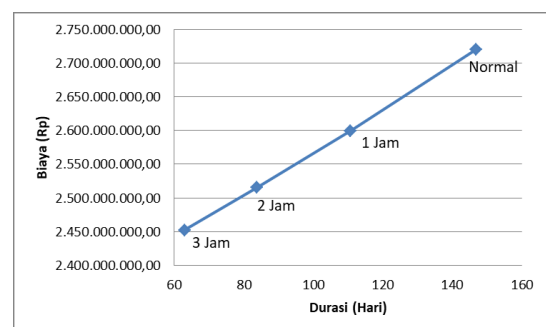
Analisa Perbandingan Antara Penambahan Jam lembur dan Penambahan Tenaga Kerja

Berdasarkan penerapan metode *Duration cost trade off* antara penambahan jam kerja atau waktu lembur selama 1-3 jam dengan penambahan tenaga kerja didapatkan perbedaan hasilnya. Berikut adalah tabel analisis dari perbandingan antara penambahan jam kerja (lembur) dengan penambahan tenaga kerja.

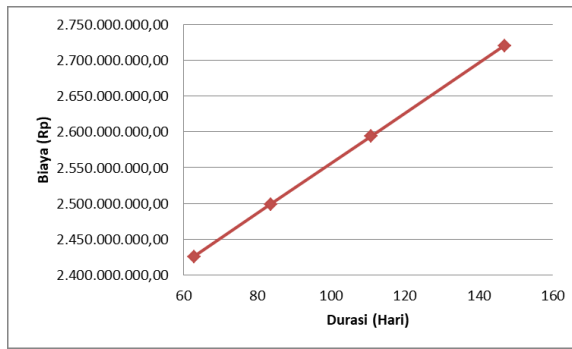
Tabel 7 Perbandingan biaya penambahan jam lembur dengan biaya penambahan tenaga kerja

Kode	Durasi Percepatan (Hari)	Durasi Normal (Hari)	Biaya Penambahan Jam Kerja (Rp)	Biaya Penambahan Tenaga Kerja (Rp)
BTTT.LT.D	12,73	14	2.715.937.476	2.715.934.976
BSTT.LT.D	12,73	14	2.711.492.686	2.713.692.670
BKTT.LT.D	6,36	7	2.709.257.168	2.709.243.415
BSKL.K.2.LT.1	12,73	14	2.704.824.029	2.704.794.758
BSKP.LT.1	12,73	14	2.700.395.085	2.700.346.242
BSBK.B.3.1	12,73	14	2.695.972.673	2.695.897.869
BTPL.LT.1	12,73	14	2.691.552.804	2.691.449.638
BSPL.LT.1	12,73	14	2.687.132.936	2.687.001.518
BKPL.LT.1	12,73	14	2.682.727.192	2.682.553.766
BSPT.LT.1	12,73	14	2.678.321.449	2.678.106.336
BTBK.LT.1	12,73	14	2.673.916.717	2.673.658.929
BSBK.LT.1	12,73	14	2.669.512.625	2.669.211.545
BKBK.LT.1	12,73	14	2.665.109.586	2.664.764.207
BSKL.K.2.LT.2	12,73	14	2.660.707.330	2.660.317.015
BSKP.LT.2	12,73	14	2.656.325.797	2.655.869.957
BSPL.LT.2	12,73	14	2.651.958.572	2.651.423.292
BSKL.K.2.LT.3	12,73	14	2.647.592.589	2.646.977.463
BSKP.LT.2	12,73	14	2.643.228.630	2.642.533.397
BSBK.B.3.LT.3	12,73	14	2.638.867.754	2.638.089.727
BSPL.LT.3	12,73	14	2.634.511.660	2.633.651.550
BTPD.LT.4	12,73	14	2.630.215.001	2.629.213.373
BSPD.LT.4	12,73	14	2.625.931.472	2.624.775.196
BKPD.L.4	12,73	14	2.621.905.831	2.620.338.809
BTBK.R.2.LT.4	12,73	14	2.617.880.461	2.615.902.831
BSBK.R.2.LT.4	12,73	14	2.613.855.472	2.611.467.456
BKBK.R.2.LT.4	12,73	14	2.609.897.977	2.607.032.081
BTBK.R.3.LT.4	12,73	14	2.605.958.073	2.602.597.668
BSBK.R.3.LT.4	12,73	14	2.602.056.297	2.598.168.567
BKBK.R.3.LT.4	12,73	14	2.599.559.009	2.593.748.020

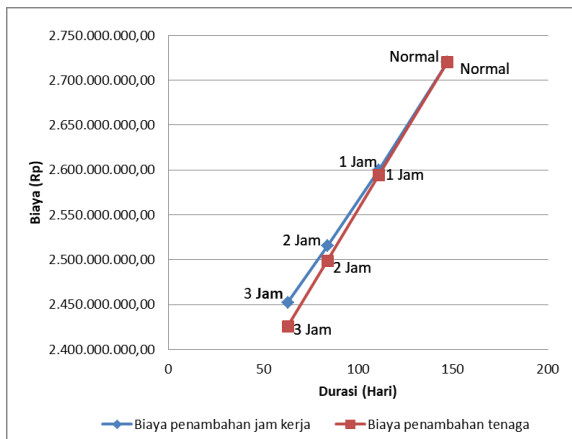
Kemudian di dapatkan perbandingan biaya normal dengan penambahan tenaga kerja seperti di bawah ini :



Gambar 4 Perbandingan biaya normal dengan biaya penambahan jam kerja (lembur)



Gambar 5 Perbandingan biaya normal dengan biaya penambahan tenaga kerja.



Gambar 6 Perbandingan biaya normal dengan penambahan tenaga kerja dan penambahan jam lembur

Analisis Biaya Denda Akibat Keterlambatan

Menentukan biaya denda akibat keterlambatan proyek dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

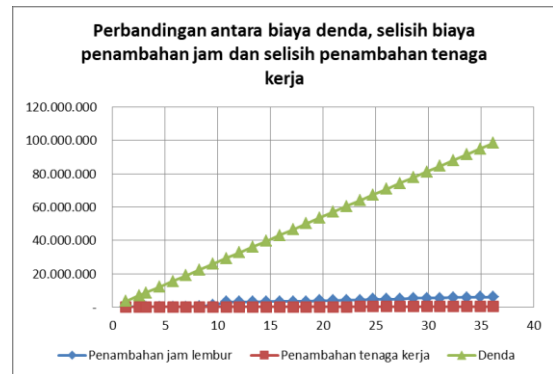
Total denda = total hari keterlambatan × denda perhari

Denda perhari sebesar 1 ‰ (satu permil) dari nilai kontrak

Berikut dibawah ini salah satu contoh perhitungan biaya denda untuk pekerjaan Pengecoran beton plat lantai Lt.1.

$$\begin{aligned}
 \text{Total hari keterlambatan} &= 1,27 \text{ hari} \\
 \text{Biaya total proyek} &= \text{Rp } 2.720.384.705,00 \\
 \text{Total denda} &= 1,27 \times \frac{1}{1000} \times 2.720.384.705,00 \\
 &= \text{Rp } 3.454.889,00
 \end{aligned}$$

Gambar 7 Perbandingan Biaya Penambahan Jam Lembur, Tenaga Kerja, dan Denda Pada Lembur 1 Jam



5. Kesimpulan

Berdasarkan data, serta hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Waktu dan biaya total proyek jika dilakukan variasi penambahan jam lembur pada kondisi normal sebanyak 147 hari dengan biaya Rp. 2.720.384.705,00, kondisi penambahan 1 jam kerja mengakibatkan percepatan waktu menjadi 110,80 hari dengan biaya Rp. 2.599.559.008,68, penambahan 2 jam kerja mengakibatkan percepatan menjadi 83,73 hari dengan biaya Rp. 2.515.170.705,97, penambahan 3 jam kerja mengakibatkan percepatan menjadi 62,93 hari dengan biaya Rp. 2.452.369.392,88.
2. Waktu dan biaya total proyek jika dilakukan variasi penambahan tenaga kerja pada kondisi normal sebanyak 147 hari dengan biaya Rp. 2.720.384.705,00, mengalami penambahan tenaga kerja yang tersamai dengan lembur 1 jam menjadi 110,80 hari dengan biaya Rp. 2.593.748.019,96, setara dengan lembur 2 jam menjadi 83,73 hari dengan biaya Rp. 2.498.838.934,27, setara dengan lembur 3 jam menjadi 62,93 hari dengan biaya Rp. 2.425.905.797,13.
3. Berdasarkan penambahan jam lembur, hasil yang paling efektif adalah penambahan lembur 3 jam dengan durasi awal 147 hari menjadi 62,93 hari dengan biaya awal Rp. 2.720.384.705,00 menjadi Rp. 2.452.369.392,88. Sedangkan pada

penambahan tenaga kerja yang paling efektif yaitu penambahan lembur 3 jam dengan durasi awal 147 hari menjadi 62,93 hari dengan biaya awal Rp. 2.720.384.705,00 menjadi Rp. 2.425.905.797,13.

4. Perbandingan dari kedua variasi antara penambahan jam lembur dan penambahan tenaga kerja yang paling efektif yaitu penambahan tenaga kerja karena biaya yang lebih murah dengan percepatan waktu yang sama.
5. Biaya percepatan durasi dan penambahan tenaga kerja lebih kecil dibandingkan dengan biaya denda yang dikeluarkan akibat keterlambatan.

6. Daftar Pustaka

- Aditya Dei, Kadek., Dharmayanti, G.A.P. Candra., dan Jaya, N. Martha. 2017. Analisis Risiko Dalam Aliran Supply Chain Pada Proyek Konstruksi Gedung di Bali. *Jurnal Spektran*, 5 (1), 36-46, 123-132.
- Anggraeni, E.R., Hartono, W., 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.
- Bangun, T.D., Irwan, H., dan Purabasari, A., 2016, Analisis Percepatan Proyek Dengan Critical Path Method Pada Proyek Pembangunan Ruang Akomodasi 50Pack AWB (Studi Kasus PT. Trikarya Alam), *Profisiensi*, 4 (1), 58-67.
- Chusairi, M., dan Suryanto, M. 2015. *Studi Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Pembangunan Gedung Tipe B SMPN Baru Siwalankerto*. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 2 (2), 09-15.
- Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia. 2004. *Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia tentang Waktu Lembur dan Upah Kerja Lembur*. KEPMEN NO. 102 TH 2004. Kep. 102/MEN/VI/2004
- Muhammad, A., A., dan Indriyani, R. 2015. *Analisa Time Cost Trade Off pada Proyek Pasar Sentral Gadang Malang*. *Jurnal Teknik*, 4 (1) , 2301-9271.
- Ningrum, F.G.A., Hartono, W., 2017, *Penerapan Metode Crashing Dalam Percepatan Durasi Proyek Dengan Alternatif Penambahan Jam Lembur Dan Shift Kerja (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Hotel Grand Keisha)*, *Matriks Teknik Sipil*, 5 (2), 583-591
- 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., dan Sumanto, A., 2016. *Analisis Percepatan Waktu dan Biaya Konstruksi dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) menggunakan Metode Time Cost Trade Off*
- Rosanti, Nurvelly., Setiawan, Erwin., dan Ayuningtyas, Asti. 2016. *Penggunaan Metode Jalur Kritis Pada Manajemen Proyek (Studi Kasus: PT. Trend Communications International)*. *Jurnal Teknologi*, 8 (1), 23-30.
- Simatupang, J.S., 2015, *Pengaruh Percepatan Durasi Terhadap Waktu Pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus Pembangunan Persekolahan Eben Haezar Manado)*, *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), pp. 281-291.
- Soeharto, I., 1999, *Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional Jilid I Edisi Kedua* Erlangga, Jakarta.
- Soemardi, B. W., dan Kusumawardani, R. G. 2010. *Studi Praktek Estimasi Biaya Tidak Langsung pada Proyek Konstruksi*. Konferensi

- Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS
4) Sanur-Bali. 2-3 Juni 2010, 295-300.
- Wowor, F., N., Sompie, B., F., Walangitan, D., R., O., dan Malingkas, G., Y. 2013. *Aplikasi Microsoft Project dalam Pengendalian Waktu Pelaksanaan Pekerjaan Proyek*. Jurnal Sipil Statik, 1 (8), 543-548.
- Yoni, I., A., M., Warsika, I., P., D., dan Sudipta, I., G., K. 2013. *Perbandingan Penambahan Waktu Kerja (Jam Lembur) dengan Penambahan Tenaga Kerja Terhadap Biaya Pelaksanaan Proyek dengan Metode Time Cost Trade Off (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Blahkuh)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 17 (2), 129-138.