

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Manajemen Proyek

Menurut prasetiyo (2020), disebutkan bahwa sebuah proyek adalah serangkaian kegiatan yang menggunakan berbagai sumber daya dan alokasi dana tertentu yang harus selesai sesuai rencana guna mencapai tujuan tertentu. Sementara itu, pekerjaan konstruksi dapat didefinisikan sebagai rangkaian kegiatan yang mencakup pembangunan, pengoperasian, pembongkaran, dan rekonstruksi bangunan sesuai dengan Undang-Undang No. 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi.

Manajemen konstruksi merupakan strategi untuk mengatur keterlibatan sumber daya manusia dalam proyek konstruksi, yang dapat diterapkan secara efektif oleh manajer proyek. Sumber daya dalam proyek konstruksi biasanya terdiri dari tenaga kerja, bahan/material, mesin, uang, dan metode (Ervianto, 2023). Manajemen proyek dilakukan melalui serangkaian tahapan yang meliputi perumusan gagasan, perencanaan, pelaksanaan, pemantauan dan pengendalian, serta penutupan keseluruhan proses proyek tersebut. Selama pelaksanaan di lapangan, setiap tahap proyek seringkali dihadapkan pada kendala-kendala yang saling berhubungan atau dikenal sebagai kendala proyek, seperti biaya, waktu, dan kualitas. Kualitas proyek akan ditentukan terhadap pengendalian kendala biaya, waktu, dan kualitas proyek. Apabila terjadi kendala maka akan mempengaruhi hasil proyek (Siswanto & Salim, 2019).

Manajemen proyek memiliki tujuan yang spesifik yang harus dicapai, dan keberhasilannya dinilai berdasarkan pencapaian tujuan yang telah direncanakan. Pada proses, terdapat tiga kendala yang dipertimbangkan, dikenal sebagai segitiga *Tradeoff* atau *Triple constraint*, seperti yang dijelaskan oleh (Aprilyanto dkk., 2020):

a) Tepat Biaya

Proyek harus diselesaikan tanpa melebihi anggaran yang telah ditetapkan, baik untuk setiap komponen pekerjaan, waktu pelaksanaan, hingga total biaya hingga penyelesaian proyek.

b) Tepat Waktu

Pembangunan harus diselesaikan dalam waktu yang telah direncanakan pada awal pembangunan yang dipaparkan melalui presentasi kemajuan pekerjaan.

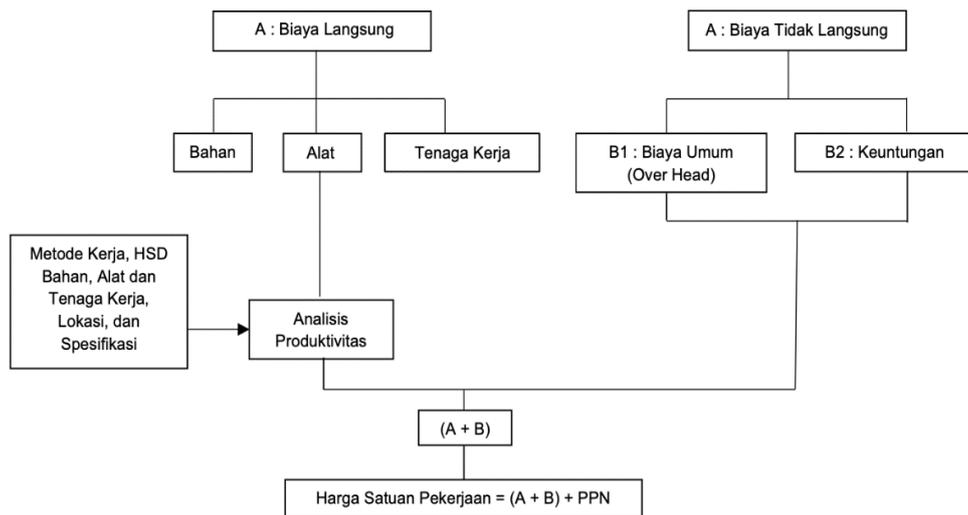
c) Tepat Mutu

Produk atau kinerja harus memiliki mutu yang sesuai dengan standar dan ketentuan yang diinginkan pemilik proyek.

Pembangunan yang diamati pada penelitian memiliki serangkaian kegiatan dalam waktu tertentu, yang terbagi menjadi perencanaan, pengaturan sumber daya, pengarahan sumber daya serta pengawasan terhadap sumber daya yang digunakan. Hal ini bertujuan agar pelaksanaannya sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan.

1.2 Komponen Biaya

Biaya proyek dikelompokkan menjadi dua komponen, yaitu komponen langsung (direct cost) dan biaya tidak langsung (indirect cost).



Gambar 2. 1 Diagram Estimasi Biaya Konstruksi

A. Biaya Langsung (Direct Cost)

Direct cost adalah jumlah biaya yang digunakan untuk pengadaan bahan-bahan, tenaga kerja, dan dana pada kegiatan proyek. Biaya

langsung ini terdiri dari biaya normal, seperti yang dijelaskan oleh Azhari pada tahun 2019. Biaya normal merujuk pada biaya yang diperlukan untuk durasi waktu yang normal dalam pelaksanaan proyek. Pengurangan waktu pelaksanaan proyek dapat menyebabkan peningkatan dana proyek. Jumlah waktu pada kegiatan proyek dapat menunjukkan hasil jumlah biaya langsung yang digunakan pada proyek.

B. Biaya Tidak Langsung (Indirect Cost)

Biaya tidak langsung (indirect cost) meliputi semua jenis biaya yang terkait dengan kegiatan administrasi dan berbagai biaya umum lainnya (variable overhead cost) yang jumlahnya dapat dikurangi dengan mempercepat waktu penyelesaian suatu proyek, seperti yang dijelaskan oleh Azhari pada tahun 2019. Biaya tersebut tidak dipengaruhi oleh volume pekerjaan, namun dipengaruhi oleh durasi pekerjaan. Biaya tersebut tidak bertambah jika durasi proyek menjadi lebih lama, dikarenakan gaji karyawan, biaya tetap kantor dan biaya lainnya tetap harus dibayarkan.

1.3 Penjadwalan Proyek

Perencanaan proyek yang efektif akan menghasilkan informasi jadwal rencana dan perkembangan proyek serta pemanfaatan sumber daya yang digunakan untuk menyelesaikan proyek. Sebuah perencanaan, terutama perencanaan dasar seperti anggaran atau jadwal induk, haruslah fleksibel, yang berarti dapat disesuaikan jika diperlukan, misalnya jika terjadi perubahan situasi atau kondisi diluar rencana didalam proyek, yang tidak bisa diprediksi saat perencanaan awal dilakukan (Raharja, 2014).

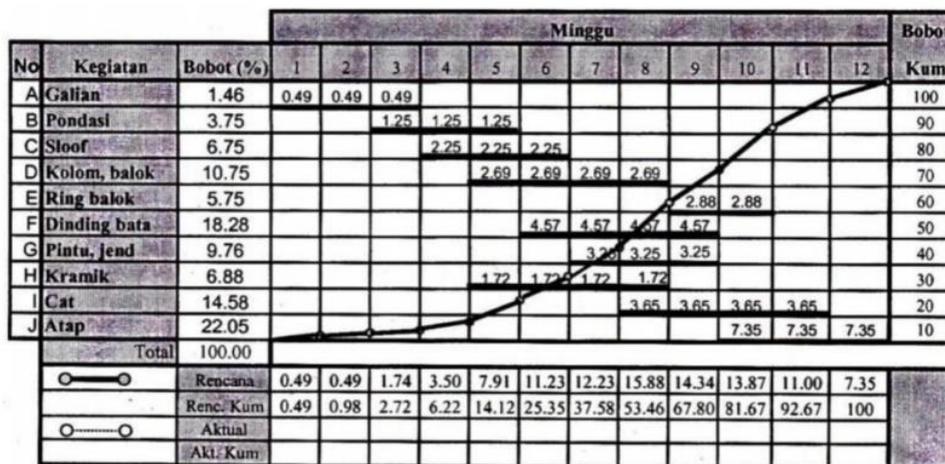
A. Gantt Chart

Gantt Chart adalah diagram perencanaan yang berfungsi dalam membuat jadwal, sumber daya dan alokasi waktu. Metode tersebut merupakan teknik non-matematis yang umum digunakan para manajer. Hal tersebut dikarenakan keunggulan metode tersebut dalam merencanakan kegiatan, mempertimbangkan urutan kinerja, memperkirakan waktu kegiatan yang terencana dan waktu proyek yang ditentukan secara keseluruhan. Diagram ini

terdiri dari balok horizontal yang mewakili setiap kegiatan sepanjang garis waktu. Gantt Chart berfungsi dalam menjadwalkan operasi yang berulang, penjadwalan sederhana, atau proyek-proyek dengan kegiatan yang tidak terlalu berkaitan, atau proyek-proyek kecil. Sementara itu, untuk proyek-proyek yang lebih kompleks, seringkali digunakan teknik jaringan (network) untuk penjadwalannya (Widyastuti dkk., 2019). Dalam penelitian ini, digunakan diagram batang atau Gantt Chart yang dipadukan dengan kurva S. Diagram batang yang diperkenalkan dan dikembangkan oleh Henry L. Gantt menampilkan waktu dari awal pekerjaan hingga penyelesaian yang dijadwalkan. Dengan demikian, grafik ini memudahkan untuk mengetahui waktu pelaksanaan awal setiap pekerjaan dan waktu yang diharapkan dari setiap pekerjaan.

B. Kurva S

Kurva S merupakan grafik yang dikembangkan oleh Warren T. Hanumm berdasarkan berbagai proyek yang telah diamati secara keseluruhan. Metode tersebut berfungsi dalam perencanaan dan pengendalian biaya dengan nilai efektif paling tinggi dan umum diterapkan dalam proyek. Kurva S memberikan gambaran yang jelas tentang berbagai jenis pekerjaan dalam satuan volume, dengan koordinatnya adalah jumlah presentase kegiatan pada garis waktu. Selain memberikan informasi tentang kemajuan waktu proyek, kurva S berfungsi dalam memberikan kendali terhadap kinerja biaya. Hal tersebut ditunjukkan pada bobot pengeluaran kumulatif setiap kegiatan yang dikendalikan melalui perbandingan terhadap baseline pada periode tertentu dan disesuaikan dengan kemajuan proyek (Mobiliu, 2016).



Gambar 2. 2 Kurva S (Wibowo 2021)

Kurva S memiliki kemampuan untuk menunjukkan perkembangan suatu proyek sesuai dengan aktivitas, waktu, dan pekerjaan yang dinyatakan dalam bentuk presentase akumulatif dari semua kegiatan proyek. Dengan melihat kurva S dari suatu proyek penelitian, informasi terkait kemajuan proyek tersebut dapat diperoleh dengan jelas. Kurva S memberikan gambaran visual yang memudahkan pemahaman tentang bagaimana proyek tersebut berlangsung dan sejauh mana pencapaian yang telah dilakukan pada titik waktu tertentu.

C. Metode Jaringan Kerja

Network diagram merupakan alat yang berguna dalam merencanakan, menjadwalkan, dan mengendalikan kemajuan proyek. Metode ini umumnya digunakan dan dikembangkan untuk mengelola sejumlah kegiatan kecil dan besar, terutama yang memiliki kegiatan kritis. Diagram jaringan dianggap sangat efektif untuk menyajikan metode untuk menetapkan prioritas dan jangka waktu kegiatan (Budiardi, 2022).

Jaringan kerja merupakan representasi visual dari rangkaian aktivitas, keterkaitan, dan kebutuhan dari setiap aktivitas yang harus dilakukan untuk menyelesaikan proyek. Ini mencakup gambaran aktivitas-aktivitas proyek, rangkaian logis aktivitas, serta hubungan antar aktivitas. Dalam penelitian ini, Microsoft Office Project 2016 digunakan untuk merencanakan jaringan (network planning) dan menentukan pekerjaan didalam jalur kritis dalam

kegiatan proyek konstruksi. Proses terdiri dari menetapkan jadwal, menetapkan durasi, dan pendahulu (predecessor) untuk setiap pekerjaan. Selanjutnya, pekerjaan pada jalur kritis diidentifikasi, yang memungkinkan kalkulasi biaya tambahan yang diakibatkan oleh percepatan.

1.4 Aplikasi Program Microsoft Project

Program Microsoft Project adalah sebuah aplikasi pengelolaan proyek yang menyediakan berbagai fitur seperti pembuatan grafik, pengolahan data, dan manajemen proyek. Manajemen proyek adalah serangkaian kegiatan yang mengubah input menjadi output sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Input dalam manajemen proyek meliputi unsur-unsur manusia, material, uang, mesin/alat, dan kegiatan-kegiatan, yang kemudian diproses untuk menghasilkan informasi yang diperlukan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan. Dalam proses manajemen proyek, terdapat tahapan perencanaan, pengorganisasian, dan pengendalian.

Metode manajemen proyek yang sering digunakan adalah PERT (Program Evaluation Review Technique) dan Gantt Chart. Kedua metode tersebut dapat ditemukan pada Microsoft Project. Microsoft Project merupakan sistem perencanaan yang berguna untuk penyusunan jadwal proyek. Software tersebut juga bermanfaat dalam mencatat dan memantau penggunaan berbagai jenis sumber daya.

Tujuan dari penjadwalan menggunakan Microsoft Project antara lain:

Komponen yang diperlukan dalam penjadwalan proyek meliputi:

1. Kegiatan: Rincian tugas atau tugas utama yang harus dilakukan.
2. Durasi kerja untuk setiap kegiatan: Estimasi waktu untuk menyelesaikan setiap kegiatan.
3. Hubungan kerja antara kegiatan: Keterkaitan atau ketergantungan berbagai aktivitas dalam proyek.
4. Sumber daya (Resources): Tenaga kerja, peralatan, dan bahan-bahan yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan-kegiatan tersebut.

Microsoft Project melakukan beberapa fungsi penting dalam penjadwalan proyek, antara lain:

1. Mencatat kebutuhan tenaga kerja pada setiap sektor atau kegiatan dalam proyek.
2. Mencatat jam kerja para pegawai, termasuk jam lembur jika diperlukan.
3. Menghitung biaya terkait dengan penggunaan tenaga kerja, termasuk biaya tetap, dan menghitung total biaya proyek.
4. Mengontrol pemanfaatan tenaga kerja pada kegiatan untuk mencegah beban berlebih pada pemanfaatan tenaga kerja, yang dikenal sebagai overallocation.

2.5. Keterlambatan Proyek

Konstruksi memiliki arti penting dalam mempercepat penyelesaian proyek yang telah ditentukan pada rencana awal dan kontrak. Keterlambatan pekerjaan akan merugikan proyek dalam segi produktivitas dan dana. Peran manajemen aktif menjadi solusi kesuksesan manajemen proyek. Jadwal proyek harus selalu diperhatikan dalam memprediksi langkah-langkah perubahan dasar untuk mencegah penundaan proyek.

Seperti yang diungkapkan oleh Levis dan Atherley (1996) dalam (Suyatno, 2010:23), apabila suatu target harus tercapai sesuai dengan rencana akan tetapi terkendala, maka target tersebut dikatakan tertunda. Target yang tertunda tersebut akan mengubah rencana awal dan menyebabkan masalah keuangan pada proyek. Keterlambatan tersebut berdampak buruk bagi pemilik proyek seperti hilangnya kendali dalam alokasi sumber daya pada proyek lain, penambahan biaya langsung, berkurangnya pendapatan dan bertambahnya biaya gaji staf, sewa peralatan dan lainnya.

2.5.1. Penyebab Keterlambatan

Menurut penjelasan Kraiem dan Dickmann dalam (Praboyo, 1999:51), akibat keterlambatan proyek diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok besar:

A. Keterlambatan yang layak diganti rugi, yaitu keterlambatan yang disebabkan oleh tindakan, kelalaian, atau kesalahan dari pemilik proyek. Dalam hal ini, pemilik proyek bertanggung jawab atas kompensasi atau ganti rugi yang pantas diberikan kepada pihak-pihak terkait akibat keterlambatan tersebut.

B. Keterlambatan intolerir, yaitu keterlambatan yang disebabkan oleh tindakan, kelalaian, atau kesalahan yang tidak dapat dimaafkan dari pemilik proyek. Dalam hal ini, pemilik proyek bertanggung jawab atas konsekuensi negatif yang tidak bisa dimaafkan tersebut.

C. Keterlambatan yang bisa dimaafkan, yaitu keterlambatan yang disebabkan oleh kejadian atau situasi yang tidak dapat dikendalikan oleh pemilik atau kontraktor proyek. Dalam hal ini, keterlambatan dianggap sebagai sesuatu yang bisa dimaklumi dan tidak mengakibatkan konsekuensi hukuman atau ganti rugi yang signifikan.

2.5.2. Jenis – Jenis Keterlambatan (Type of Delays)

Berdasarkan penjelasan (Ahmed et al., 2003:105), keterlambatan proyek dapat diklasifikasikan kedalam tiga katagori sesuai perjanjian kontrak, yaitu:

A. Ketelambatan intolerir (non-excusable delays): Keterlambatan akibat faktor diluar kendali kontraktor atau pemilik proyek dan tidak diperbolehkan untuk mendapatkan ganti rugi.

B. Ketelambatan yang dapat dimaafkan akan tetapi tidak berhak mendapatkan ganti rugi (excusable non-compensable delays): Keterlambatan yang disebabkan oleh faktor-faktor yang dapat dimaafkan dan diakui sebagai penyebab keterlambatan, tetapi tidak berhak untuk mendapatkan kompensasi.

C. Ketelambatan yang bisa dimaafkan serta berhak mendapatkan ganti rugi (excusable compensable delays): Keterlambatan yang diakibatkan oleh faktor-faktor yang dapat dimaafkan dan diakui sebagai penyebab keterlambatan, sehingga berhak untuk mendapatkan kompensasi atau ganti rugi.

D. Ketelambatan bersama-sama (concurrent delays): Keterlambatan yang terjadi ketika ada lebih dari satu penyebab keterlambatan yang terjadi secara bersamaan.

Secara umum, keterlambatan proyek dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama, yaitu:

a. Ketelambatan yang bisa dan tidak bisa dimaafkan (excusable and non-excusable delays).

- b. Ketelambatan yang berhak dan tidak berhak mendapatkan kompensasi (compensable and non-compensable delays).
- c. Ketelambatan bersama-sama (concurrent delays).

2.6 Percepatan Pekerjaan Konstruksi

Mempercepat waktu penyelesaian proyek merupakan upaya untuk menyelesaikan proyek lebih cepat dari jadwal normal yang telah ditetapkan. Terkadang, pemilik proyek memutuskan untuk mempercepat proyek karena pertimbangan tertentu. Proses ini dikenal sebagai crash program. Meskipun jangka waktu percepatan proyek terbatas oleh luas proyek atau lokasi kerja, ada empat faktor yang dapat dioptimalkan untuk mempercepat kegiatan proyek, yaitu: penambahan pekerja, pemberian jadwal lembur, penggunaan alat berat, dan perubahan metode konstruksi di lapangan (Priyo & Aulia, 2016).

Dalam upaya mempercepat waktu penyelesaian proyek melalui metode crashing, diperlukan penyelesaian kegiatan proyek dengan cepat. Crashing adalah aktivitas yang terfokus pada jalur kritis proyek dan bertujuan untuk mempercepat penyelesaian proyek melalui proses yang sistematis dan analitis. Namun, upaya percepatan proyek dapat berdampak pada peningkatan biaya langsung proyek (Oetomo et al., 2017).

2.6.1 Melaksanakan Percepatan Durasi

Dalam rangka percepatan waktu penyelesaian proyek, informasi berikut diperlukan untuk setiap pekerjaan, seperti yang dijelaskan oleh Laksana et al. (2014):

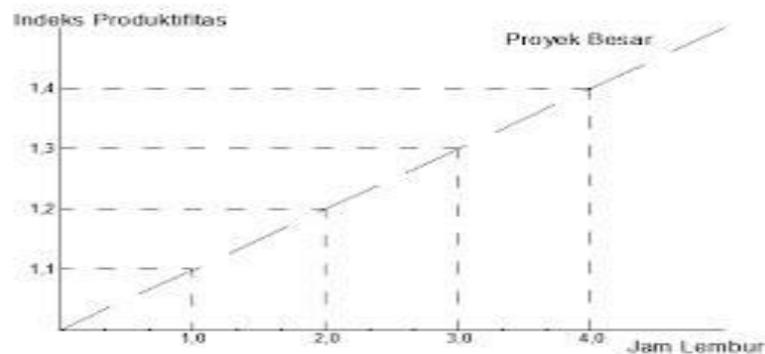
- a. Menaksirkan anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan dalam kondisi normal.
- b. Menentukan durasi kegiatan proyek dalam situasi percepatan, yaitu dengan jangka waktu yang lebih singkat dibandingkan dalam situasi normal.
- c. Menaksirkan anggaran biaya pekerjaan dalam situasi percepatan.

Dalam pelaksanaan percepatan aktivitas, bisa dioptimalkan dengan mengubah durasi sebagai berikut:

- a. Melakukan penambahan pekerja: Penambahan pekerja dilakukan

dengan memberikan jumlah pekerja yang optimal untuk meningkatkan produktivitas pekerjaan tanpa menambah jam kerja.

b. Menambahkan jam kerja atau lembur: Pekerjaan bisa dipercepat melalui penambahan jam kerja tanpa menambahkan pegawai. Namun, penerapan lembur dapat mengakibatkan produktivitas yang menurun jika pekerja mengalami kelelahan. Penurunan produktivitas akibat penerapan lembur dapat diperhatikan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik Indikasi Penurunan Produktivitas kerja lembur (sumber: Soeharto,1999)

koefisien pengurangan produktivitas dapat diketahui melalui penggunaan grafik indikasi penurunan produktivitas kerja lembur gambar 2.3. Dengan demikian koefisien pengurangan produktivitas kerja lembur sebagaimana tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Koefisien Penurunan Produktivitas

Jam Kerja Lembur (Jam)	Penurunan Indeks Produktivitas	Koef. Pengurangan Produktivitas (%)
I	0,1	90
II	0,2	80
III	0,3	70
III	0,4	60

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2023)

a. Menambah atau menggantikan alat: Salah satu solusi untuk mengatasi penurunan produktivitas adalah dengan menambah atau

menggantikan alat yang digunakan dalam proyek. Namun, perlu dipertimbangkan ketersediaan lahan yang memadai untuk menyimpan alat tambahan serta biaya yang akan meningkat akibat mobilitas dan demobilitas alat. Selain itu, penggantian alat dengan yang memiliki produktivitas lebih tinggi juga dapat mempercepat jangka waktu proyek.

b. Menggunakan metode konstruksi yang efektif: Tingkat keahlian pelaksana sangat berpengaruh pada sistem kerja dan metode konstruksi yang digunakan, serta sumber daya yang tersedia. Dengan menggunakan metode konstruksi efektif dapat meningkatkan produktivitas pekerjaan dan mempercepat waktu penyelesaian proyek.

2.6.1.1 Penambahan Jam Kerja Lembur

Penerapan lembur merupakan opsi penting untuk mempersingkat durasi pelaksanaan proyek. Waktu kerja normal biasanya berkisar pada 8 jam per hari, dimulai dari pukul 08:00 hingga 17:00, dengan satu jam istirahat pada pukul 12:00 hingga 13:00. Jam kerja lembur dilakukan setelah waktu kerja normal selesai. Penerapan lembur diterapkan dengan menambahkan waktu sesuai kebutuhan. Namun, perlu diperhatikan berapa lama seorang pekerja dapat bekerja untuk mencegah penurunan produktivitas akibat kelelahan. Jika pekerja terlalu lelah, dapat mengakibatkan penurunan produktivitas yang pada akhirnya dapat mempengaruhi efisiensi dan kualitas pekerjaan. Oleh karena itu, penting untuk memperhitungkan kesejahteraan dan keseimbangan antara produktivitas dan kesehatan pekerja saat melakukan penerapan lembur.

Adapun strategi kerja yang akan diterapkan guna percepatan waktu proyek melalui metode lembur sebagai berikut :

1. Untuk waktu kerja normal adalah 8 jam kerja perhari (08:00 – 17:00) dengan 1 jam istirahat (12:00 – 13:00). Sedangkan waktu kerja lembur dilakukan setelah waktu kerja normal.
2. Berdasarkan Pasal 31 Permen 35/2021, Pembayaran dibayarkan sebesar 1,5 kali untuk upah sejam pada jam kerja lembur pertama,

dan untuk jam kerja lembur berikutnya dibayar sebesar 2 kali upah sejam.

Adapun beberapa tahapan rumus untuk skenario penerapan kerja lembur sebagai berikut :

1. Produktivitas Normal (Hari)

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal (Hari)}} \dots\dots\dots(1)$$

)

2. Produktivitas Normal (Jam)

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal (Jami)}} \dots\dots\dots(2)$$

)

3. Produktivitas Lembur

$$=(a \times b \times \text{produktivitas tiap jam}) \dots\dots\dots(3)$$

a = Jumlah jam lembur

b = Koefisien Penurunan Produktivitas kerja lembur

4. Produktivitas Harian Sesudah Crash

$$=\text{Produktivitas Normal (Hari)} + \text{Produktivitas Lembur} \dots\dots\dots(4)$$

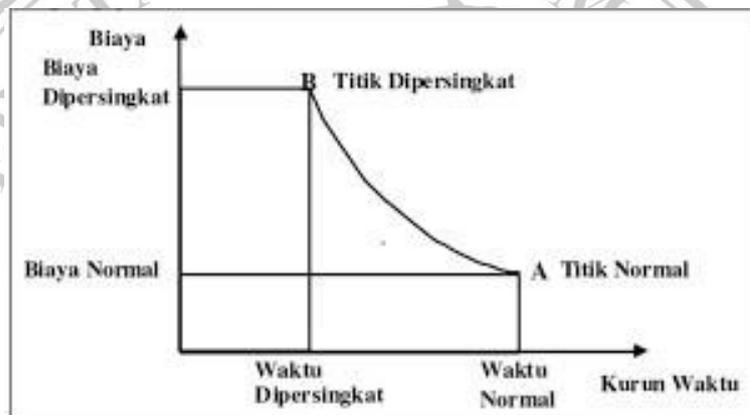
2.6.2 Hubungan Waktu dan Biaya

Penggunaan percepatan proyek dapat mengurangi jangka waktu kegiatan. Gabungan dari biaya langsung dan tidak langsung akan menciptakan biaya keseluruhan yang diperlukan untuk proyek yang sedang dikerjakan. Durasi pelaksanaan suatu proyek akan berdampak pada biaya keseluruhan yang dikeluarkan. Meskipun tidak ada rumus pasti untuk menghitungnya, waktu dan kemajuan proyek akan memengaruhi kedua aspek biaya tersebut. Secara umum, jika proyek berjalan terlalu lama, maka biaya tidak langsung akan meningkat tinggi (Soeharto, 1999). Penggunaan jadwal percepatan (crash schedule) akan menghasilkan biaya yang lebih besar daripada penggunaan jadwal normal. Oleh karena itu, dalam melakukan percepatan proyek, perlu dipilih kegiatan-kegiatan yang termasuk dalam jalur kritis pada crash schedule yang memiliki tingkat kemiringan terkecil.

Untuk mengetahui keterkaitan biaya serta waktu pelaksanaan suatu proyek, dapat menggunakan grafik. Grafik ini membagi komponen biaya

menjadi dua, yaitu grafik waktu dan biaya tidak langsung, serta grafik waktu dan biaya langsung. Grafik-grafik ini akan memvisualisasikan keterkaitan waktu dan biaya total pelaksanaan suatu proyek (Adianto et al., 2006).

Berikut ini akan disajikan sebuah kurva yang menggambarkan keterkaitan durasi normal dan durasi yang dipercepat, menggunakan sumbu horizontal untuk durasi dan sumbu vertikal untuk biaya langsung kegiatan dengan durasi normal dan dipercepat. Kurva ini juga akan menampilkan cost slope biaya yang dibutuhkan guna mempercepat durasi pada setiap waktu dalam suatu proyek (Laksana et al., 2014). Ini memperlihatkan keterkaitan biaya dan waktu untuk keadaan normal dan keadaan dengan menggunakan percepatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Hubungan antar Biaya–Waktu pada Keadaan Normal dan Crash (Sumber: Soeharto, 1999)

Adapun beberapa tahapan rumus untuk skenario penambahan jam kerjalembur sebagai berikut :

- Crash Duration

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Prod.Harian Sesudah Crash}} \dots\dots\dots(5)$$
- Crashing

$$= \text{Durasi Normal} - \text{Crash Duration} \dots\dots\dots(6)$$
- Biaya Normal

$$= \text{Jumlah Tenaga Kerja} \times \text{Upah Normal Tenaga Kerja} \dots\dots\dots(7)$$
- Upah Lembur Tenaga Kerja(8)
 Untuk jam kerja lembur pertama

$$= 1,5 \times n \times \text{upah sejam normal}$$

 Untuk setiap jam kerja lembur berikutnya

= 2 x n x upah sejam normal

n = jumlah penambahan jam kerja

- Crash Cost

= Jumlah tk x upah lembur tenaga kerja 1 hari x crash duration.(9)

- Crash Cost Total

= Biaya Normal + Crash Cos.....(10)

- Cost Slope

= $\frac{\text{crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash Duration}}$ (11)

2.7 Analisis Pertukaran Biaya dan Waktu

Dalam melakukan perhitungan terhadap pengurangan durasi proyek dengan penambahan biaya, penting untuk memperhatikan faktor-faktor tertentu seperti struktur beton, atap, dinding, dan lantai yang membutuhkan biaya minimum. Hal ini memastikan bahwa waktu pengerjaan proyek dapat dipercepat menggunakan biaya tambahan yang minim. Karena durasi pengerjaan proyek memiliki keterkaitan erat dengan biaya, penting untuk mempertimbangkan faktor waktu dalam pengendalian biaya proyek (Budianto & Husin, 2021).

Dalam analisis metode TCTO (Time-Cost Trade-Off), perubahan dalam waktu penyelesaian proyek akan berdampak pada perubahan biaya. Percepatan waktu pelaksanaan proyek dapat menyebabkan biaya langsung yang meningkat, sementara pengurangan biaya tidak langsung mungkin terjadi. Dalam melakukan percepatan waktu proyek, ada beberapa cara yang dapat digunakan, antara lain: (Priyo & Aulia, 2016).

- a. Penambahan jumlah jam kerja (lembur) dan tenaga kerja
- b. Pergantian atau penambahan peralatan
- c. Pemilihan SDM yang berkualitas
- d. Efektivitas terhadap penggunaan metode konstruksi

Percepatan waktu dalam proyek dapat menghasilkan perbedaan biaya karena percepatan harus sebanding dengan jumlah waktu yang dipercepat. Penambahan biaya per satuan waktu terjadi ketika melakukan percepatan, dan ini dapat diobservasi melalui cost slope dengan menghitung biaya tambahan

untuk setiap jenis percepatan kegiatan..

$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Time} - \text{Crash Time}}$$

2.8 Penelitian Terdahulu

Dari tinjauan beberapa penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa metode Time Cost Trade Off (TCTO) digunakan dalam mengoptimalkan waktu dan biaya dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Berikut adalah hasil temuan dari beberapa penelitian yang menggunakan metode TCTO:

- A. Penelitian oleh Ardien Aslam Muhammad dkk (2015) mengenai analisis percepatan pada Pasar Sentral Gadang Malang menunjukkan bahwa durasi optimum proyek adalah 204 hari dengan biaya total Rp61.288.168.724. Dengan menghemat biaya sebesar Rp155.785.703, proyek dapat dipercepat 26 hari.
- B. Penelitian oleh Andi Maddepungeng dkk (2015) tentang pembangunan Pasar Petir Serang Banten menemukan bahwa durasi optimum proyek adalah 182 hari, namun masih mengalami keterlambatan selama 23 hari. Biaya percepatan dan denda yang dikeluarkan adalah sebesar Rp.6.848.751.591,98, sedangkan biaya tanpa keterlambatan adalah Rp.6.727.075.874,40.
- C. Penelitian oleh Bagus Budi Setiawan (2015) mengenai pembangunan Apartemen Tower C Seson City menunjukkan bahwa terdapat tiga alternatif penyelesaian proyek dengan durasi yang berbeda. Perubahan biaya total proyek akibat percepatan pelaksanaan pekerjaan adalah sebesar Rp.18.468.332.922 untuk Alternatif 1, Rp.18.424.417.006 untuk Alternatif 2, dan Rp.18.166.643.494 untuk Alternatif 3.
- D. Penelitian oleh Ida Ayu Mita Yoni (2013) tentang pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Blahkiuh menemukan bahwa dengan melakukan lembur maksimal, biaya proyek mengalami peningkatan sebesar Rp68.389.265,14. Namun, dengan penambahan tenaga kerja, biaya proyek mengalami penurunan sebesar Rp14.605.663,98.

E. Penelitian oleh Suherman (2016) mengenai proyek Access Road Construction and Soil Clean Up menemukan bahwa dengan melakukan penambahan alat, proyek dapat diselesaikan dalam waktu 100 hari kerja dengan biaya total Rp4.895.673.552.

Dari tinjauan tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode TCTO dalam proyek konstruksi dapat membantu mengoptimalkan waktu dan biaya serta meminimalkan keterlambatan pelaksanaan proyek.

