

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Penelitian Terdahulu**

Dalam penelitian ini diperlukannya penelitian-penelitian yang sudah ada sebagai referensi, supaya penelitian dapat berjalan sebagaimana seharusnya. Di bawah ini merupakan referensi - referensi penelitian yang diambil :

##### **1. Optimalisasi Penjadwalan Proyek Pembangunan Gedung Puskesmas Badas Menggunakan *Critical Path Method-Project Evaluation and Review*.**

Pada penelitian yang membahas mengenai penjadwalan proyek Gedung Puskesmas Badas ini dilakukan oleh D. C. Setiawan, A. Ridwan, dan Suwarno dari Universitas Kadiri (Setiawan et al., 2021). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengoptimalkan jadwal yang ada pada proyek pembangunan Gedung Puskesmas Badas Kabupaten Kadiri. Pada proyek Pembangunan Gedung Puskesmas Badas ini ditemukan jalur kritis pada jaringan kerja persiapan (A), pekerjaan tanah (B), pekerjaan struktur (D), pekerjaan lantai 1 (E), pekerjaan lantai 2 (F), pekerjaan lantai 3 (G), pekerjaan atap, *plafond* dan *listplank* (H), pekerjaan besi (I), pekerjaan listrik (L), pekerjaan penutup lantai dan dinding (M) serta pekerjaan *finishing* (N). Sehingga, hasil dari waktu optimal pada metode CPM dan PERT yaitu 128 hari dengan probabilitas 99.99%. Percepatan yang dikehendaki sebesar 12 hari dengan tambahan biaya sebesar 8,1% yakni senilai Rp 146.719.664 atau total anggaran keseluruhan sebesar Rp 1.964.902.373.

##### **2. Analisis Percepatan Waktu dan Biaya dengan Metode *Crashing* pada Proyek Pembangunan Breakwater Pangandaran.**

Penelitian yang dilakukan oleh Dewi Laras dari Universitas Muhammadiyah Purwokerto ini membahas mengenai manajemen konstruksi dalam kaitan percepatan pelaksanaan proyek pembangunan

*Breakwater* Pangandaran. Dengan adanya keterbatasan tenaga kerja, maka alternatif yang biasa digunakan untuk menunjang percepatan aktivitas adalah dengan menambah jam kerja, dan penambahan tenaga kerja sehingga berpengaruh pada biaya total proyek. Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proyek pembangunan *breakwater* di Pangandaran, yang direncanakan berlangsung selama 118 hari kerja berdasarkan data RAB dan *Time Schedule* dari *software* Primavera Planner, memiliki beberapa item pekerjaan yang termasuk dalam lintasan kritis. Untuk mengatasi hal ini, dilakukan percepatan proyek menggunakan metode *crashing*, yaitu dengan menambah 4 jam lembur per hari serta meningkatkan jumlah tenaga kerja. Hasilnya, durasi proyek dapat dipersingkat menjadi 106 hari kerja. Biaya awal proyek sebesar Rp16.519.915.006,00 kemudian mengalami penurunan menjadi Rp16.311.347.006,00 setelah penerapan metode *crashing*, sehingga terdapat efisiensi biaya sebesar Rp183.676.000,00 atau setara dengan penurunan 10,17%. Dengan demikian, metode percepatan yang diterapkan terbukti mampu menghasilkan durasi pelaksanaan yang lebih efisien serta penghematan biaya yang signifikan. (Laras, 2021).

### **3. *Network Planning Analysis on Road Construction Projects by CV. X Using Evaluation Review Technique (PERT) – Critical Path Method (CPM) and Crashing Method.***

Penelitian yang dilakukan oleh Yuniar Farida dan Lulitasari Putri Anenda dari Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya ini didapat dari *The Internasional Journal od Integrated Engineering* (Farida & Anenda, 2022). Pada penelitian ini, peneliti melakukan perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian proyek pengiriman dengan menggunakan metode PERT-CPM yang menghasilkan durasi optimal yaitu 115 hari di mana durasi tersebut melebihi durasi kontrak yang ditetapkan yaitu 114 hari. Untuk mengatasi keterlambatan pekerjaan tersebut, ada dua skenario yang dapat dipilih. Skenario

pertama adalah *crashing* dengan mengurangi durasi pengerjaan dari 115 hari menjadi 108 hari dengan penghematan biaya sebesar Rp. 690.354 atau sebesar 0,02%. Nilai penghematan tersebut tergolong sangat kecil karena *crashing* hanya dapat dilakukan dengan penambahan tenaga kerja dan keterbatasan jam kerja. Skenario kedua adalah dengan membayar biaya penalti sebesar Rp. 40.468.733. Biaya penalti dihitung berdasarkan keterlambatan waktu penyelesaian proyek dikalikan dengan denda. Perusahaan disarankan untuk memilih skenario pertama. Penelitian ini menggunakan alternatif *crashing* dengan penambahan jumlah tenaga kerja dikarenakan keterbatasan jam kerja. Bila dihadapkan pada studi kasus lain yang sejenis tetapi tidak ada batasan waktu, mungkin bisa mencoba alternatif lain yang lebih jitu seperti penambahan sistem kerja *shift* atau penambahan jam kerja (lembur).

#### **4. Analisis Penjadwalan Waktu Kerja Proyek Menggunakan Metode CPM pada Pembangunan Proyek Gedung DPRD Kabupaten Sleman, Yogyakarta.**

Penelitian yang dilakukan oleh Ricko Rivaldo Ruben Do'o, Rizal Maulana, dan Sely Novita Sari dari Institut Teknologi Nasional Yogyakarta memiliki tujuan untuk mengetahui jumlah durasi optimal proyek pembangunan Kantor DPRD Kabupaten Sleman, Yogyakarta menggunakan metode CPM. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan alat bantu dalam penentuan kegiatan kritis yaitu dengan *software* Microsoft Project 2016. Penerapan metode CPM (*Critical Path Method*) dapat membantu dalam memperlihatkan hubungan antar pekerjaan dengan pekerjaan lainnya dari keseluruhan proyek dan mengidentifikasi pekerjaan yang termasuk dalam lintasan kritis. Durasi optimal dalam mempercepat penyelesaian pekerjaan proyek adalah 315 hari dari durasi wawancara 357 hari dengan efisiensi waktu 11,8 % dan dapat diketahui item pekerjaan yang kritis atau pekerjaan yang memerlukan pengawasan agar tidak terjadi penundaan dan keterlambatan.

## B. Simpulan Penelitian Terdahulu

Dari keempat jurnal penelitian terdahulu dapat ditarik kesimpulan bahwa penerapan metode CPM mampu menunjukkan jalur kritis aktivitas proyek sehingga dapat mengoptimalkan waktu penyelesaian yang dibutuhkan, sedangkan metode *Crashing* dapat diterapkan untuk mengukur efektivitas penyelesaian suatu proses dan mengoptimalkan durasinya. Penelitian pertama membahas mengenai optimalisasi jadwal dengan metode CPM-PERT menggunakan perhitungan manual pada proyek Gedung Puskesmas Badas, penelitian kedua membahas mengenai percepatan waktu dan biaya pada Pembangunan *Breakwater* menggunakan metode *Crashing* dengan alat bantu Primavera Planner, penelitian ketiga membahas mengenai penjadwalan pada konstruksi jalan oleh CV. X dengan metode PERT-CPM dan *Crashing*, sedangkan pada penelitian keempat membahas penjadwalan waktu kerja proyek pada Gedung DPRD dengan metode CPM dan alat bantu Microsoft Project 2016. Oleh karena itu, peneliti akan menggabungkan dan mengkombinasikan metode CPM-Crashing pada evaluasi penjadwalan proyek di Gedung Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman menggunakan alat bantu Microsoft Project 2019.

## C. Perbedaan Penelitian

Penelitian sebelumnya memiliki beberapa perbedaan dari penelitian ini yang dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian yang akan diteliti. Penelitian ini akan memperhitungkan data yang di dapat pada proyek pembangunan Gedung Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.
2. Kombinasi dua metode antara *Critical Path Method* (CPM) dan *Crashing Method* pada pembangunan Gedung. Yang di mana pada *Critical Path Method* berfokus pada pencarian jalur kritis pelaksanaan pekerjaan, sedangkan *Crashing Method* digunakan guna memberikan keuntungan yang signifikan terhadap percepatan waktu pelaksanaan.

3. Alat bantu menghitung dengan menggunakan *software* Microsoft Project 2019.

#### **D. Manajemen Proyek**

Manajemen proyek adalah rangkaian sistem dan prosedur pengendalian yang bertujuan untuk memastikan pemanfaatan sumber daya dalam proyek konstruksi dilakukan secara efisien dan efektif. Sumber daya dalam proyek konstruksi dapat dikelompokkan menjadi *manpower*, *materials*, *machines*, *money*, dan *method* (Ervianto & I, 2004).

Pada manajemen konstruksi sendiri tentu memiliki fungsi dan tujuan yang membantu mencapai hasil pekerjaan yang baik. Di bawah ini merupakan fungsi dari manajemen konstruksi.

1. Perencanaan (*Planning*)

Fungsi perencanaan dari manajemen konstruksi ialah menentukan apa yang harus dikerjakan dan bagaimana mengerjakannya.

2. Mengorganisasi (*Organizing*)

Fungsi ini berhubungan dengan upaya manajemen dalam menentukan jenis-jenis kegiatan yang harus dilaksanakan.

3. Mengarahkan (*Actuating*)

Fungsi ini mencakup upaya untuk membina motivasi serta memberikan arahan kepada staf terkait dalam melaksanakan tugas sesuai dengan perencanaan yang telah ditetapkan.

4. Mengontrol (*Controlling*)

Fungsi terakhir adalah pengendalian (*controlling*), yang bertujuan untuk memastikan bahwa perencanaan dapat terlaksana dengan tepat. Proses pengendalian pada dasarnya melibatkan penerapan perencanaan, analisis terhadap deviasi atau penyimpangan yang terjadi, serta penentuan tindakan yang perlu diambil.

## E. Manajemen Waktu

Manajemen waktu merupakan tahap untuk mendefinisikan proses-proses yang harus dilakukan selama pelaksanaan proyek dengan tujuan memastikan proyek dapat selesai tepat waktu dengan memperhatikan pembatasan biaya dan kualitas. Manajemen waktu proyek mencakup semua proses yang diperlukan untuk memastikan bahwa proyek dapat diselesaikan sesuai dengan jadwal yang ditentukan. Sistem manajemen waktu berfokus pada kelancaran perencanaan dan penjadwalan proyek, yang menyediakan pedoman spesifik untuk menyelesaikan aktivitas proyek dengan cara yang lebih cepat dan efisien. (Muliati & Budi, 2021).

Dalam manajemen waktu proyek terdapat lima aspek yang mendasari dari manajemen waktu itu sendiri, lima aspek tersebut yaitu sebagai berikut.

1. Menghindari kebiasaan memboroskan waktu
2. Menetapkan sasaran
3. Menetapkan prioritas
4. Melakukan komunikasi yang efektif
5. Menghindari penundaan

Menurut Fardila & Adwayah, Selain lima aspek dalam manajemen waktu, terdapat juga faktor-faktor yang mempengaruhi perlu adanya manajemen waktu, faktor-faktor tersebut yaitu.

1. Adanya target yang jelas

Dengan adanya target pencapaian maka waktu pun dapat diatur dengan sebaik-baiknya.

2. Adanya prioritas kerja

Menjalankan manajemen waktu dengan baik dan mencurahkan seluruh konsentrasi dan energi untuk mencapai prioritas yang ditetapkan. Adanya prioritas dalam bekerja merupakan salah satu faktor utama yang membuat berhasil melakukan pekerjaan.

### 3. Penundaan pekerjaan

Kebiasaan menunda pekerjaan seringkali mengakibatkan kekurangan waktu dan energi saat melaksanakannya. Akibatnya, jika dipaksakan untuk diselesaikan, hasil yang diperoleh tidak maksimal dan cenderung sia-sia.

### 4. Penataan ruang kerja

Ruang kerja yang membosankan dapat membuat pekerja merasa kurang nyaman dalam melakukan suatu pekerjaan sehingga dapat mengakibatkan sulitnya mendapatkan hasil pekerjaan yang baik.

## F. Manajemen Biaya

Manajemen adalah usaha yang sistematis untuk menentukan standar yang sesuai dengan sasaran perencanaan, merencanakan sistem informasi, membandingkan pelaksanaan dengan standar, menganalisa kemungkinan adanya penyimpangan antara pelaksanaan dengan standar, kemudian mengambil tindakan pembetulan yang diperlukan agar sumber daya di gunakan secara efektif dan efisien dalam rangka mencapai sasaran (Soeharto, 1999).

Manajemen biaya proyek adalah salah satu faktor kunci yang menentukan kesuksesan suatu proyek. Ketika manajemen biaya digabungkan dengan manajemen kualitas dan manajemen waktu, ketiganya akan membentuk tujuan proyek yang jelas. Manajemen biaya terlibat di seluruh fase proyek, yang terdiri dari perencanaan biaya (*cost planning*) dan pengendalian biaya (*cost control*). Tahap konseptual adalah fase pertama di mana manajemen biaya berperan dalam memperkirakan biaya proyek. Pada tahap ini, hasil estimasi biaya konseptual serta faktor-faktor yang mempengaruhi biaya konstruksi dalam pembangunan gedung akan dihitung. (Rawis et al., 2016).

## G. Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek adalah kegiatan menetapkan jangka waktu kegiatan proyek yang harus diselesaikan, bahan baku, tenaga kerja serta waktu yang dibutuhkan oleh setiap aktivitas. (Iwawo et al., 2016) Penjadwalan proyek dilakukan untuk mendapatkan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui hubungan pekerjaan
  - a. *Predecessor* (mendahului)

*Predecessor* adalah suatu tugas yang harus dimulai/diakhiri sebelum tugas yang lain dimulai/diakhiri atau suatu tugas yang mendahului tugas tertentu. Secara sederhana *predecessor* adalah prasyarat yang dalam hal ini suatu tugas yang harus diselesaikan sebelum tugas tertentu dimulai.
  - b. *Successor* (mengikuti)

*Successor* adalah suatu tugas yang tidak dapat dimulai/diakhiri sebelum suatu tugas tertentu dimulai/diakhiri.
2. Mengetahui durasi tiap pekerjaan dan durasi proyek.
3. Mengetahui waktu mulai dan waktu akhir setiap pekerjaan.
4. Menentukan penyediaan/penggunaan sumber daya manusia, material, alat, biaya, serta metode.
5. Alat *monitoring*, pengendalian, dan evaluasi proyek

## H. Critical Path Method (CPM)

*Critical Path Method (CPM)* atau Metode Jalur Kritis merupakan model kegiatan proyek yang digambarkan dalam bentuk jaringan. *Critical Path Method* merupakan metode untuk merencanakan dan mengawasi proyek – proyek merupakan sistem yang paling banyak dipergunakan di antara semua sistem lain yang memakai prinsip pembentukan jaringan kerja yang berusaha mengoptimalkan biaya total proyek melalui pengurangan atau percepatan waktu penyelesaian total proyek (Saputra et al., 2021).

Dalam jaringan kerja metode *Critical Path Method (CPM)* atau metode Jalur Kritis ini mempunyai istilah-istilah dan simbol-simbol yaitu :




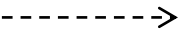
## 1. Istilah CPM

Menurut Mahapatni (2019), istilah yang digunakan pada metode CPM ini yaitu sebagai berikut.

- a. Durasi (D), waktu yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan.
- b. *Earliest Start* (ES), saat paling cepat kegiatan tersebut dimulai.
- c. *Earliest Finish* (EF), saat paling cepat kegiatan tersebut diselesaikan.
- d. *Latest Start* (LS), saat paling lambat kegiatan tersebut dimulai.
- e. *Latest Finish* (LF), saat paling lambat kegiatan tersebut diselesaikan.

## 2. Tanda (Symbol)

Tabel 2. 1 *Symbol Critical Path Method* (CPM)

Simbol	Keterangan	Arti
	Lingkaran = <i>node</i>	Menunjukkan suatu kejadian atau peristiwa
	Anak panah = <i>arrow</i>	Menunjukkan sebuah kejadian atau aktivitas normal yang memerlukan durasi. Baik panjang maupun kemiringan dari anak panah ini tidak mempunyai arti. Sehingga dalam pengambarannya tidak memerlukan skala.
	Anak panah tebal/ berwarna merah	Menunjukkan suatu kegiatan yang harus menjadi perhatian (lintasan kritis).
	Anak panah terputus-putus	Menyatakan kegiatan semu atau <i>dummy</i> . Kegiatan ini tidak memerlukan durasi dan waktu

(Sumber: Mahapatni, 2019)

Untuk menghitung umur proyek pada metode CPM dapat dilakukan tiga cara dibawah ini, yaitu :

1. Menghitung ke Depan (*Forward Pass*)

Perhitungan ke depan dilakukan untuk mendapatkan waktu akhir dari rangkaian kegiatan selesai. Perhitungan ke depan dilakukan dari awal dengan mengambil harga 0 dan selanjutnya diurut sampai akhir. Jika ada atau lebih waktu kejadian maka yang diambil adalah nilai terbesar.

$$EET_j = \max (EET_i + D_{ij}) \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Menghitung ke Belakang (*Backward Pass*)

Perhitungan ke belakang dilakukan untuk mendapatkan waktu awal dari rangkaian kegiatan dimulai. Perhitungan ke belakang dilakukan dari akhir dengan mengambil harga selesai dan selanjutnya diurut sampai awal. Jika ada dua atau lebih waktu kejadian maka diambil adalah nilai terkecil.

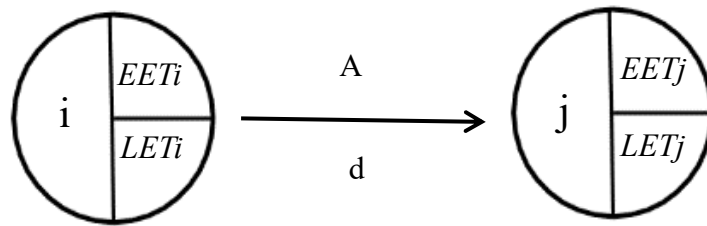
$$LET_i = \min (LET_j + D_{ij}) \dots\dots\dots(2.2)$$

3. Perhitungan Waktu Mengambang (*Float* atau *Slack*)

*Float* dapat memberikan sejumlah kelonggaran waktu dan elastitas pada sebuah jaringan kerja, ini dapat dipakai pada waktu penggunaan jaringan kerja dalam prakteknya dan memungkinkan untuk digunakan pada waktu mengerjakan penentuan jumlah meterial, peralatan tenaga kerja. *Total float* merupakan waktu mengambang total. Perhitungan total float dapat dicari dengan rumus:

$$TF_{ij} = LET_i - EET_j - D_{ij} \dots\dots\dots(2.3)$$

Misalkan suatu peristiwa dapat dilihat pada Gambar 2. 1 sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Urutan Peristiwa Pelaksanaan Kegiatan

Sumber : Mahapatni, 2019

Keterangan simbol yang terdapat pada Gambar 2. 1 :

A = Nama peristiwa (Kegiatan).

i = Nomor peristiwa awal.

j = Nomor peristiwa akhir.

d = Durasi kegiatan.

ESij = *Earliest Start*, waktu kegiatan paling cepat dimulai = EETi

EFij = *Earliest Finish*, waktu kegiatan paling cepat diselesaikan

$$= EFij = ESij + d$$

LSij = *Latest Start*, waktu kegiatan paling lambat harus diambil

$$= LSij = LFij - d$$

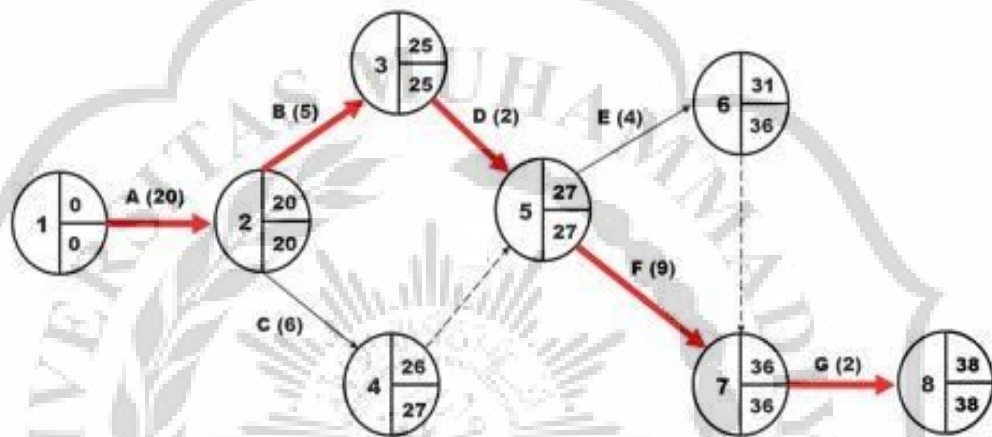
LFij = *Latest Finish*, waktu kegiatan paling lambat harus diselesaikan = LETj

Taksiran yang didapat dari contoh ini adalah :

- 1) Bila i terjadi, maka A bisa dimulai.
- 2) Bila A terjadi, maka i sudah terjadi.
- 3) Bila A selesai, maka j bisa dimulai.
- 4) Bila j terjadi, maka A sudah terjadi.

Kegiatan-kegiatan yang ada pada suatu pekerjaan disusun menurut urutan – urutannya. Kegiatan mana yang harus dikerjakan mendahului kegiatan yang lain dan kegiatan yang baru bisa dilaksanakan setelah kegiatan yang mendahuluinya telah dikerjakan. Hasil akan terbentuk suatu jaringan kerja grafis yang akan menjadi dasar dari teknik perencanaan waktu pelaksanaan pekerja menurut Metode Lintasan Kritis.

Pada suatu kegiatan bisa terjadi  $ES_{ij} = LS_{ij}$  dan  $EF_{ij} = LF_{ij}$  pada keadaan seperti ini disebut kegiatan kritis. Beberapa kegiatan kritis yang berhubungan berturut-turut satu sama lain pada suatu rencana pelaksanaan suatu pekerjaan akan membentuk suatu rangkaian yang dinamakan lintasan kritis. Lintasan kritis adalah waktu terpanjang dari rangkaian yang ada contoh gambar sebuah jaringan kritis dapat dilihat pada Gambar 2. 2 sebagai berikut:



Gambar 2. 2 Jaringan Lintasan Kritis

Sumber : Mahapatni, 2019

### I. *Crashing Method*

*Crashing* adalah suatu proses yang dilakukan secara sengaja, sistematis, dan analitis dengan cara mengevaluasi semua kegiatan dalam sebuah proyek, dengan fokus pada kegiatan yang ada di jalur kritis. Proses *crashing* dilakukan dengan memperkirakan biaya variabel untuk menentukan pengurangan durasi yang paling maksimal dan ekonomis dari suatu kegiatan yang masih memungkinkan untuk dipercepat. Dalam pelaksanaan proyek konstruksi, terdapat banyak jenis pekerjaan, khususnya pada proyek gedung, yang bisa mencakup puluhan, ratusan, bahkan ribuan item kegiatan. Proses percepatan kegiatan dalam suatu proyek dapat dilakukan dengan berbagai metode (Ervianto & I, 2004).

Dalam *crashing project*, terdapat dua komponen waktu, yaitu:

1. Waktu Normal (*Normal Time*), yaitu penyelesaian aktivitas dalam kondisi normal.
2. Waktu Percepatan (*Crash Time*), yaitu waktu terpendek yang paling mungkin untuk menyelesaikan aktivitas. Dari dua komponen tersebut dapat diperoleh Total Waktu Percepatan.

Ada beberapa macam cara yang dapat digunakan untuk melaksanakan percepatan penyelesaian waktu proyek. Cara-cara tersebut antara lain :

1. Penambahan jumlah jam kerja (kerja lembur)
2. Penambahan tenaga kerja
3. Pergantian atau penambahan peralatan
4. Pemilihan sumber daya manusia yang berkualitas
5. Penggunaan metode konstruksi yang efektif

Pada penelitian kali ini, penulis akan melakukan dua kemungkinan percepatan penyelesaian waktu proyek dengan cara penambahan jumlah jam lembur dan penambahan tenaga kerja. Dari kedua hasil percepatan penyelesaian waktu proyek nanti akan diambil hasil yang memiliki waktu paling optimal namun dengan biaya yang efisien pula.

#### **1. *Crashing* 1 (Penambahan Jumlah Jam Kerja (Waktu Lembur))**

Peraturan yang berlaku dalam penambahan jam kerja lembur merupakan Pasal 78 ayat (1) dan (2) UU Ketenagakerjaan No. 13/2003 jo. UU Cipta Kerja No. 11/2020, serta pasal 28 dan 29 Peraturan Pemerintah No. 35/2021 yang mencantumkan peraturan batas maksimal waktu kerja lembur hanya dapat dilakukan paling lama 4 (empat) jam dalam 1 (satu) hari dan 18 (delapan belas) jam dalam 1 (satu) minggu (Indonesia, 2020).

Penambahan jam kerja (lembur) bisa dilakukan dengan melakukan penambahan 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam sesuai dengan waktu penambahan yang diinginkan. Semakin besar penambahan jam lembur dapat menimbulkan penurunan produktivitas. Indikasi dari penurunan

produktivitas pekerja terhadap penambahan jam kerja (lembur) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 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
4 jam	0,4	60

(Sumber: Soeharto, 1999)

Perhitungan percepatan waktu proyek pada *crashing* 1 (penambahan waktu lembur) dapat dilakukan dengan rumus :

$$a. \text{ Produktivitas Harian} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$b. \text{ Produktivitas tiap jam} = \frac{\text{Poduktivitas Harian}}{\text{Jam kerja perhari}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$c. \text{ Produktivitas Lembur} = n \times (1 - \text{koefisien penurunan produktivitas}) \times \text{ produktivitas tiap jam} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan, n : lama penambahan jam kerja (lembur)

$$d. \text{ Produktivitas Crash} = \text{ produktivitas harian} + \text{ produktivitas lembur} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$e. \text{ Crash Duration} = \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas harian sesudah crah}} \dots\dots\dots(2.8)$$

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 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.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung upah penambahan jam kerja yaitu sebagai berikut.

a. Normal ongkos pekerja perhari = produktivitas harian x harga satuan upah pekerja .....(2.9)

b. Normal ongkos pekerja perjam = produktivitas perjam x harga satuan upah pekerja .....(2.10)

c. Biaya lembur pekerja = 1,5 x upah sejam normal untuk penambahan jam kerja (lembur pertama) + 2 x n x upah sejam normal untuk penambahan jam kerja (lembur berikutnya) .....(2.11)  
 Dengan; n = jumlah penambahan jam kerja (lembur)

d. *Crash cost* pekerja perhari = (jam kerja perhari x normal *cost* pekerja) + (n x biaya lembur perjam).....(2.12)

e. *Cost slope* Perhari ( $CS_h$ ) =  $\frac{Crash\ cost - Normal\ cost}{Durasi\ normal - Durasi\ crash}$  .....(2.13)

**2. Crashing 2 (Penambahan Tenaga Kerja)**

Pada cara kedua ini, jumlah tenaga kerja yang terdapat di lapangan diasumsikan sebagai jumlah tenaga kerja rencana sebesar 100%. Dalam proses *crashing* persentase jumlah tenaga kerja dapat ditambah dengan asumsi 10%, 20%, 30% ataupun 50% sesuai dengan kebutuhan di lapangan. Jadi total persentase tenaga kerja dalam proses *crashing* dapat bertambah sesuai dengan penambahan persentase tenaga kerja (Messah et al., 2023). Perhitungan percepatan waktu proyek pada *crashing 2* (penambahan tenaga kerja) dapat dilakukan dengan rumus (Soeharto, 1999):

a. Produktivitas Harian Normal =  $\frac{Volume}{Durasi\ Normal}$  .....(2.14)

b. Produktivitas Harian setelah *Crash*  
 =  $\frac{Produktivitas\ harian\ normal\ x\ persentase\ tenaga\ kerja}{persentase\ tenaga\ kerja\ rencana}$  ....(2.15)

c. Durasi setelah *Crash* =  $\frac{Volume}{Produktivitas\ harian\ setelah\ crash}$  ..(2.16)

Penambahan tenaga kerja akan mengubah biaya untuk tenaga kerja tambahan dari biaya normal tenaga kerja. Pada penambahan persentase tenaga kerja hanya akan ditambahkan kepada tukang atau pekerja, sedangkan untuk mandor dan kepala tukang nilai harga serta jumlah tenaga kerjanya tetap sama. Hal ini menyebabkan hanya tukang dan pekerja saja yang mengalami perubahan biaya perharinya (Muhammad Rivaldy et al., 2023). Untuk menghitung *crash cost* penambahan tenaga kerja yaitu sebagai berikut.

a. Produktivitas Harian Normal (PH) =  $\frac{Volume}{Durasi Normal}$  .....(2.17)

b. Normal Cost Pekerja Perhari (NC<sub>h</sub>) = Produktivitas harian normal x Harga satuan pekerja .....(2.18)

c. Crash Cost Pekerja Perhari (CC<sub>ph</sub>) = Produktivitas harian setelah *crash* x Harga satuan pekerja .....(2.19)

d. Biaya Alat dan Bahan = Normal cost – (Normal cost pekerja perhari x durasi normal) .....(2.20)

e. Crash Cost (CC) = Alat dan bahan + (Crash cost pekerja perhari x Crash Duration).....(2.21)

f. Cost slope Perhari (CS<sub>h</sub>) =  $\frac{Crash\ cost - Normal\ cost}{Durasi\ normal - Durasi\ crash}$  .....(2.22)

**J. Software Microsoft Project**

Microsoft Project adalah *software project management* yang digunakan untuk membuat penjadwalan di suatu proyek, mulai dari penyusunan, perencanaan, dan monitoring jadwal suatu proyek (Asyhar, 2021). Jadwal pada suatu proyek baiknya dibuat dalam bentuk jaringan atau *network*, jaringan yang dimaksud adalah suatu kegiatan yang saling terkait. Pada saat ini, masih banyak proyek yang menggunakan Microsoft Excel untuk membuat penjadwalan suatu proyek, namun jadwal yang dibuat dengan menggunakan Microsoft Excel hanya mampu menampilkan jadwal dengan berupa Kurva-S bukan berupa jaringan kerja. Microsoft Excel juga

tidak memiliki ketergantungan pekerjaan (*predecessor*) sehingga tidak dapat ditemukannya lintasan kritis pada jadwal tersebut.

Oleh karena itu, penulis memilih software Microsoft Project karena software ini memiliki keunggulan yaitu pada bobot pekerjaan yang ada didasarkan dari waktu pekerjaan, sehingga jika terjadi keterlambatan akan secara cepat diketahui berapa hari keterlambatan dari sebuah pekerjaan dengan melakukan tracking schedule/ progress pada aplikasi tersebut. Selain itu, tampilan jadwal yang berbentuk bar chart dan juga memiliki hubungan ketergantungan yaitu predecessor dan successor. Microsoft Project juga mempunyai kemampuan dalam menampilkan *Critical Path Method* (CPM) serta terdapat fitur pendukung skema jaringan (*network planning*).

