

**PENERAPAN *CRITICAL PATH METHOD* DAN *CRASHING PROJECT* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI WAKTU
PADA PROSES PRODUKSI KACA DI PT MARGO GLASS
GALLERY**

Diajukan untuk melengkapi persyaratan mencapai Sarjana S-1 Teknik Industri
Fakultas Teknik Universitas Islam Batik Surakarta



Disusun Oleh:

Ricky Adi Saputra

2022070009

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM BATIK SURAKARTA
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir Yang Berjudul

**PENERAPAN *CRITICAL PATH METHOD* DAN *CRASHING PROJECT*
UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI WAKTU PADA PROSES
PRODUKSI KACA DI PT MARGO GLASS GALLERY**

Yang Dipersiapkan Dan Disusun Oleh :

Ricky Adi Saputra

2022070009

Telah disahkan dan disetujui oleh Tim Pembimbing Pada Tanggal..... Dan dinyatakan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Surakarta, Agustus 2026

Universitas Islam Batik Surakarta
Fakultas Teknik Dekan

Susunan Pembimbing
Pembimbing Utama



Muhammad Fitri Budi Utomo, S.T., M.T.
NIDN. 0609029701



Ir. Bagas Wahyu Adhi,
S.T., M.T.
NIDN. 0624079301

Pembimbing Pendamping



Sri Purwati, S.T., M.T
NIDN. 0622099501

PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi yang berjudul

**PENERAPAN *CRITICAL PATH METHOD* DAN *CRASHING PROJECT*
UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI WAKTU PADA PROSES
PRODUKSI KACA DI PT MARGO GLASS GALLERY**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

Ricky Adi Saputra

2022070009

Telah disahkan dan disetujui oleh Tim Penguji Pada Tanggal..... Dan
dinyatakan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan Untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik.

Susunan Tim Penguji
Ketua



Muhammad Fitri Budi Utomo, S.T.,M.T.
NIDN. 0609029701

Surakarta, Agustus 2026
Universitas Islam Batik
Surakarta Fakultas Teknik
Dekan

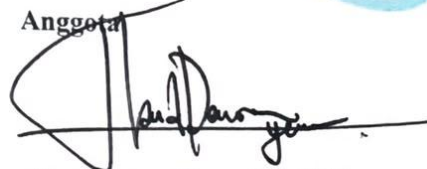

Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T.,M.T.
NIDN. 0624079301

Sekretaris



Sri Purwati, S.T., M.T.
NIDN.0622099501

Anggota



Aland Dewa Yasa, S.T.,M.T.
NIDN. 0614029301

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ricky Adi Saputra

NPM : 2022070009

Judul Tugas Akhir:

**PENERAPAN *CRITICAL PATH METHOD* DAN *CRASHING PROJECT* UNTUK
MENINGKATKAN EFISIENSI WAKTU PADA PROSES PRODUKSI KACA
DI PT MARGO GLASS GALLERY**

Dengan ini menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan penulis karya atau pendapat yang pernah ditulis diterbitkan orang lain, kecuali sebagai acuan atau kutipan penulisan karya ilmiah yang lazim.

Surakarta, 06 September 2026

Ricky Adi Saputra

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga kami dapat menyelesaikan Skripsi dengan baik dan lancar.

Skripsi ini disusun dengan maksud untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Strata 1 di Universitas Islam Batik Surakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri.

Tujuan Skripsi ini adalah untuk memperoleh pemahaman lebih lanjut mengenai segi-segi Penelitian dan pengetahuan yang telah dipelajari selama masa perkuliahan. Skripsi ini merupakan hasil pengamatan di lapangan dari teori-teori yang didapat di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Batik Surakarta.

Pada kesempatan ini pula kami ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T.,M.T.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Batik Surakarta.
2. **Sri Purwati.,S.T., M.Si.PhD** selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Batik Surakarta
3. **Muhammad Fitri Budi Utomo, S.T., M.T.** dan **Sri Purwati.,S.T., M.Si.PhD.** selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing dalam menyusun penelitian ini, yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membantu dan membimbing dalam penyelesaian penelitian ini.
4. **Bapak Margo** selaku direktur PT. Margo Glass Gallery yang telah memberikan izin penelitian.
5. Seluruh dosen-dosen Program Studi Teknik Industri.
6. Seluruh staff dan karyawan PT. Margo Glass Gallery yang telah memberikan izin dan membantu selama penelitian
7. Untuk Ibuku tercinta, terima kasih karena tidak pernah lelah mendoakan, menguatkan, dan memperjuangkanku. Skripsi ini adalah salah satu wujud dari doa-doamu yang Allah kabulkan.
8. Alm. Bp. Sunarno selaku Ayah dari penulis, Skripsi ini adalah salah satu mimpi yang dahulu kita perjuangkan bersama. Maaf karena saat hari ini tiba,

beliau tidak lagi berada di sisiku. Namun doa dan kasih sayang beliau tidak pernah benar-benar pergi. Terima kasih telah menjadi alasan terbesarku untuk terus bertahan hingga garis akhir ini. Semoga Allah SWT menerima segala amal ibadah beliau dan menempatkan Ayah di surga-Nya. Aamiin

9. Teman-teman mahasiswa Universitas Islam Batik Surakarta di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Industri.
10. Serta terima kasih kepada eñau dan Ari Lesmana karena telah membuat lirik lagu Sesi Potret yang maknanya begitu menginspirasi dan sudah menemani penulis disaat mengerjakan tugas akhir.

Dari skripsi yang telah kami selesaikan, kami menyadari sepenuhnya hasil dari pekerjaan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kami tidak menutup diri terhadap saran-saran dan kritikan yang dapat meningkatkan pengetahuan kami.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat, serta dapat membantu meningkatkan pengetahuan dan wawasan bagi diri masing-masing.

Surakarta, 6 September 2026

Ricky Adi Saputra

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
ABSTRAK	xi
MOTTO	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 MANFAAT PENELITIAN	4
1.5 BATASAN MASALAH	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	6
BAB II.....	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 MANAJEMEN.....	8
2.2 MANAJEMEN <i>PROJECT</i>	8
2.3 FUNGSI MANAJEMEN <i>PROJECT</i>	8
2.4 PENJADWALAN <i>PROJECT</i>	9
2.5 JARINGAN KERJA.....	10

2.6 JALUR KRITIS.....	11
2.7 PERCEPATAN PROJECT	12
2.8 <i>CRITICAL PATH METHOD</i>	12
2.9 <i>CRASHING PROJECT</i>	13
2.10 LEAD TIME.....	15
2.11 PROCESSING TIME	15
2.12 BIAYA LANGSUNG DAN BIAYA TIDAK LANGSUNG.....	16
2.13 PENELITIAN TERDAHULU	19
BAB III	22
METODE PENELITIAN.....	22
3.1 <i>FLOWCHART</i> PENELITIAN	22
3.2 OBJEK PENELITIAN	27
3.3 TEKNIK PENGUMPULAN DATA.....	27
3.4 JENIS DAN SUMBER DATA	28
3.5 JADWAL PENELITIAN	28
BAB IV	30
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	30
4.1 PENGUMPULAN DATA.....	30
4.1.1 PROFIL PERUSAHAAN.....	30
4.1.2 DATA PEKERJAAN PROJECT	30
4.2 PENGOLAHAN DATA.....	33
4.2.1 IDENTIFIKASI HUBUNGAN ANTAR PEKERJAAN.....	33
4.2.2 MODEL JARINGAN KERJA.....	34
4.2.3 HASIL METODE <i>CRITICAL PATH METHOD</i>	25
4.2.4 HASIL METODE <i>CRASHING</i> PROYEK.....	28
4.2.5 PERHITUNGAN PENGHEMATAN BIAYA TIDAK LANGSUNG	35

4.2.6 PERHITUNGAN CRITICAL PATH METHOD SETELAH CRASHING	38
BAB V.....	42
ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL	42
5.1 ANALISIS HASIL	42
5.1.1 ANALISIS STRUKTUR KERJA	42
5.1.2 ANALISIS CRITICAL PATH METHOD.....	43
5.1.3 ANALISIS JALUR KRITIS	43
5.1.4 ANALISIS SELEKSI AKTIVITAS CRASHING	44
5.1.5 ANALISIS CRASH TIME.....	45
5.1.6 ANALISIS CRASH COST	45
5.1.7 ANALISIS BIAYA TIDAK LANGSUNG.....	46
5.1.8 ANALISIS TIME-COST TRADE-OFF	47
5.1.9 ANALISIS EFISIENSI WAKTU	47
5.1.10 ANALISIS EFISIENSI BIAYA.....	48
5.1.11 ANALISIS MANAJERIAL	48
5.2 INTERPRETASI HASIL	49
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	51
6.1 KESIMPULAN	51
6.2 SARAN	52
DAFTAR PUSTAKA	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	29
Tabel 4. 1 Data Pekerjaan Project	31
Tabel 4. 2 Identifikasi Hubungan Antar Pekerjaan	33
Tabel 4. 3 Perhitungan Forward pass	26
Tabel 4. 4 Perhitungan Backward Pass	29
Tabel 4. 5 Perhitungan Total Float.....	27
Tabel 4. 6 Penentuan Aktivitas yang di-Crash.....	30
Tabel 4. 7 Perhitungan Crash Time	31
Tabel 4. 8 Perhitungan Crash Time	32
Tabel 4. 9 Perhitungan Cost Slope.....	33
Tabel 4. 10 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Crashing	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jaringan Kerja	10
Gambar 2. 2 Jalur Kritis	11
Gambar 2. 3 Crashing Project	13
Gambar 3. 1 FlowChart Penelitian.....	22
Gambar 4. 1 Diagram Kerja	32
Gambar 4. 2 Model Jaringan Kerja	24
Gambar 4. 3 Jaringan Forward Pass.....	28
Gambar 4. 4 Perhitungan Backward Pass	32
Gambar 4. 5 Perhitungan Total Float	27
Gambar 4. 6 Crashing Project	28
Gambar 4. 7 Jalur Kritis	29
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Sebelum dan Sesudah Crashing.....	35

ABSTRAK

Ricky Adi Saputra, NPM: 2022070009, Penerapan *Critical Path Method* (CPM) dan *Crashing Project* Untuk Meningkatkan Efisiensi Waktu dan Biaya Pada Proses Produksi Kaca di PT Margo Glass Gallery. Tugas Akhir. Surakarta : Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Islam Batik (UNIBA), 6 Agustus 2026

Keterlambatan penyelesaian *project* merupakan salah satu permasalahan yang dapat meningkatkan biaya operasional dan menghambat produktivitas perusahaan. PT Margo Glass Galery merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi kaca dan aluminium yang dalam pelaksanaan produksinya masih menghadapi permasalahan terkait waktu penyelesaian project, khususnya pada produk Antique Wall Mirror Style. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur dan urutan aktivitas produksi, menentukan jalur kritis menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM), serta menerapkan metode *Crashing Project* untuk meningkatkan efisiensi waktu dan biaya. Metode penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi aktivitas produksi, menyusun jaringan kerja, menentukan jalur kritis berdasarkan nilai Total *Float*, serta melakukan percepatan pada aktivitas yang berada pada jalur kritis dan memungkinkan untuk dilakukan *crashing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jalur kritis terdiri dari aktivitas A–B–C–D–E–G–H–I–J–K–L–M–U–V–W–X dengan durasi keseluruhan project sebesar 65 jam. Pada aktivitas produksi yang menjadi fokus percepatan, durasi normal sebesar 35 jam dapat dikurangi menjadi 25,7 jam, sehingga terjadi penghematan waktu sebesar 9,3 jam atau 26,7%. Percepatan tersebut menyebabkan peningkatan biaya langsung dari Rp1.107.639 menjadi Rp1.383.228, atau terdapat tambahan biaya sebesar Rp275.589. Di sisi lain, pengurangan durasi produksi menyebabkan biaya tidak langsung berupa konsumsi listrik mengalami penghematan sebesar Rp161.751,46. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan metode CPM dan *Crashing Project* dapat membantu perusahaan menentukan aktivitas yang perlu diprioritaskan untuk percepatan serta memberikan alternatif dalam meningkatkan efisiensi waktu dengan mempertimbangkan konsekuensi biaya yang ditimbulkan.

Kata Kunci: *Critical Path Method* (CPM), *Crashing Project*, efisiensi waktu, manajemen project.

ABSTRACT

Delays in project completion are one of the problems that can increase operational costs and hinder company productivity. PT Margo Glass Galery is a company engaged in glass and aluminum production that still faces problems related to project completion time, particularly in the production of the Antique Wall Mirror Style product. This study aims to identify the structure and sequence of production activities, determine the critical path using the Critical Path Method (CPM), and apply the Crashing Project method to improve time and cost efficiency. The research method was conducted by identifying production activities, developing a project network, determining the critical path based on Total Float values, and accelerating activities on the critical path that were technically feasible for crashing. The results showed that the critical path consisted of activities A–B–C–D–E–G–H–I–J–K–L–M–U–V–W–X, with a total project duration of 65 hours. For the production activities targeted for acceleration, the normal duration of 35 hours was reduced to 25.7 hours, resulting in a time reduction of 9.3 hours or 26.7%. The acceleration increased direct costs from Rp1,107,639 to Rp1,383,228, resulting in an additional cost of Rp275,589. On the other hand, the reduction in production duration generated indirect cost savings in electricity consumption amounting to Rp161,751.46. These results indicate that the application of the CPM and Crashing Project methods can help the company determine activities that should be prioritized for acceleration and provide an alternative for improving time efficiency while considering the resulting cost consequences.

Keywords: Critical Path Method (CPM), Crashing Project, time efficiency, cost efficiency, project management.

MOTTO

*“and i miss you higher than the skyline and i see you brighter than the city lights i
could save a thousand lives i can't even stay by your side i'm falling away with
every brand new day”*

I miss you every brand new day - For Revenge

”Lagi pula hidup akan berakhir”

Berdansalah, Karir ini tak ada artinya - Hindia

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Keterlambatan Proyek merupakan salah satu persoalan klasik dalam manajemen proyek, khususnya di sektor konstruksi dan manufaktur. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa peningkatan biaya operasional, tetapi juga penurunan kualitas pekerjaan serta berkurangnya kepercayaan pelanggan. Berdasarkan teori manajemen proyek, keterlambatan umumnya disebabkan oleh perencanaan yang kurang matang, keterbatasan sumber daya, metode kerja manual, serta koordinasi antar tim yang tidak efektif (Anwar, 2025). Pada perusahaan seperti PT Margo Glass Gallery, yang bergerak di bidang kaca dan aluminium, proses desain masih banyak dilakukan secara manual, pengangkutan material belum sepenuhnya memanfaatkan teknologi modern, dan pengaturan jadwal kerja sering kali belum berbasis sistem. Kondisi tersebut menjadikan proyek rentan mengalami keterlambatan (Purnomo, 2025).

Berdasarkan data produksi PT Margo Glass Gallery periode Januari–Desember 2025, produk Antique Wall Mirror Style mengalami rata-rata keterlambatan penyelesaian selama 22 jam dari target yang telah ditetapkan. Dari 96 pesanan yang diproduksi, sebanyak 24 pesanan mengalami keterlambatan. Kondisi ini menyebabkan jadwal pengiriman kepada pelanggan ikut mundur dan berdampak pada kepuasan pelanggan serta efisiensi proses produksi. Kondisi tersebut sejalan dengan pendapat Anwar (2025) yang menyatakan bahwa keterlambatan project umumnya disebabkan oleh perencanaan yang kurang matang, keterbatasan sumber daya, metode kerja yang belum optimal, serta koordinasi antar tim yang kurang efektif.

Dalam literatur manajemen proyek dijelaskan bahwa *Crashing Project* merupakan suatu metode untuk mempersingkat lamanya waktu proyek dengan mengurangi waktu dari satu atau lebih aktivitas project yang penting menjadi

kurang dari waktu normal aktivitas (Universitas Esa Unggul, 2012). *Crashing* menekankan pada hubungan linear antara waktu dan biaya, di mana percepatan waktu proyek akan meningkatkan biaya tambahan. Oleh karena itu, *project manager* harus mampu memilih aktivitas dengan biaya percepatan paling rendah agar efisiensi tetap terjaga.

Secara umum, teori keterlambatan proyek menyebutkan bahwa semakin lama proyek berlangsung, semakin tinggi pula biaya tidak langsung yang harus ditanggung, seperti biaya administrasi, sewa peralatan, dan tenaga kerja. Sebaliknya, percepatan proyek melalui *crashing* dapat menekan biaya tidak langsung, meskipun menambah biaya langsung. Dengan demikian, terdapat *trade-off* antara waktu dan biaya yang harus dianalisis secara cermat. Heizer dan Render (2005) menekankan bahwa manajemen operasi modern harus mampu menyeimbangkan antara efisiensi biaya dan ketepatan waktu, sementara Taylor (2008) menambahkan bahwa analisis jalur kritis dan crashing merupakan bagian dari sains manajemen yang membantu pengambilan keputusan berbasis data.

Selain biaya langsung yang timbul akibat percepatan, durasi pengerjaan proyek juga dapat memengaruhi biaya tidak langsung yang dikeluarkan selama proses pelaksanaan. Semakin lama suatu proyek berlangsung, semakin lama pula sumber daya pendukung digunakan sehingga biaya tidak langsung yang berkaitan dengan durasi pelaksanaan dapat meningkat. Sebaliknya, percepatan proyek melalui metode *Crashing Project* dapat mengurangi durasi pelaksanaan dan berpotensi menurunkan biaya tidak langsung. Penelitian Malifa et al (2019) menunjukkan bahwa penerapan metode *Crashing* mampu mempercepat durasi project sekaligus menyebabkan penurunan biaya tidak langsung, meskipun terdapat penambahan biaya langsung akibat percepatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa evaluasi penerapan *Crashing Project* perlu mempertimbangkan tidak hanya tambahan biaya langsung, tetapi juga potensi penghematan biaya tidak langsung yang diperoleh akibat pengurangan durasi project (Malifa et al., 2019).

Studi kasus pada PT Margo Glass Gallery menjadi relevan karena perusahaan ini sering menangani project pemasangan kaca dan aluminium dengan tenggat waktu ketat, sementara metode kerja yang digunakan masih banyak bergantung pada tenaga manual. Analisis percepatan project menggunakan CPM dan Crashing diharapkan dapat memberikan solusi praktis dalam meningkatkan efektivitas manajemen project, mempercepat penyelesaian pekerjaan, serta menekan risiko keterlambatan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan memberikan kontribusi akademik dalam penerapan metode manajemen project modern pada perusahaan yang masih beradaptasi dari sistem manual menuju sistem berbasis analisis ilmiah.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan dari latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan:

1. Bagaimana struktur dan urutan aktivitas di PT Margo Glass Gallery?
2. Bagaimana cara menentukan aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis menggunakan metode *Critical Path Method* pada urutan aktivitas di PT Margo Glass Gallery?
3. Bagaimana penerapan metode *Crashing Project* dapat mempercepat waktu penyelesaian project dengan menambahkan sumber daya secara efisien?
4. Bagaimana pengaruh pengurangan durasi proses produksi terhadap penghematan biaya tidak langsung setelah penerapan metode *Crashing Project* pada PT Margo Glass Gallery?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi struktur kerja dan urutan aktivitas di PT Margo Glass Gallery
2. Menentukan jalur kritis dari masing-masing aktivitas project menggunakan metode *Critical Path Method*.
3. Menerapkan metode *Crashing* Proyek agar dapat mempercepat waktu dalam penyelesaian project.

4. Menganalisis pengaruh pengurangan durasi proses produksi terhadap penghematan biaya tidak langsung setelah penerapan metode *Crashing Project* pada PT Margo Glass Galery.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

1. Bagi Universitas

- A. Menambah khazanah penelitian di bidang manajemen *project*, khususnya penerapan metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Crashing Project* dalam percepatan waktu project.
- B. Menjadi referensi akademik bagi dosen dan peneliti dalam mengembangkan teori serta praktik manajemen operasi yang berorientasi pada efisiensi waktu dan biaya.
- C. Meningkatkan reputasi universitas melalui karya ilmiah yang relevan dengan kebutuhan dunia industri.

2. Bagi Mahasiswa

- A. Memberikan pengalaman penelitian yang aplikatif dengan studi kasus nyata di perusahaan, sehingga memperkuat pemahaman teori manajemen *project*.
- B. Menjadi sarana pembelajaran untuk menguasai metode analisis jaringan kerja, jalur kritis, serta strategi percepatan project.
- C. Membekali mahasiswa dengan keterampilan analitis yang dapat digunakan dalam dunia kerja, terutama di bidang manajemen operasi dan konstruksi.

3. Bagi Perusahaan (PT Margo Glass Gallery)

- A. Memberikan solusi praktis dalam menyusun strategi percepatan project yang lebih efisien dan sistematis.
- B. Membantu perusahaan mengidentifikasi aktivitas kritis yang paling berpengaruh terhadap durasi project, sehingga percepatan dapat dilakukan dengan biaya tambahan minimal.
- C. Meningkatkan produktivitas dan daya saing perusahaan melalui penerapan metode manajemen *project* modern yang berbasis analisis ilmiah.

1.5 BATASAN MASALAH

Agar pembahasan tidak melebar dan tetap fokus, maka penelitian ini dibatasi pada:

1. Penelitian dilakukan pada proses produksi di PT Margo Glass Galery dengan objek penelitian berupa salah satu project yang mengalami keterlambatan dalam penyelesaiannya.
2. Data yang digunakan dalam penelitian meliputi data aktivitas pekerjaan, durasi normal, biaya normal, serta data yang berkaitan dengan proses percepatan pekerjaan pada project yang diteliti.
3. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah *Critical Path Method* (CPM) untuk menentukan jalur kritis dan *Crashing Project* untuk menganalisis alternatif percepatan durasi project serta perubahan biaya yang ditimbulkan.
4. Perhitungan biaya dalam penelitian meliputi biaya langsung yang terdiri dari normal *cost* dan *crash cost*, serta biaya tidak langsung yang berkaitan dengan durasi proses produksi. Biaya tidak langsung yang dihitung dalam penelitian ini difokuskan pada biaya konsumsi listrik selama proses produksi.
5. Perhitungan *Crashing Project* dilakukan pada aktivitas yang berada pada jalur kritis dan memungkinkan untuk dilakukan percepatan berdasarkan kondisi proses produksi di perusahaan.
6. Perhitungan penghematan biaya tidak langsung dilakukan berdasarkan pengurangan durasi proses produksi sebelum dan sesudah penerapan *Crashing Project*.
7. Penelitian tidak membahas perubahan harga bahan baku, perubahan harga jual produk, maupun faktor *eksternal* lain yang tidak berkaitan langsung dengan proses percepatan project yang diteliti.
8. Hasil penelitian berupa perbandingan durasi dan biaya sebelum dan sesudah penerapan *Crashing Project* serta penghematan biaya tidak langsung yang diperoleh akibat pengurangan durasi proses produksi.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun dalam enam bab yang saling berkaitan. Adapun sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I – PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang permasalahan yang menjadi dasar dilakukannya penelitian pada PT Margo Glass Galery, khususnya terkait keterlambatan proses produksi dan upaya peningkatan efisiensi waktu dan biaya melalui metode Critical Path Method (CPM) dan Crashing Project. Bab ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian.

BAB II – TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori dan penelitian terdahulu yang digunakan sebagai landasan dalam penelitian. Pembahasan meliputi konsep manajemen *project*, *Critical Path Method* (CPM), jaringan kerja, jalur kritis, *float*, *Crashing Project*, *normal time*, *crash time*, *normal cost*, *crash cost*, *cost slope*, biaya langsung dan biaya tidak langsung, serta konsep biaya listrik yang berkaitan dengan durasi proses produksi. Bab ini juga memuat penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar pendukung penelitian.

BAB III – METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian. Pembahasan meliputi objek penelitian, jenis dan sumber data, metode pengumpulan data, tahapan pengolahan data menggunakan *Critical Path Method* (CPM) dan *Crashing Project*, serta tahapan perhitungan penghematan biaya tidak langsung. Tahapan penelitian digambarkan dalam bentuk *flowchart* untuk menunjukkan alur penelitian secara sistematis mulai dari pengumpulan data hingga penarikan kesimpulan.

BAB IV – PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menyajikan data yang diperoleh dari PT Margo Glass Galery serta proses pengolahan data dalam penelitian. Pengolahan data meliputi

identifikasi aktivitas project, penyusunan jaringan kerja, perhitungan *Critical Path Method* (CPM), penentuan jalur kritis, penentuan aktivitas yang dapat dilakukan *crashing*, serta perhitungan *normal time*, *crash time*, *normal cost*, *crash cost*, dan *cost slope*. Selanjutnya dilakukan perhitungan *Crashing Project* untuk memperoleh durasi setelah percepatan. Bab ini juga memuat perhitungan biaya tidak langsung, khususnya biaya konsumsi listrik, sebelum dan sesudah *crashing* untuk mengetahui besarnya penghematan biaya yang diperoleh akibat pengurangan durasi proses produksi.

BAB V – ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Bab ini berisi analisis dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data pada Bab IV. Analisis meliputi hasil penentuan jalur kritis menggunakan *Critical Path Method* (CPM), hasil percepatan menggunakan *Crashing Project*, perubahan durasi sebelum dan sesudah *crashing*, perubahan biaya akibat percepatan, serta penghematan biaya tidak langsung yang diperoleh dari pengurangan durasi proses produksi. Hasil tersebut kemudian digunakan untuk menilai efisiensi penerapan metode CPM dan *Crashing Project* pada PT Margo Glass Galery.

BAB VI – KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan mencakup hasil penentuan jalur kritis, perubahan durasi setelah penerapan *Crashing Project*, perubahan biaya yang terjadi, serta penghematan biaya tidak langsung yang diperoleh. Bab ini juga memuat saran yang dapat diberikan kepada PT Margo Glass Galery maupun peneliti selanjutnya sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 MANAJEMEN

Manajemen adalah proses perencanaan, pengorganisasian, pengarahan, dan pengendalian sumber daya untuk mencapai tujuan project dalam waktu, biaya, dan kualitas yang telah ditentukan. Menurut Husein (2008), manajemen project melibatkan banyak disiplin ilmu yang harus diterapkan secara terintegrasi untuk memastikan project dapat diselesaikan dengan hasil yang optimal. Hal ini mencakup berbagai kegiatan mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga pengendalian project untuk mengatasi risiko dan tantangan yang mungkin muncul sepanjang siklus hidup project.

2.2 MANAJEMEN *PROJECT*

Manajemen *project* merupakan penerapan prinsip-prinsip manajemen dalam perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian suatu project agar tujuan dapat tercapai sesuai dengan waktu, biaya, dan kualitas yang ditentukan. Menurut Taylor (2008), manajemen project adalah seni mengintegrasikan berbagai aktivitas yang saling bergantung untuk menghasilkan output sesuai spesifikasi yang diinginkan. Heizer dan Render (2005) menambahkan bahwa manajemen project berfungsi sebagai alat koordinasi dalam mengoptimalkan sumber daya, sehingga project dapat berjalan lebih efisien.

2.3 FUNGSI MANAJEMEN *PROJECT*

Manajemen project memiliki fungsi utama untuk memastikan bahwa suatu project dapat berjalan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, baik dari segi waktu, biaya, maupun kualitas. Menurut Heizer & Render (2005), fungsi manajemen project mencakup perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, dan pengendalian aktivitas project agar seluruh sumber daya dapat dimanfaatkan secara optimal.

Secara lebih rinci, fungsi manajemen *project* meliputi:

1. Perencanaan (*Planning*): menentukan tujuan, ruang lingkup, jadwal, serta alokasi sumber daya yang diperlukan.

2. Pengorganisasian (*Organizing*): membentuk struktur organisasi project, membagi tugas, serta menetapkan tanggung jawab setiap anggota tim.
3. Pelaksanaan (*Executing*): menjalankan aktivitas sesuai rencana dengan koordinasi yang baik antar bagian.
4. Pengendalian (*Controlling*): memantau perkembangan project, membandingkan hasil dengan rencana, serta melakukan tindakan korektif jika terjadi penyimpangan.

Taylor (2008) menekankan bahwa fungsi manajemen project tidak hanya berorientasi pada penyelesaian pekerjaan, tetapi juga pada efisiensi penggunaan sumber daya. Dengan fungsi-fungsi tersebut, manajemen project berperan penting dalam mendukung percepatan waktu project, menjaga kualitas hasil, serta mengendalikan biaya agar tetap sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan.

2.4 PENJADWALAN PROJECT

Penjadwalan project merupakan proses penting dalam manajemen project yang bertujuan untuk menentukan urutan aktivitas, waktu mulai, waktu selesai, serta hubungan ketergantungan antar aktivitas agar project dapat diselesaikan sesuai target. Menurut Heizer & Render (2005), penjadwalan project berfungsi sebagai alat koordinasi dan pengendalian, sehingga manajer project dapat mengalokasikan sumber daya secara tepat dan memantau perkembangan pekerjaan.

Dalam praktiknya, penjadwalan project memiliki beberapa fungsi utama, yaitu:

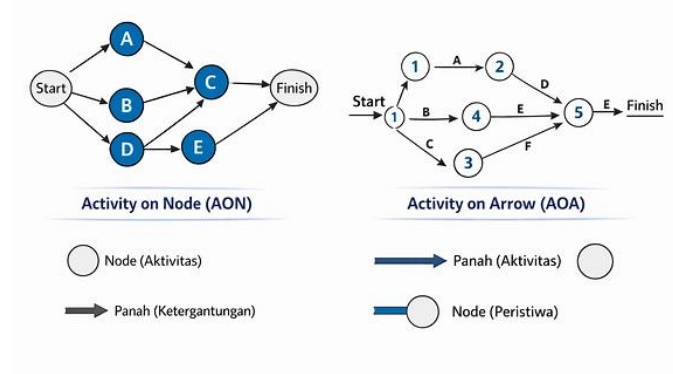
1. Mengatur urutan aktivitas agar pekerjaan berjalan sistematis dan tidak saling tumpang tindih.
2. Menentukan durasi project dengan memperhitungkan waktu yang dibutuhkan untuk setiap aktivitas.
3. Mengidentifikasi hubungan ketergantungan antar aktivitas, sehingga dapat diketahui aktivitas mana yang harus selesai terlebih dahulu sebelum aktivitas lain dimulai.
4. Menyediakan dasar pengendalian project, karena jadwal dapat digunakan untuk membandingkan rencana dengan realisasi.

Metode penjadwalan project dapat dilakukan dengan berbagai teknik, seperti Barchart (Gantt Chart), Program Evaluation and Review Technique (PERT), dan Critical Path Method (CPM). CPM menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan karena mampu menunjukkan jalur kritis yang menentukan durasi project, serta menjadi dasar dalam penerapan metode percepatan waktu seperti Crashing Project.

Dengan penjadwalan yang baik, perusahaan dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mempercepat penyelesaian project, serta menekan biaya tidak langsung. Hal ini sangat relevan bagi PT Margo Glass Gallery yang membutuhkan sistem penjadwalan modern untuk mendukung percepatan waktu dan efisiensi project.

2.5 JARINGAN KERJA

Jaringan kerja project adalah representasi grafis dari hubungan antar aktivitas dalam suatu project. Menurut Heizer & Render (2005), jaringan kerja digunakan untuk menggambarkan urutan kegiatan, waktu mulai dan selesai, serta ketergantungan antar aktivitas. Dengan adanya jaringan kerja, manajer project dapat melihat keseluruhan struktur project secara sistematis sehingga memudahkan dalam perencanaan dan pengendalian. Diagram jaringan biasanya disusun menggunakan dua pendekatan, yaitu *Activity on Node* (AON) dan *Activity on Arrow* (AOA). Berikut adalah contoh dari diagramn AON dan AOA:



Gambar 2. 1 Jaringan Kerja

Dari gambar diatas *Activity on Node* (AON) adalah aktivitas yang digambarkan dalam bentuk kotak (node), sedangkan panah menunjukkan hubungan ketergantungan antar aktivitas. Sedangkan *Activity on Arrow* (AOA) adalah

aktivitas digambarkan dalam bentuk panah, sedangkan node menunjukkan peristiwa (event) awal dan akhir aktivitas.

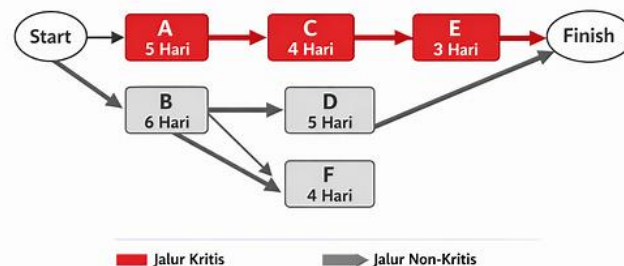
Fungsi utama jaringan kerja adalah:

1. Mengidentifikasi urutan aktivitas project secara jelas.
2. Menentukan waktu mulai dan selesai setiap aktivitas.
3. Menunjukkan hubungan ketergantungan antar aktivitas.
4. Menjadi dasar analisis jalur kritis (Critical Path Method) untuk mengetahui aktivitas yang paling menentukan durasi project.

Dengan jaringan kerja, perusahaan seperti PT Margo Glass Gallery dapat menyusun perencanaan project yang lebih terstruktur, mengurangi risiko keterlambatan, serta mendukung penerapan metode percepatan waktu seperti Critical Path Method (CPM) dan Crashing Project.

2.6 JALUR KRITIS

Jalur kritis (Critical Path) adalah rangkaian aktivitas dalam suatu project yang menentukan durasi total penyelesaian project. Menurut Heizer & Render (2005), jalur kritis terdiri dari aktivitas yang memiliki float atau slack time sama dengan nol, artinya setiap keterlambatan pada aktivitas di jalur ini akan langsung menyebabkan keterlambatan keseluruhan project.



Gambar 2. 2 Jalur Kritis

Dalam analisis jaringan kerja, jalur kritis berfungsi untuk:

1. Menentukan aktivitas yang paling berpengaruh terhadap waktu penyelesaian project.
2. Menjadi dasar dalam pengambilan keputusan percepatan waktu project (crashing).

3. Membantu manajer project memprioritaskan sumber daya pada aktivitas yang tidak boleh terlambat.

Langkah-langkah menentukan jalur kritis meliputi:

1. Menyusun jaringan kerja project berdasarkan urutan dan ketergantungan aktivitas.
2. Menghitung waktu mulai paling awal (Early Start) dan waktu selesai paling awal (Early Finish).
3. Menghitung waktu mulai paling akhir (Late Start) dan waktu selesai paling akhir (Late Finish).
4. Menentukan float (kelonggaran waktu) untuk setiap aktivitas.
5. Aktivitas dengan float = 0 merupakan bagian dari jalur kritis.

Dengan mengetahui jalur kritis, perusahaan seperti PT Margo Glass Gallery dapat fokus pada aktivitas yang paling menentukan durasi project dan melakukan percepatan secara efisien menggunakan metode Crashing Project.

2.7 PERCEPATAN PROJECT

Percepatan pekerjaan dapat dilakukan dengan 2 (dua) landasan yang berbeda. Landasan pertama adalah ketika percepatan pekerjaan dilaksanakan atas perintah pemilik project atau konsultan MK kepada kontraktor untuk menambah jumlah pekerja, waktu kerja (lembur), atau pekerjaan bergantian (shift work) sehingga pekerjaan dapat selesai lebih cepat dari waktu yang telah disepakati di dalam kontrak. Percepatan ini dinamakan percepatan actual (actual acceleration). Sedangkan jenis percepatan pekerjaan kedua disebut percepatan konstruktif (constructive acceleration) yaitu upaya percepatan pekerjaan yang dilakukan oleh kontraktor tanpa adanya instruksi langsung dari pemilik project atau konsultan MK. Percepatan ini dilakukan untuk memenuhi tenggat waktu penyelesaian pekerjaan (Seng Hansen, Manajemen Kontrak Konstruksi, 2015:127).

2.8 CRITICAL PATH METHOD

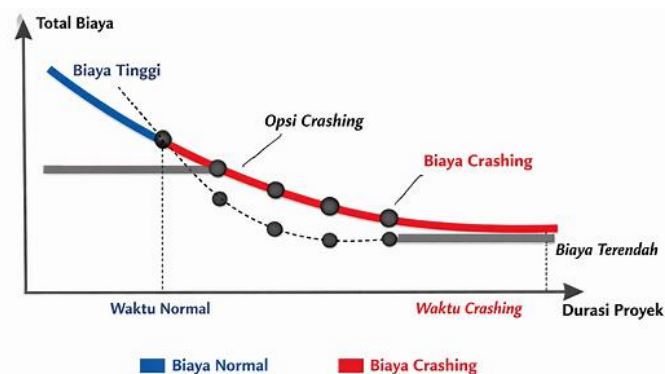
Critical Path Method (CPM) adalah metode analisis jaringan kerja yang digunakan untuk menentukan jalur kritis dalam suatu project, yaitu rangkaian aktivitas yang menentukan durasi total penyelesaian project. Menurut Heizer & Render (2005), CPM membantu manajer project mengidentifikasi aktivitas yang

paling berpengaruh terhadap waktu penyelesaian dan mengalokasikan sumber daya secara efisien.

Metode CPM dikembangkan pada akhir tahun 1950-an oleh DuPont Company dan Remington Rand untuk mengoptimalkan jadwal project industri kimia. Hingga kini, CPM menjadi salah satu teknik paling populer dalam manajemen project karena kemampuannya memberikan gambaran menyeluruh tentang waktu, biaya, dan ketergantungan antar aktivitas.

2.9 CRASHING PROJECT

Dapat diartikan sebagai akselerasi project. Akselerasi merupakan pengurangan waktu normal aktivitas. Akselerasi diperoleh dengan menyediakan lebih banyak sumber daya (diukur dalam satuan mata uang), bagi aktivitas yang akan dikurangi waktunya. Crashing Project merupakan suatu metode untuk mempersingkat lamanya waktu project dengan mengurangi waktu dari satu atau lebih aktivitas project yang penting menjadi kurang dari waktu normal aktivitas. Crashing Project merupakan tindakan untuk mengurangi durasi keseluruhan project setelah menganalisa alternatif-alternatif yang ada (dari jaringan kerja). Bertujuan untuk mengoptimalkan waktu kerja dengan biaya terendah. Seringkali dalam crashing terjadi “trade-off”, yaitu pertukaran waktu dengan biaya.



Gambar 2. 3 Crashing Project

2.9.1 CRASH TIME

Crash Time merupakan waktu tercepat yang dapat dicapai suatu aktivitas setelah dilakukan percepatan melalui penambahan sumber daya. Pada penelitian ini,

percepatan dilakukan dengan menambah tenaga kerja pada aktivitas produksi yang berada pada jalur kritis.

Rumus yang digunakan:

$$CT = \frac{NT \times JT_N}{JT_C}$$

Keterangan:

CT = Crash Time (jam)

NT = Normal Time (jam)

JT_n = Jumlah tenaga kerja normal (orang)

JT_c = Jumlah tenaga kerja setelah crashing (orang)

2.9.2 CRASH COST

Crash Cost merupakan biaya yang dikeluarkan setelah dilakukan percepatan aktivitas melalui penambahan sumber daya. Biaya ini umumnya lebih besar dibandingkan biaya normal karena adanya tambahan tenaga kerja.

Rumus yang digunakan:

$$CC = NC + (U \times CT)$$

Keterangan:

CC = Crash Cost (Rp)

NC = Normal Cost (Rp)

U = Upah tenaga kerja per jam (Rp/jam)

CT = Crash Time (jam)

2.9.3 COST SLOPE

Cost Slope merupakan biaya tambahan yang diperlukan untuk mempercepat aktivitas dalam setiap satu satuan waktu. Nilai Cost Slope digunakan untuk menentukan aktivitas yang paling ekonomis untuk dilakukan crashing.

Rumus yang digunakan:

$$CS = \frac{CC - NC}{NT - CT}$$

Keterangan:

CS = Cost Slope (Rp/jam)

CC = Crash Cost (Rp)

NC = Normal Cost (Rp)

NT = Normal Time (jam)

CT = Crash Time (jam)

2.10 LEAD TIME

Lead time merupakan waktu yang dibutuhkan sejak suatu pesanan atau permintaan dilakukan hingga barang atau material diterima dan siap digunakan dalam proses produksi. Menurut Heizer, Render, dan Munson (2020), lead time mencakup keseluruhan waktu yang diperlukan dalam proses pemesanan, pemrosesan pesanan, persiapan, pengiriman, hingga material diterima oleh perusahaan. Dengan demikian, lead time tidak hanya dipengaruhi oleh aktivitas internal perusahaan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti ketersediaan material, kapasitas pemasok, dan proses distribusi.

Dalam kegiatan pengadaan barang, lead time menjadi salah satu faktor penting yang menentukan kelancaran proses produksi. Semakin panjang lead time, semakin lama waktu yang dibutuhkan hingga material tersedia. Sebaliknya, lead time yang pendek memungkinkan proses produksi dapat segera dilaksanakan. Karena sebagian besar komponen lead time berada di luar kendali perusahaan, maka percepatan waktu melalui penambahan tenaga kerja internal umumnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pengurangan durasi aktivitas pengadaan.

Oleh karena itu, pada penelitian ini konsep lead time digunakan sebagai dasar untuk menjelaskan bahwa aktivitas pengadaan barang tidak dilakukan proses crashing, karena durasi aktivitas tersebut lebih dipengaruhi oleh waktu tunggu pemasok (supplier lead time) dibandingkan dengan kapasitas tenaga kerja perusahaan.

2.11 PROCESSING TIME

Processing time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan atau mengolah suatu produk mulai dari awal proses hingga aktivitas tersebut selesai. Menurut Heizer, Render, dan Munson (2020), processing time adalah waktu yang

secara langsung digunakan dalam proses transformasi input menjadi output dan dipengaruhi oleh kapasitas sumber daya, seperti tenaga kerja, mesin, metode kerja, dan keterampilan operator.

Berbeda dengan lead time yang dipengaruhi oleh faktor eksternal, processing time sebagian besar berada dalam kendali perusahaan. Oleh karena itu, durasi aktivitas produksi dapat dipersingkat melalui peningkatan kapasitas sumber daya, seperti penambahan tenaga kerja, penggunaan peralatan yang lebih efisien, maupun penerapan metode kerja yang lebih baik.

Dalam penelitian ini, konsep processing time digunakan sebagai dasar penerapan metode crashing pada aktivitas produksi. Penambahan tenaga kerja dilakukan pada aktivitas-aktivitas produksi yang berada pada jalur kritis sehingga pembagian pekerjaan menjadi lebih efektif dan waktu penyelesaian aktivitas dapat dipersingkat tanpa mengubah ruang lingkup pekerjaan. Dengan demikian, processing time menjadi dasar bahwa aktivitas produksi memiliki potensi untuk dilakukan percepatan menggunakan metode crashing.

2.12 BIAYA LANGSUNG DAN BIAYA TIDAK LANGSUNG

Dalam pelaksanaan suatu project, biaya merupakan salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan selain waktu dan mutu. Biaya project pada umumnya dapat dikelompokkan menjadi biaya langsung (direct cost) dan biaya tidak langsung (indirect cost). Pembagian tersebut diperlukan karena perubahan durasi pelaksanaan dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kedua jenis biaya. Dalam penerapan metode Crashing Project, biaya langsung cenderung meningkat akibat adanya penambahan sumber daya untuk mempercepat pekerjaan, sedangkan biaya tidak langsung yang dipengaruhi oleh durasi pelaksanaan dapat mengalami penurunan ketika durasi project dipersingkat (Malifa et al., 2019)

2.12.1 BIAYA LANGSUNG

Biaya langsung (direct cost) merupakan biaya yang dikeluarkan dan berkaitan secara langsung dengan pekerjaan atau hasil akhir project. Biaya tersebut dapat berupa biaya tenaga kerja, material, maupun sumber daya lain yang secara langsung digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan. Penelitian mengenai analisis biaya dan

waktu project juga mengelompokkan biaya pekerjaan yang berhubungan langsung dengan hasil akhir project sebagai biaya langsung (Putra et al., 2024)

Dalam metode *Crashing Project*, biaya langsung mengalami perubahan ketika dilakukan percepatan terhadap aktivitas *project*. Percepatan dapat dilakukan dengan menambah sumber daya seperti tenaga kerja atau sumber daya lainnya sehingga biaya yang dikeluarkan untuk aktivitas tersebut meningkat. Malifa et al. (2019) menunjukkan bahwa penerapan metode *Crashing* dengan penambahan tenaga kerja pada aktivitas kritis menghasilkan percepatan durasi project sekaligus meningkatkan biaya langsung.

Pada penelitian ini, biaya langsung digunakan dalam perhitungan *Crashing Project* yang meliputi normal *cost* dan *crash cost*. Perbedaan antara kedua biaya tersebut digunakan untuk menentukan *cost slope* sebagai dasar dalam memilih aktivitas yang akan dipercepat. Dengan demikian, biaya langsung menjadi salah satu komponen utama dalam menentukan tambahan biaya yang diperlukan untuk memperoleh pengurangan durasi project.

2.12.2 BIAYA TIDAK LANGSUNG

Biaya tidak langsung (*indirect cost*) merupakan biaya yang tidak berkaitan secara langsung dengan suatu pekerjaan atau hasil akhir project, tetapi tetap diperlukan untuk mendukung pelaksanaan *project*. Berbeda dengan biaya langsung yang berkaitan dengan aktivitas tertentu, biaya tidak langsung umumnya dipengaruhi oleh lama waktu pelaksanaan. Oleh karena itu, semakin lama project berlangsung, semakin besar biaya tidak langsung yang berpotensi dikeluarkan. Dalam penelitian mengenai percepatan waktu dan biaya, biaya tidak langsung dapat dihitung berdasarkan biaya yang dikeluarkan dalam suatu periode waktu kemudian dikonversikan menjadi biaya berdasarkan durasi pelaksanaan *project* (Wohon et al., 2015).

Biaya tidak langsung dapat meliputi berbagai biaya pendukung selama proses pelaksanaan, seperti biaya manajemen, keamanan, komunikasi, fasilitas, serta listrik. Penelitian Kambey et al. (2023) secara khusus memasukkan biaya listrik sebagai salah satu komponen biaya tidak langsung dan menghitung biaya tersebut berdasarkan satuan waktu bulanan untuk kemudian memperoleh biaya berdasarkan

durasi pelaksanaan. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa biaya tidak langsung dapat terdiri atas gaji staf atau karyawan, listrik, air, serta akomodasi dan transportasi (Putra et al., 2024).

Pada penelitian ini, biaya tidak langsung difokuskan pada biaya konsumsi listrik selama proses produksi di PT Margo Glass Galery. Pemilihan biaya listrik didasarkan pada penggunaan energi selama mesin dan peralatan produksi beroperasi. Semakin lama proses produksi berlangsung, semakin lama pula energi listrik digunakan. Sebaliknya, pengurangan durasi proses produksi setelah penerapan *Crashing Project* menyebabkan waktu penggunaan energi menjadi lebih singkat sehingga biaya listrik yang berkaitan dengan proses produksi berpotensi mengalami penghematan.

Perhitungan konsumsi energi listrik dapat didasarkan pada hubungan antara daya dan waktu penggunaan. Menurut U.S. Department of Energy (2014) menjelaskan hubungan energi, daya, dan waktu melalui persamaan:

$$E = P \times t$$

Keterangan:

E = energi listrik (kWh)

P = daya listrik (kW)

t = waktu penggunaan (jam)

Berdasarkan tarif tenaga listrik yang dinyatakan dalam satuan rupiah per kilowatt-hour (Rp/kWh), jumlah konsumsi energi listrik dapat diperoleh dengan membagi biaya listrik yang dikeluarkan dengan tarif listrik yang berlaku. Perhitungan konsumsi listrik dalam penelitian ini menggunakan persamaan yang diturunkan dari hubungan antara biaya listrik dan tarif per kWh sebagai berikut (Kementerian ESDM, 2024):

$$\text{Konsumsi listrik per bulan} = \text{Biaya listrik per bulan} \div \text{Tarif listrik (Rp/kWh)}$$

Selanjutnya, total waktu operasional perusahaan dalam satu bulan dihitung berdasarkan jumlah hari kerja dan jam kerja per hari:

$$\text{Total jam operasional} = \text{Jumlah hari kerja} \times \text{Jam kerja per hari}$$

Konsumsi listrik rata-rata per jam kemudian dihitung dengan membagi konsumsi listrik bulanan dengan total jam operasional:

Konsumsi listrik per jam = $\text{Konsumsi listrik per bulan} \div \text{Total jam operasional per bulan}$

Biaya listrik rata-rata per jam diperoleh dengan mengalikan konsumsi listrik per jam dengan tarif listrik yang berlaku:

$\text{Biaya listrik per jam} = \text{Konsumsi listrik per jam} \times \text{Tarif listrik (Rp/kWh)}$

Biaya listrik selama proses produksi kemudian dihitung berdasarkan durasi proses produksi:

$\text{Biaya listrik selama proses produksi} = \text{Durasi proses produksi} \times \text{Biaya listrik per jam}$

Selanjutnya, penghematan biaya listrik akibat penerapan Crashing Project dihitung dengan membandingkan biaya listrik sebelum dan sesudah dilakukan percepatan:

$\text{Penghematan biaya listrik} = \text{Biaya listrik sebelum crashing} - \text{Biaya listrik setelah crashing.}$

Dengan demikian, biaya langsung dan biaya tidak langsung memiliki hubungan yang penting dalam analisis Crashing Project. Percepatan project dapat meningkatkan biaya langsung karena adanya tambahan sumber daya, tetapi pada saat yang sama dapat mengurangi biaya tidak langsung yang dipengaruhi oleh durasi pelaksanaan. Oleh karena itu, kedua komponen biaya tersebut perlu dipertimbangkan secara bersama-sama untuk memperoleh gambaran efisiensi biaya akibat pengurangan durasi proses produksi.

2.13 PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian terdahulu merupakan salah satu landasan yang digunakan untuk mengetahui perkembangan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya serta menjadi acuan dalam penyusunan penelitian ini. Melalui kajian penelitian terdahulu, peneliti dapat membandingkan persamaan, perbedaan, kelebihan, dan keterbatasan dari penelitian sebelumnya. Selain itu, kajian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi research gap sehingga penelitian yang dilakukan memiliki kebaruan dan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang manajemen project. Ringkasan penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini disajikan pada tabel dibawah ini

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Tahun & Tempat	Metode	Objek Penelitian
1	Analisis Penjadwalan Crashing Project pada Project Penggantian Jembatan Wai Lapu Desa Halong Kota Ambon – Ayu Prahmawati Ningsih Suatkab	2025, Politeknik Negeri Ambon	<i>Critical Path Method (CPM) & Crashing</i>	<i>Project Penggantian Jembatan Wai Lapu, Ambon</i>
2	Analisis Percepatan Waktu dengan Menggunakan Metode Crashing (Studi Kasus: Pekerjaan Jembatan Owata pada Project Paket III Bendungan Bolango Ulu) – Silva Nurhikma Bonde dkk.	2025, Universitas Negeri Gorontalo	<i>Crashing</i> (penambahan tenaga kerja pada jalur kritis)	Pekerjaan Jembatan Owata, Bendungan Bolango Ulu Paket III
3	Pengendalian Project dengan Menggunakan Metode Crash Program (Studi Kasus Pembangunan Bendungan Bulango Ulu Paket 1, Item Pekerjaan Maindam) – Mudatsir dkk.	2025, Universitas Negeri Gorontalo	<i>Crash Program</i> (penambahan jam lembur)	Pekerjaan Maindam, Bendungan Bulango Ulu Paket 1
4	Analysis of Project Implementation Costs Using the Crashing Method in the Construction Work of Sunan Ampel Jombang Junior High School – M. Fajar Venusia A. dkk.	2025, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya	<i>Crashing Method</i> (penambahan jam kerja/overtime)	<i>Project Pembangunan SMP Sunan Ampel Jombang</i>
5	Studi Manajemen Project Pembangunan Main Dam pada Bendungan Bulango Ulu dengan Metode Fasttrack dan Crashing – Eliana Renate Simanungkalit dkk.	2024, Universitas Brawijaya	<i>Fasttrack & Crashing</i> (penambahan jam lembur)	Project Main Dam, Bendungan Bulango Ulu
6	A Way to Deal with the Project Crashing Problem – Hamdjatou Kane dkk.	2008, Université du Québec (Kanada)	Tabu Search Algorithm untuk optimasi crashing	Studi project besar dengan >100 aktivitas
7	Crashing Project Activities Using Linear Programming Technique – Omar M. Elmabrouk & Fardous Aljiebali	2012, Benghazi University, Libya	Linear Programming untuk optimasi biaya crashing	Project maintenance penggantian boiler
8	Penerapan Metode Crashing dalam Percepatan Durasi Project dengan Alternatif Penambahan Jam Lembur dan Shift Kerja (Studi Kasus: Project Pembangunan Hotel Grand Keisha, Yogyakarta) – Fika Giri Aspia Ningrum dkk.	2017, Universitas Sebelas Maret	Crashing (overtime & shift kerja)	Project Hotel Grand Keisha, Yogyakarta

9	Optimalisasi Pelaksanaan Project dengan Metode Crashing Menggunakan Software Microsoft Project (Studi Kasus: Project Ruang Isolasi Bertekanan Negatif, Karimun – Riau) – Noviandi	2021, Universitas Islam Riau	Crashing (penambahan jam lembur, analisis dengan MS Project)	Project Ruang Isolasi Bertekanan Negatif, Karimun
10	Manajemen Project (Crashing Project) – Taufiqur Rachman	2012, Universitas Esa Unggul Jakarta	Crashing Project (teori & studi kasus)	Studi kasus project konstruksi

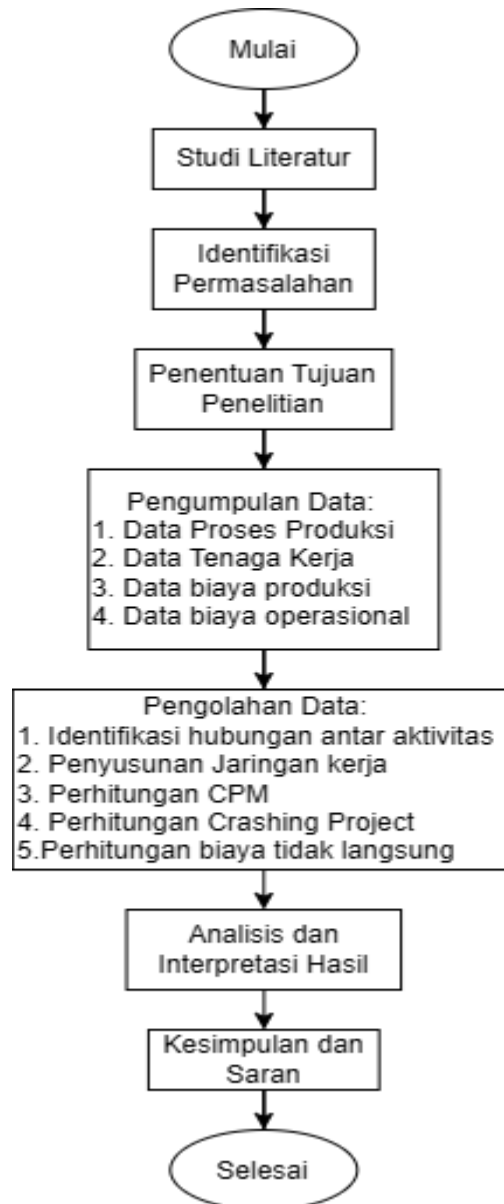
Berdasarkan hasil kajian penelitian terdahulu pada tabel diatas, diketahui bahwa sebagian besar penelitian hanya berfokus pada penerapan Critical Path Method (CPM) untuk menentukan jalur kritis atau hanya menggunakan Crashing Project sebagai metode percepatan waktu project. Penelitian yang mengintegrasikan kedua metode tersebut dalam satu analisis masih relatif terbatas, khususnya pada perusahaan manufaktur yang menerapkan sistem produksi make to order.

Oleh karena itu, penelitian ini menggabungkan metode Critical Path Method (CPM) dan Crashing Project dalam satu rangkaian analisis. Metode CPM digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis, sedangkan metode Crashing Project digunakan untuk menentukan alternatif percepatan pada aktivitas kritis melalui penambahan tenaga kerja dengan mempertimbangkan perubahan waktu dan biaya project. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa pendekatan yang lebih komprehensif dalam upaya meningkatkan efisiensi waktu penyelesaian project tanpa mengabaikan aspek biaya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 *Flowchart* Penelitian



Gambar 3. 1 FlowChart Penelitian

Penjelasan *Flowchart*

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis, mulai dari studi literatur, identifikasi permasalahan, pengumpulan data, pengolahan data menggunakan metode Critical Path Method (CPM), penerapan Crashing Project, perhitungan biaya tidak langsung, analisis hasil, hingga penarikan kesimpulan dan

saran. Tahapan penelitian disajikan dalam bentuk flowchart untuk menggambarkan alur penelitian secara keseluruhan.

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan permasalahan penelitian. Literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah, penelitian terdahulu, serta sumber akademik lain yang membahas manajemen proyek, penjadwalan proyek, jaringan kerja, jalur kritis, Critical Path Method (CPM), Crashing Project, normal time, crash time, normal cost, crash cost, cost slope, serta biaya langsung dan biaya tidak langsung. Studi literatur digunakan sebagai dasar dalam menentukan metode pengolahan dan analisis data penelitian. Pada penelitian sebelumnya, studi literatur dalam penelitian ini memang digunakan untuk memperoleh teori mengenai manajemen proyek, jalur kritis, CPM, dan Crashing Project.

2. Identifikasi Permasalahan

Tahap identifikasi permasalahan dilakukan berdasarkan kondisi proses produksi pada PT Margo Glass Galery, khususnya pada produk Antique Wall Mirror Style. Identifikasi dilakukan untuk mengetahui permasalahan keterlambatan penyelesaian pekerjaan serta faktor waktu dan biaya yang berkaitan dengan proses produksi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian diarahkan untuk menentukan aktivitas yang berada pada jalur kritis, melakukan percepatan terhadap aktivitas yang memungkinkan untuk dilakukan crashing, serta menganalisis perubahan biaya yang terjadi setelah percepatan.

3. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi. Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi struktur dan urutan aktivitas produksi, menentukan jalur kritis menggunakan metode CPM, menentukan aktivitas yang dapat dipercepat menggunakan Crashing Project, serta menganalisis perubahan biaya langsung dan penghematan biaya tidak langsung akibat pengurangan durasi proses produksi.

4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan wawancara dengan pihak terkait di PT Margo Glass Galery. Penelitian difokuskan pada produk Antique Wall Mirror Style. Pada penelitian sebelumnya, pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan wawancara serta difokuskan pada produk tersebut.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian meliputi; Data proses produksi, Data jumlah tenaga kerja pada setiap aktivitas. Data biaya proses produksi, Data biaya operasional

Data aktivitas dan durasi digunakan untuk menyusun jaringan kerja dan menentukan jalur kritis. Data tenaga kerja dan biaya digunakan untuk menghitung biaya percepatan, sedangkan data biaya operasional digunakan untuk menghitung biaya tidak langsung sebelum dan sesudah dilakukan Crashing Project.

5. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara bertahap menggunakan metode CPM dan Crashing Project. Tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut.

A. Identifikasi Hubungan Antaraktivitas

Tahap pertama dilakukan dengan mengidentifikasi seluruh aktivitas proses produksi serta hubungan ketergantungan antaraktivitas. Data tersebut digunakan untuk mengetahui aktivitas yang harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum aktivitas berikutnya dapat dimulai.

B. Penyusunan Jaringan Kerja

Setelah hubungan antaraktivitas diketahui, selanjutnya dibuat jaringan kerja berdasarkan urutan aktivitas proses produksi. Jaringan kerja digunakan untuk menggambarkan hubungan dan ketergantungan antaraktivitas serta menjadi dasar dalam menentukan jalur kritis.

C. Perhitungan Critical Path Method (CPM)

Metode CPM digunakan untuk menentukan jalur kritis dan durasi normal proses produksi. Perhitungan dilakukan dengan menentukan nilai

Early Start (ES), Early Finish (EF), Late Start (LS), Late Finish (LF), serta Total Float pada setiap aktivitas.

Aktivitas yang memiliki nilai Total Float sebesar nol ditetapkan sebagai aktivitas kritis. Aktivitas pada jalur kritis menjadi dasar dalam menentukan aktivitas yang dapat dilakukan percepatan menggunakan metode Crashing Project.

D. Identifikasi Aktivitas yang Dapat Dilakukan Crashing

Setelah jalur kritis diperoleh, dilakukan identifikasi terhadap aktivitas kritis yang memungkinkan untuk dipercepat. Percepatan dalam penelitian ini dilakukan dengan penambahan tenaga kerja.

Tidak seluruh aktivitas dapat dipercepat dengan penambahan tenaga kerja. Oleh karena itu, aktivitas yang dapat mengalami pengurangan durasi dan aktivitas yang tidak dapat mengalami pengurangan durasi diidentifikasi berdasarkan karakteristik pekerjaan serta kondisi proses produksi di perusahaan.

E. Perhitungan Crash Time

Crash time merupakan waktu minimum yang dapat dicapai setelah aktivitas dilakukan percepatan. Dalam penelitian ini, crash time ditentukan berdasarkan penambahan tenaga kerja pada aktivitas produksi yang memungkinkan untuk dipercepat.

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui durasi minimum setiap aktivitas setelah dilakukan penambahan tenaga kerja.

F. Perhitungan Crash Cost

Crash cost dihitung berdasarkan tambahan biaya tenaga kerja yang diperlukan untuk melakukan percepatan aktivitas. Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui besarnya biaya langsung setelah dilakukan crashing.

G. Perhitungan Cost Slope

Selanjutnya dilakukan perhitungan cost slope untuk mengetahui tambahan biaya yang diperlukan dalam setiap pengurangan satu satuan

waktu. Nilai cost slope digunakan sebagai dasar dalam menentukan aktivitas yang relatif lebih ekonomis untuk dilakukan percepatan.

H. Penerapan Crashing Project

Setelah nilai crash time, crash cost, dan cost slope diperoleh, dilakukan penerapan Crashing Project pada aktivitas kritis yang memungkinkan untuk dipercepat. Aktivitas dengan pertimbangan biaya percepatan yang lebih ekonomis diprioritaskan untuk dilakukan crashing.

I. Perhitungan Biaya Tidak Langsung

Setelah diperoleh durasi sebelum dan sesudah crashing, dilakukan perhitungan biaya tidak langsung yang berkaitan dengan durasi proses produksi. Pada penelitian ini, biaya tidak langsung difokuskan pada biaya konsumsi listrik.

Perhitungan dilakukan berdasarkan data biaya listrik bulanan perusahaan, tarif listrik dalam Rp/kWh, jumlah hari kerja sebanyak 26 hari per bulan, dan jam kerja operasional perusahaan.

6. Analisis dan Interpretasi Hasil

Tahap analisis dan interpretasi dilakukan setelah seluruh data selesai diolah. Analisis dilakukan terhadap hasil CPM, Crashing Project, perubahan durasi, perubahan biaya langsung, serta penghematan biaya tidak langsung.

Analisis CPM digunakan untuk mengetahui aktivitas yang paling menentukan durasi proses produksi. Selanjutnya, hasil Crashing Project dianalisis untuk mengetahui besarnya pengurangan durasi dan tambahan biaya langsung yang terjadi.

Selain itu, dilakukan perbandingan biaya tidak langsung sebelum dan sesudah crashing untuk mengetahui besarnya penghematan biaya listrik akibat pengurangan durasi proses produksi. Hasil tersebut kemudian digunakan untuk melihat efisiensi penerapan Crashing Project tidak hanya dari sisi waktu dan biaya langsung, tetapi juga dari sisi penghematan biaya tidak langsung.

7. Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan dan pemberian saran. Kesimpulan disusun berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data untuk menjawab rumusan masalah penelitian, meliputi hasil penentuan jalur kritis, hasil penerapan Crashing Project, pengurangan durasi, perubahan biaya langsung, serta penghematan biaya tidak langsung.

Saran diberikan kepada PT Margo Glass Galery sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan perencanaan dan pengendalian waktu serta biaya pada proses produksi berikutnya. Saran juga dapat diberikan kepada peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penelitian dengan mempertimbangkan komponen biaya atau alternatif percepatan lainnya.

3.2 Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT Margo Glass Galery, yaitu perusahaan yang bergerak dalam bidang penyediaan dan pemasangan produk kaca serta aluminium. Objek penelitian difokuskan pada proses produksi Antique Wall Mirror Style. Pemilihan objek tersebut didasarkan pada adanya permasalahan terkait durasi penyelesaian proses produksi yang menjadi dasar dilakukannya analisis menggunakan metode Critical Path Method (CPM) dan Crashing Project.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi dan wawancara. Observasi dilakukan dengan mengamati secara langsung proses produksi untuk memperoleh informasi mengenai urutan aktivitas, hubungan antaraktivitas, durasi pekerjaan, serta kondisi sumber daya yang digunakan dalam proses produksi.

Wawancara dilakukan secara langsung dengan Bapak Margo selaku Direktur PT Margo Glass Galery. Wawancara bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai proses produksi, urutan aktivitas pekerjaan, sumber daya yang digunakan, permasalahan keterlambatan, serta informasi biaya dan waktu yang diperlukan dalam proses produksi. Informasi hasil wawancara digunakan sebagai salah satu dasar dalam penyusunan jaringan kerja, penentuan aktivitas kritis, serta penerapan metode Crashing Project.

Selain observasi dan wawancara, data penelitian juga diperoleh melalui dokumentasi perusahaan yang berkaitan dengan aktivitas produksi, durasi pekerjaan, tenaga kerja, biaya, dan penggunaan listrik. Data tersebut digunakan sebagai data pendukung dalam proses pengolahan dan analisis penelitian.

3.4 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung dari PT Margo Glass Galery melalui hasil observasi dan wawancara dengan Bapak Margo selaku Direktur PT Margo Glass Galery. Data primer meliputi informasi mengenai urutan aktivitas produksi, hubungan antaraktivitas, durasi pekerjaan, jumlah tenaga kerja, serta kondisi pelaksanaan proses produksi.

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumentasi perusahaan dan sumber literatur yang relevan dengan penelitian. Data sekunder meliputi data biaya tenaga kerja, biaya listrik, jumlah hari kerja, jam kerja, serta data pendukung lainnya yang diperlukan dalam perhitungan CPM, Crashing Project, dan biaya tidak langsung.

3.5 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian berisi rangkaian kegiatan penelitian yang dilakukan mulai dari tahap persiapan hingga penyelesaian penelitian. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, identifikasi permasalahan, pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan interpretasi hasil, penyusunan laporan, serta penyelesaian penelitian.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No.	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan																											
		Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur																												
2	Identifikasi permasalahan																												
3	Observasi dan wawancara																												
4	Pengumpulan data perusahaan																												
5	Pengolahan data CPM																												
6	Pengolahan data Crashing Project																												
7	Perhitungan biaya tidak langsung																												
8	Analisis dan interpretasi hasil																												
9	Penyusunan dan revisi laporan																												
10	Seminar Hasil																												
11	Revisi laporan																												
12	Sidang Akhir																												

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 PENGUMPULAN DATA

4.1.1 PROFIL PERUSAHAAN

PT Margo Glass Gallery merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penyediaan dan pemasangan produk kaca serta aluminium untuk berbagai kebutuhan konstruksi, baik perumahan maupun komersial. Perusahaan ini berlokasi di Jawa Tengah dan telah berpengalaman dalam menangani berbagai project pembangunan, mulai dari skala kecil hingga besar. Produk yang dihasilkan meliputi kaca jendela, pintu kaca, partisi, serta berbagai desain berbahan aluminium yang mendukung kebutuhan arsitektur modern.

Dalam menjalankan project, PT Margo Glass Gallery memiliki struktur organisasi yang terdiri dari bagian manajemen, teknisi lapangan, serta tim pengadaan dan distribusi material. Setiap project yang ditangani perusahaan ini melibatkan proses yang cukup kompleks, dimulai dari perencanaan, pengadaan barang, pengiriman material ke lokasi, pelaksanaan pekerjaan inti, hingga tahap finishing dan serah terima hasil pekerjaan. Data project yang dikumpulkan dalam penelitian ini mencerminkan aktivitas nyata yang dilakukan perusahaan, sehingga analisis manajemen project dengan metode *Critical Path Method* dan *Crashing* Proyek dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai efisiensi waktu dan biaya.

4.1.2 DATA PEKERJAAN PROJECT

Data aktivitas pekerjaan terdiri atas daftar kegiatan project beserta durasi, ketergantungan antar aktivitas, serta biaya yang dikeluarkan. Aktivitas ini meliputi perencanaan awal, pengadaan, pelaksanaan produksi, finishing, dan pengiriman. Data ini menjadi dasar dalam penyusunan jaringan kerja project dan analisis jalur kritis. Berikut data pekerjaan project bisa dilihat pada tabel berikut:

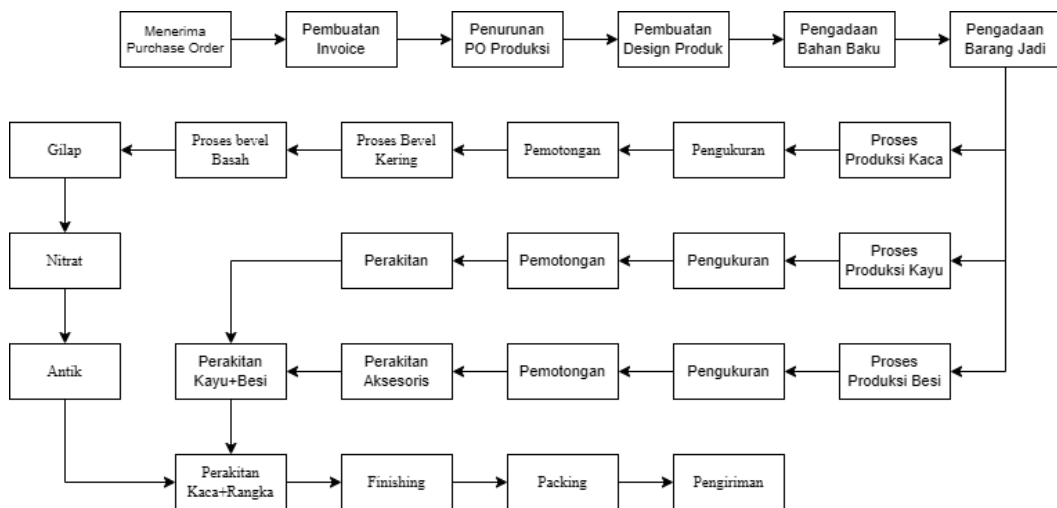
Tabel 4. 1 Data Pekerjaan Project

No.	Aktivitas Pekerjaan	Durasi (Jam)	Jumlah Pekerja	Biaya Per Hari	Biaya Per jam
1	Menerima Purchase Order	0.5	1	Rp94.230,00	Rp11.778,75
2	Pembuatan Invoice	0,5	1	Rp94.230,00	Rp11.778,75
3	Penurunan PO Produksi	1	2	Rp188.460,00	Rp11.778,75
4	Pembuatan Design Produk	4	2	Rp188.460,00	Rp11.778,75
5	Pengadaan Bahan Baku	16	3	Rp282.690,00	Rp11.778,75
6	Pengadaan Barang Jadi	8	3	Rp282.690,00	Rp11.778,75
Proses Produksi Kaca					
7	Pengukuran	1	3	Rp259.614,00	Rp10.817,25
8	Pemotongan	2	6	Rp519.228,00	Rp10.817,25
9	Proses Bevel Kering	4	3	Rp259.614,00	Rp10.817,25
10	Proses bevel Basah	4	4	Rp346.152,00	Rp10.817,25
11	Proses Gilap	4	2	Rp173.076,00	Rp10.817,25
12	Proses Nitrat	2	2	Rp173.076,00	Rp10.817,25
13	Proses Antik	4	2	Rp173.076,00	Rp10.817,25
Proses Produksi Besi					
14	Pengukuran	1	1	Rp86.538,00	Rp10.817,25
15	Pemotongan	2	3	Rp259.614,00	Rp10.817,25
16	Perakitan	6	2	Rp173.076,00	Rp10.817,25
Proses Produksi Kayu					
17	Pengukuran	1	1	Rp86.538,00	Rp10.817,25
18	Pemotongan	2	3	Rp259.614,00	Rp10.817,25
19	Perakitan Aksesoris	4	2	Rp173.076,00	Rp10.817,25
20	Perakitan Kayu+Besi	6	3	Rp259.614,00	Rp10.817,25
21	Perakitan Kaca+Rangka	8	3	Rp259.614,00	Rp10.817,25
22	Finishing	4	2	Rp173.076,00	Rp10.817,25
23	Packing	2	4	Rp320.000,00	Rp10.000,00
24	Pengiriman	8	3	Rp240.000,00	Rp10.000,00

Berdasarkan data aktivitas proyek yang telah disajikan dalam bentuk tabel diatas ini, maka dibuatlah diagram kerja untuk memperjelas hubungan antar pekerjaan. Tabel tersebut berisi urutan aktivitas mulai dari penerimaan *purchase order*, pembuatan invoice, penurunan PO produksi, hingga pengadaan bahan baku dan barang jadi. Selanjutnya, aktivitas produksi dibagi ke dalam beberapa jalur utama, yaitu jalur kaca, jalur kayu, dan jalur besi. Setiap jalur memiliki rangkaian

pekerjaan yang spesifik, seperti pengukuran, pemotongan, proses bevel, gilap, nitrat, antik, hingga perakitan.

Penyajian data dalam bentuk tabel memang memberikan informasi yang rinci mengenai durasi dan urutan aktivitas, namun belum mampu menunjukkan keterkaitan antar pekerjaan secara visual. Oleh karena itu, tabel tersebut kemudian dikembangkan menjadi diagram kerja (*flowchart*) agar alur produksi dapat dipahami secara lebih sistematis. Dengan adanya diagram ini, hubungan antar aktivitas menjadi lebih jelas dan memudahkan dalam proses analisis jalur kritis.



Gambar 4. 1 Diagram Kerja

Gambar diagram yang ditampilkan merupakan representasi visual dari keseluruhan proses produksi di PT Margo Glass Gallery. Diagram ini memperlihatkan bagaimana aktivitas administrasi di awal proyek (penerimaan PO, pembuatan invoice, dan desain produk) terhubung dengan jalur produksi kaca, kayu, dan besi. Ketiga jalur tersebut berjalan paralel, namun pada akhirnya bergabung dalam tahap perakitan rangka dan kaca.

Flowchart ini menunjukkan bahwa proses produksi memiliki struktur yang kompleks namun terintegrasi. Jalur kaca terdiri dari aktivitas pengukuran, pemotongan, bevel kering dan basah, gilap, nitrat, serta antik. Jalur kayu meliputi pengukuran, pemotongan, dan perakitan, sedangkan jalur besi mencakup pengukuran, pemotongan, dan perakitan aksesoris. Semua jalur tersebut kemudian

disatukan dalam perakitan kayu + besi, dilanjutkan dengan perakitan kaca + rangka, finishing, packing, dan pengiriman.

Interpretasi dari gambar ini adalah bahwa flowchart membantu memperjelas urutan dan ketergantungan antar aktivitas, sehingga memudahkan identifikasi jalur kritis. Dengan visualisasi ini, manajer proyek dapat lebih mudah menentukan aktivitas yang paling berpengaruh terhadap durasi proyek dan aktivitas yang layak untuk dilakukan crashing.

4.2 PENGOLAHAN DATA

4.2.1 IDENTIFIKASI HUBUNGAN ANTAR PEKERJAAN

Data aktivitas yang telah dikumpulkan dianalisis untuk mengetahui hubungan antar pekerjaan. Identifikasi ini bertujuan menentukan urutan pelaksanaan serta aktivitas yang saling bergantung, sehingga dapat digambarkan dalam bentuk jaringan kerja project.

Tabel 4. 2 Identifikasi Hubungan Antar Pekerjaan

No.	Aktivitas Pekerjaan	Kode	Predecessor
1	Menerima Purchase Order	A	-
2	Pembuatan Invoice	B	A
3	Penurunan PO Produksi	C	B
4	Pembuatan Design Produk	D	C
5	Pengadaan Bahan Baku	E	D
6	Pengadaan Barang Jadi	F	D
Proses Produksi Kaca			
7	Pengukuran	G	E
8	Pemotongan	H	G
9	Proses Bevel Kering	I	H
10	Proses bevel Basah	J	I
11	Proses Gilap	K	J
12	Proses Nitrat	L	K
13	Proses Antik	M	L
Proses Produksi Besi			
14	Pengukuran	N	F
15	Pemotongan	O	N
16	Perakitan	P	O
Proses Produksi Kayu			
17	Pengukuran	Q	F

No.	Aktivitas Pekerjaan	Kode	Predecessor
18	Pemotongan	R	Q
19	Perakitan Aksesoris	S	R
20	Perakitan Kayu+Besi	T	P,S
21	Perakitan Kaca+Rangka	U	M,T
22	Finishing	V	U
23	Packing	W	V
24	Pengiriman	X	W

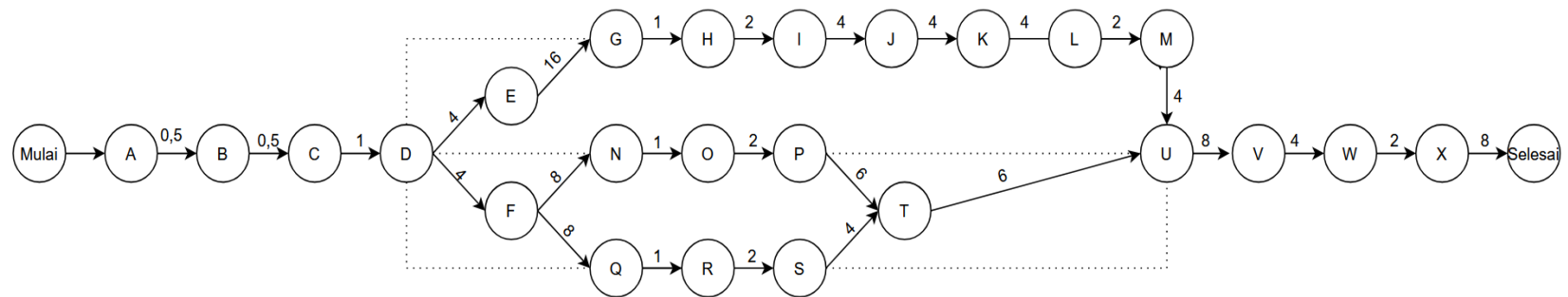
Tabel aktivitas pekerjaan yang telah disusun di atas memberikan gambaran rinci mengenai urutan dan ketergantungan antar pekerjaan dalam proyek produksi di PT Margo Glass Gallery. Dari tabel tersebut terlihat bahwa proses dimulai dari aktivitas administrasi, yaitu penerimaan *purchase order* (A), pembuatan invoice (B), penurunan PO produksi (C), hingga pembuatan desain produk (D). Aktivitas ini menjadi fondasi bagi tahap pengadaan bahan baku (E) dan barang jadi (F) yang kemudian bercabang ke tiga jalur produksi utama: kaca, besi, dan kayu.

Pada jalur produksi kaca, rangkaian pekerjaan dimulai dari pengukuran (G), pemotongan (H), proses bevel kering (I), bevel basah (J), gilap (K), nitrat (L), hingga antik (M). Jalur produksi besi terdiri dari pengukuran (N), pemotongan (O), dan perakitan (P). Sementara itu, jalur produksi kayu mencakup pengukuran (Q), pemotongan (R), dan perakitan aksesoris (S).

Ketiga jalur tersebut kemudian bertemu pada tahap perakitan kayu + besi (T), yang selanjutnya digabung dengan hasil jalur kaca pada perakitan kaca + rangka (U). Setelah semua komponen terintegrasi, pekerjaan dilanjutkan ke tahap finishing (V), packing (W), dan diakhiri dengan pengiriman produk (X).

4.2.2 MODEL JARINGAN KERJA

Jaringan kerja metode CPM merupakan konsep AON (*Activity On Node*). Dari hasil analisis hubungan antar kegiatan berdasarkan data time schedule maka dapat dilakukan model jaringan kerja, terlihat seperti pada Gambar dibawah ini.



Gambar 4. 2 Model Jaringan Kerja

Diagram jaringan kerja yang ditampilkan merupakan hasil pengolahan dari tabel aktivitas proyek yang telah disusun sebelumnya. Visualisasi ini memperlihatkan alur pekerjaan mulai dari titik awal (*Mulai*) hingga titik akhir (*Selesai*), dengan setiap aktivitas direpresentasikan dalam bentuk node yang saling terhubung melalui panah. Hubungan antar node menunjukkan ketergantungan antar aktivitas, sedangkan angka yang tercantum pada setiap panah menggambarkan durasi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas tersebut.

Dari diagram terlihat bahwa setelah aktivitas desain produk (D), alur pekerjaan bercabang menjadi dua jalur utama. Jalur pertama mengarah ke pengadaan bahan baku (E) yang kemudian dilanjutkan ke proses produksi kaca, mulai dari pengukuran (G), pemotongan (H), proses bevel kering (I), bevel basah (J), gilap (K), nitrat (L), hingga antik (M). Jalur ini kemudian berakhir pada tahap perakitan kaca + rangka (U).

Sementara itu, jalur kedua berasal dari pengadaan barang jadi (F) yang bercabang ke produksi besi dan kayu. Produksi besi terdiri dari pengukuran (N), pemotongan (O), dan perakitan (P), sedangkan produksi kayu meliputi pengukuran (Q), pemotongan (R), dan perakitan aksesoris (S). Kedua jalur ini bertemu pada tahap perakitan kayu + besi (T), yang kemudian bergabung dengan jalur kaca pada perakitan kaca + rangka (U). Setelah tahap perakitan selesai, alur pekerjaan kembali menjadi linear, dimulai dari finishing (V), packing (W), hingga pengiriman (X) yang menandai berakhirnya proyek.

Interpretasi dari diagram ini adalah bahwa alur kerja proyek memiliki struktur yang kompleks dengan beberapa jalur paralel yang akhirnya terintegrasi pada tahap perakitan. Visualisasi jaringan kerja ini memudahkan identifikasi jalur kritis, yaitu rangkaian aktivitas yang menentukan durasi total proyek. Dengan adanya diagram ini, manajer proyek dapat lebih mudah menentukan aktivitas yang harus diprioritaskan, aktivitas yang memiliki kelonggaran waktu, serta aktivitas yang layak untuk dilakukan crashing agar proyek dapat diselesaikan lebih cepat dan efisien.

4.2.3 HASIL METODE *CRITICAL PATH METHOD*

Metode CPM terdapat dua cara untuk melakukan analisis waktu optimal, yaitu menggunakan perhitungan maju (*forward pass*) dari kegiatan awal sampai

kegiatan akhir, dan perhitungan mundur (*backward pass*) mulai kegiatan akhir kembali ke kegiatan awal.

1. PERHITUNGAN *FORWARD PASS*

Perhitungan forward pass dilakukan untuk menentukan waktu mulai paling awal (Early Start/ES) dan waktu selesai paling awal (Early Finish/EF) dari setiap aktivitas dalam jaringan kerja proyek. Rumus yang digunakan adalah:

$$ES = \max (EF \text{ dari predecessor})$$

$$ES A = 0 \text{ (Nilai Predecessor sebelumnya)}$$

$$ES B = 0,5 \text{ (Nilai Predecessor A)}$$

$$EF = ES + \text{Durasi}$$

$$EF A = 0 + 0,5 \text{ (Durasi A)} = 0,5$$

$$EF B = 0,5 + 0,5 = 1$$

Dengan ketentuan bahwa aktivitas pertama dimulai dari waktu nol. Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran sistematis mengenai urutan pekerjaan, durasi, serta total waktu penyelesaian proyek. Hasil perhitungan *forward pass* menjadi dasar untuk analisis jalur kritis dan perhitungan *backward pass* pada tahap berikutnya.

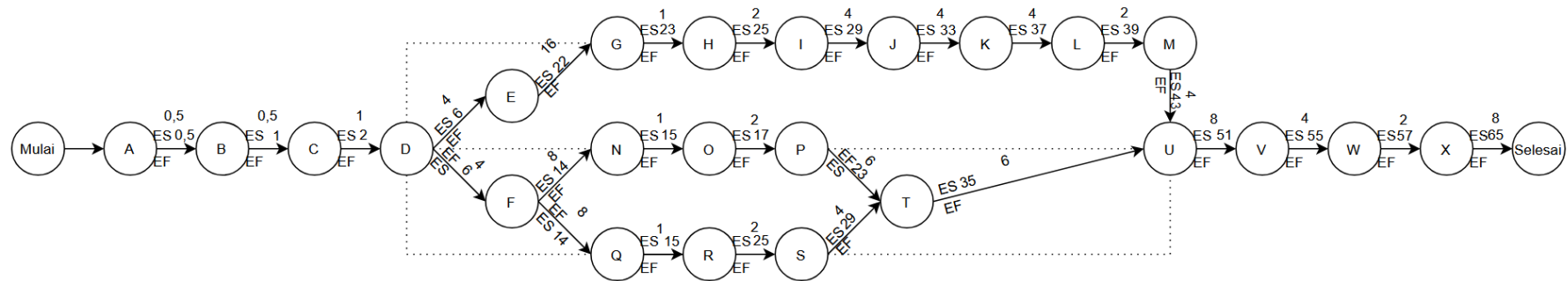
Tabel 4. 3 Perhitungan *Forward pass*

Kode	Durasi	ES	EF
A	0,5	0	0,5
B	0,5	0,5	1
C	1	1	2
D	4	2	6
E	16	6	22
F	8	6	14
G	1	22	23
H	2	23	25
I	4	25	29
J	4	29	33
K	4	33	37
L	2	37	39
M	4	39	43
N	1	14	15

Kode	Durasi	ES	EF
O	2	15	17
P	6	17	23
Q	1	14	15
R	2	15	17
S	4	17	21
T	6	23	29
U	8	43	51
V	4	51	55
W	2	55	57
X	8	57	65

Tabel 4.3 menunjukkan hasil perhitungan *forward pass* berdasarkan rumus manual. Aktivitas A dimulai pada waktu 0 dengan EF 0,5, kemudian berlanjut ke aktivitas B dengan ES 0,5 dan EF 1, serta seterusnya hingga aktivitas terakhir X yang memiliki EF sebesar 65 jam. Nilai ES dan EF pada setiap aktivitas menggambarkan waktu paling awal pekerjaan dapat dimulai dan diselesaikan sesuai ketergantungan antar aktivitas. Dari tabel ini terlihat bahwa total durasi proyek adalah 65 jam, yang menjadi acuan dalam analisis jalur kritis. Aktivitas dengan EF terbesar menandakan jalur kritis proyek, sehingga hasil ini akan digunakan untuk perhitungan *backward pass* guna menentukan LS (Late Start) dan LF (Late Finish) serta mengidentifikasi aktivitas yang tidak boleh mengalami keterlambatan.

Gambar berikut merupakan representasi visual dari hasil perhitungan *forward pass* pada jaringan kerja proyek. Diagram ini digunakan untuk menggambarkan hubungan antar aktivitas, durasi, serta waktu mulai dan selesai paling awal (ES dan EF). Pemilihan metode *forward pass* dilakukan karena mampu memberikan gambaran sistematis mengenai alur pekerjaan dari awal hingga akhir proyek. Dengan adanya diagram ini, manajer proyek dapat lebih mudah memahami ketergantungan antar aktivitas serta mengidentifikasi total durasi proyek secara keseluruhan.



Gambar 4. 3 Jaringan Forward Pass

Gambar 4.2 menunjukkan jaringan kerja proyek dengan node aktivitas A hingga X yang saling terhubung sesuai urutan dan ketergantungan. Setiap panah dilengkapi dengan nilai durasi, serta keterangan ES (Early Start) dan EF (Early Finish) yang diperoleh dari perhitungan manual. Misalnya, aktivitas A dimulai pada waktu 0 dengan EF 0,5, kemudian berlanjut ke aktivitas B dengan ES 0,5 dan EF 1. Aktivitas terakhir (X) memiliki EF sebesar 65, yang menandakan total durasi proyek adalah 65 jam. Diagram ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai alur pekerjaan, sehingga memudahkan dalam analisis jalur kritis dan pengendalian waktu pelaksanaan proyek.

2. Perhitungan *Backward Pass*

Perhitungan backward pass dilakukan untuk menentukan waktu mulai paling lambat (Late Start/LS) dan waktu selesai paling lambat (Late Finish/LF) dari setiap aktivitas dalam jaringan kerja proyek. Rumus yang digunakan adalah:

$$LF = \min (LS \text{ dari semua successor})$$

$$LF A = 0$$

$$LF B = 0,5$$

$$LS = LF \text{ Sebelumnya} - \text{Durasi}$$

$$LS W = 65 - 8 = 57$$

Dengan ketentuan bahwa aktivitas terakhir memiliki nilai LF sama dengan EF hasil forward pass. Metode ini dipilih karena mampu menunjukkan batas waktu keterlambatan yang masih diperbolehkan tanpa memengaruhi total durasi proyek. Hasil perhitungan backward pass menjadi dasar untuk menentukan float (kelonggaran waktu) dan mengidentifikasi aktivitas yang termasuk jalur kritis.

Tabel 4. 4 Perhitungan Backward Pass

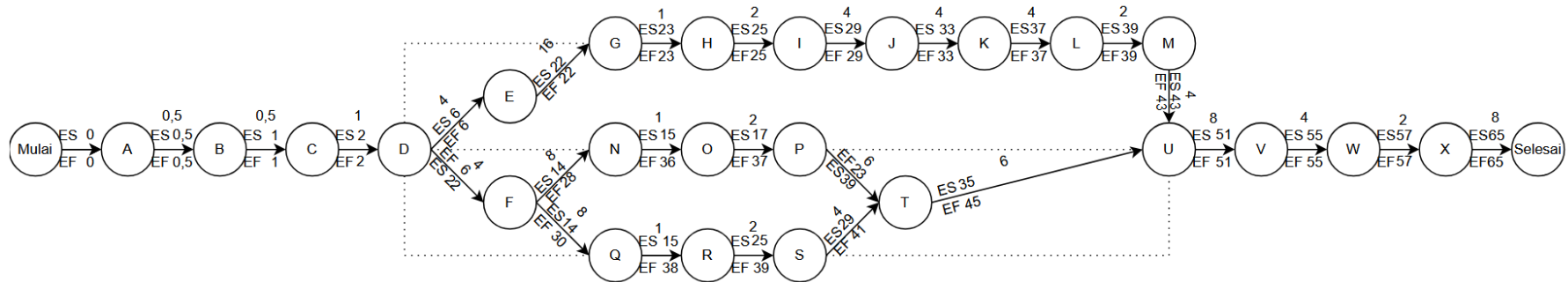
Kode	Durasi	LS	LF
A	0,5	0	0,5
B	0,5	0,5	1
C	1	1	2
D	4	2	6

Kode	Durasi	LS	LF
E	16	6	22
F	8	24	32
G	1	22	23
H	2	23	25
I	4	25	29
J	4	29	33
K	4	33	37
L	2	37	39
M	4	39	43
N	1	28	29
O	2	36	38
P	6	37	43
Q	1	30	31
R	2	38	40
S	4	39	43
T	6	39	45
U	8	43	51
V	4	51	55
W	2	55	57
X	8	57	65

Tabel 4.4 menunjukkan hasil perhitungan *backward pass* berdasarkan rumus manual. Setiap aktivitas memiliki nilai LS dan LF yang menggambarkan batas waktu paling lambat pekerjaan dapat dimulai dan diselesaikan. Sebagai contoh, aktivitas A memiliki LS = 0 dan LF = 0,5, artinya aktivitas ini harus dimulai pada waktu nol agar selesai tepat pada 0,5 jam. Aktivitas F memiliki LS = 24 dan LF = 32, menunjukkan adanya fleksibilitas waktu pelaksanaan sebesar 8 jam. Dengan demikian, tabel ini memberikan informasi mengenai potensi kelonggaran waktu pada setiap aktivitas, yang dapat dimanfaatkan untuk penjadwalan ulang atau pengaturan sumber daya proyek tanpa mengganggu keseluruhan durasi proyek sebesar 65 jam.

Gambar berikut merupakan hasil visualisasi dari perhitungan *backward pass* pada jaringan kerja proyek. Diagram ini digunakan untuk menunjukkan waktu mulai paling lambat (Late Start/LS) dan waktu selesai paling lambat (Late Finish/LF) dari setiap aktivitas. Perhitungan *backward*

pass dilakukan dengan cara menelusuri jaringan dari akhir menuju awal, menggunakan rumus $LF = \min (LS \text{ successor})$ dan $LS = LF - \text{Durasi}$.



Gambar 4. 4 Perhitungan Backward Pass

Gambar diatas memperlihatkan jaringan kerja proyek dengan node aktivitas A hingga X yang saling terhubung sesuai urutan dan ketergantungan, namun kali ini dilengkapi dengan nilai LS dan LF hasil perhitungan *backward pass*. Setiap panah menunjukkan durasi aktivitas, sementara lingkaran node menampilkan batas waktu paling lambat aktivitas dapat dimulai dan diselesaikan. Sebagai contoh, aktivitas A memiliki LS = 0 dan LF = 0,5, sedangkan aktivitas F memiliki LS = 24 dan LF = 32, yang menunjukkan adanya fleksibilitas waktu pelaksanaan sebesar 8 jam. Diagram ini memberikan informasi penting mengenai kelonggaran waktu (*float*) pada setiap aktivitas, sehingga dapat digunakan untuk pengendalian jadwal proyek dan pengaturan sumber daya tanpa harus langsung mengidentifikasi jalur kritis melalui hasil *backward pass*.

3. Perhitungan Total Float

Tabel berikut menyajikan hasil perhitungan lengkap metode Critical Path Method (CPM) dengan menggabungkan nilai *forward pass* (ES dan EF), *backward pass* (LS dan LF), serta perhitungan *Total Float (TF)*. Rumus perhitungan TF yang digunakan adalah:

$$TF = LF - ES - D$$

$$TF A = 0,5 - 0 - 0,5 = 0$$

$$TF B = 1 - 0,5 - 0,5 = 0$$

Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai waktu mulai dan selesai paling awal maupun paling lambat, serta kelonggaran waktu yang dimiliki setiap aktivitas. Dengan adanya perhitungan TF, dapat diketahui aktivitas mana yang memiliki fleksibilitas jadwal dan mana yang harus diawasi ketat agar proyek berjalan sesuai rencana.

Tabel 4. 5 Perhitungan Total Float

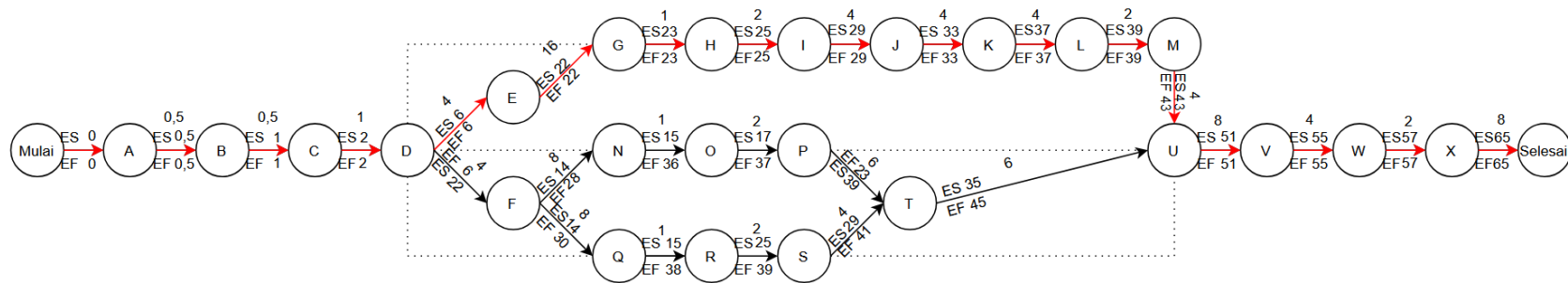
Kode	Durasi	ES	EF	LS	LF	TF
A	0,5	0	0,5	0	0,5	0
B	0,5	0,5	1	0,5	1	0
C	0,5	1	2	1	2	0
D	4	2	6	2	6	0
E	16	6	22	6	22	0

F	8	6	14	24	32	18
G	1	22	23	22	23	0
H	2	23	25	23	25	0
I	4	25	29	25	29	0
J	4	29	33	29	33	0
K	4	33	37	33	37	0
L	2	37	39	37	39	0
M	4	39	43	39	43	0
N	1	14	15	28	29	14
O	2	15	17	36	38	21
P	6	17	23	37	43	20
Q	1	14	15	30	31	16
R	2	15	17	38	40	23
S	4	17	21	39	43	22
T	6	23	29	39	45	16
U	8	43	51	43	51	0
V	4	51	55	51	55	0
W	2	55	57	55	57	0
X	8	57	65	57	65	0

Tabel 4.7 menunjukkan hasil perhitungan CPM dengan nilai ES, EF, LS, LF, dan TF. Nilai ES dan EF menggambarkan waktu paling awal aktivitas dapat dimulai dan diselesaikan, sedangkan LS dan LF menunjukkan batas waktu paling lambat aktivitas dapat dimulai dan diselesaikan tanpa menunda proyek. Kolom TF (Total Float) memberikan informasi mengenai kelonggaran waktu yang dimiliki setiap aktivitas. Sebagai contoh, aktivitas F memiliki TF = 18 jam, artinya aktivitas ini dapat ditunda hingga 18 jam tanpa memengaruhi keseluruhan jadwal proyek. Aktivitas N, O, P, Q, R, S, dan T juga memiliki nilai TF yang menunjukkan fleksibilitas masing-masing. Sementara itu, aktivitas seperti A, B, C, D, E, G, H, I, J, K, L, M, U, V, W, dan X memiliki TF = 0, yang berarti tidak memiliki kelonggaran waktu. Dengan demikian, tabel ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai fleksibilitas jadwal proyek, serta menjadi dasar dalam pengambilan keputusan manajerial terkait pengendalian waktu dan sumber daya.

Berikut merupakan hasil visualisasi jaringan kerja proyek dengan perhitungan lengkap metode Critical Path Method (CPM). Diagram ini

menampilkan hubungan antar aktivitas, durasi, serta nilai *Early Start (ES)*, *Early Finish (EF)*, *Late Start (LS)*, dan *Late Finish (LF)*. Selain itu, diagram juga menunjukkan *Total Float (TF)* yang menggambarkan kelonggaran waktu setiap aktivitas. Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai alur pekerjaan, batas waktu pelaksanaan, serta fleksibilitas jadwal proyek. Dengan adanya visualisasi ini, analisis CPM menjadi lebih mudah dipahami secara komprehensif, baik dari sisi perhitungan maupun keterkaitan antar aktivitas.



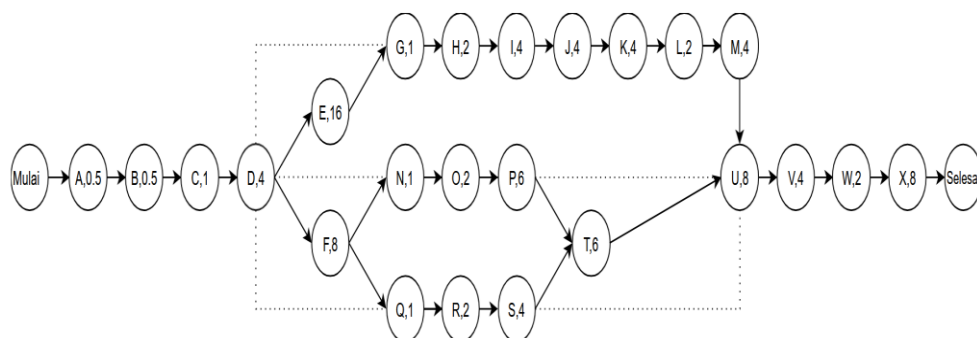
Gambar 4. 5 Perhitungan Total Float

Gambar diatas memperlihatkan jaringan kerja proyek dari aktivitas A hingga X dengan durasi masing-masing serta nilai ES, EF, LS, LF, dan TF. Panah menunjukkan urutan dan ketergantungan antar aktivitas, sedangkan node menampilkan hasil perhitungan waktu. Aktivitas dengan TF = 0, seperti A, B, C, D, E, G, H, I, J, K, L, M, U, V, W, dan X, tidak memiliki kelonggaran waktu sehingga harus dilaksanakan tepat sesuai jadwal. Sebaliknya, aktivitas seperti F, N, O, P, Q, R, S, dan T memiliki TF lebih dari 0, yang menunjukkan adanya fleksibilitas waktu pelaksanaan. Diagram ini memberikan gambaran visual mengenai jalur aktivitas proyek, total durasi proyek sebesar 65 jam, serta potensi penyesuaian jadwal tanpa mengganggu penyelesaian keseluruhan proyek.

4.2.4 HASIL METODE *CRASHING* PROYEK

1. Diagram Crashing Project

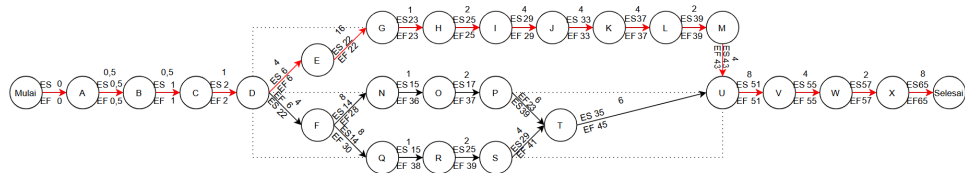
Diagram Crashing Project merupakan representasi jaringan kerja yang menggambarkan urutan dan hubungan ketergantungan antar aktivitas dalam project. Diagram ini disusun berdasarkan hasil analisis *Critical Path Method* (CPM) dan digunakan sebagai dasar dalam proses percepatan durasi project. Setiap aktivitas pada diagram ditampilkan sesuai dengan urutan pelaksanaannya sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi aktivitas pendahulu (*predecessor*) maupun aktivitas penerus (*successor*). Diagram jaringan kerja tersebut menjadi acuan dalam menentukan jalur kritis serta aktivitas yang berpotensi dilakukan percepatan (*crashing*) untuk mengurangi durasi penyelesaian project. Berikut gambar diagram *crashing project* dari aktivitas di PT Margo Glass Gallery:



Gambar 4. 6 Crashing Project

2. Penentuan Jalur Kritis dan Durasi Project

Berdasarkan hasil metode Critical Path Method diatas, diperoleh jalur kritis yang ditunjukkan dengan garis berwarna merah pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 7 Jalur Kritis

Pada gambar diatas, jalur kritis terdiri dari aktivitas A–B–C–D–E–G–H–I–J–K–L–M–U–V–W–X. Karena seluruh aktivitas pada jalur tersebut bersifat kritis, maka keterlambatan pada salah satu aktivitas akan mengakibatkan keterlambatan terhadap penyelesaian project secara keseluruhan. Oleh sebab itu, proses crashing difokuskan pada aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis agar durasi project dapat dipersingkat secara optimal tanpa mengubah hubungan ketergantungan antar aktivitas.

3. Penentuan Aktivitas yang Di-crash

Berdasarkan hasil analisis jalur kritis menggunakan Critical Path Method (CPM), tidak seluruh aktivitas pada jalur kritis dilakukan percepatan (crashing). Pemilihan aktivitas yang dilakukan crashing mengacu pada konsep lead time dan processing time. Aktivitas yang didominasi oleh lead time merupakan aktivitas yang dipengaruhi oleh proses pengadaan, ketersediaan material, serta waktu pengiriman dari pemasok sehingga berada di luar kendali perusahaan. Oleh karena itu, aktivitas tersebut tidak dapat dipercepat hanya melalui penambahan tenaga kerja.

Sebaliknya, aktivitas yang didominasi oleh processing time merupakan aktivitas produksi yang dipengaruhi oleh kapasitas tenaga kerja dan proses pengerjaan di dalam perusahaan. Dengan demikian, aktivitas tersebut memiliki potensi untuk dipercepat melalui penambahan tenaga kerja sesuai dengan konsep crashing project.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, aktivitas yang dilakukan crashing dan yang tidak dilakukan crashing dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 4. 6 Penentuan Aktivitas yang di-Crash

No.	Aktivitas Pekerjaan	Jenis Waktu	Keterangan
1	Menerima Purchase Order	Lead Time	Aktivitas Administrasi
2	Pembuatan Invoice	Lead Time	Aktivitas Administrasi
3	Penurunan PO Produksi	Lead Time	Aktivitas Administrasi
4	Pembuatan Design Produk	Processing Time	Tidak Dipercepat karena membutuhkan ketelitian design
5	Pengadaan Bahan Baku	Lead Time	Bergantung pada supplier
6	Pengadaan Barang Jadi	Lead Time	Bergantung pada supplier
Proses Produksi Kaca			
7	Pengukuran	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
8	Pemotongan	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
9	Proses Bevel Kering	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
10	Proses bevel Basah	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
11	Proses Gilap	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
12	Proses Nitrat	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
13	Proses Antik	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
Proses Produksi Besi			
14	Pengukuran	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
15	Pemotongan	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
16	Perakitan	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
Proses Produksi Kayu			
17	Pengukuran	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
18	Pemotongan	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
19	Perakitan Aksesoris	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
20	Perakitan Kayu+Besi	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
21	Perakitan Kaca+Rangka	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
22	Finishing	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
23	Packing	Processing Time	Dipengaruhi tenaga kerja
24	Pengiriman	Lead Time	Bergantung pada transportasi dan kondisi eksternal

Berdasarkan Tabel diatas, dapat diketahui bahwa aktivitas A sampai F tidak dilakukan crashing karena merupakan aktivitas yang didominasi oleh lead time atau aktivitas administrasi yang tidak dipengaruhi oleh penambahan tenaga kerja. Sementara itu, aktivitas D, G sampai W merupakan aktivitas produksi yang didominasi oleh processing time, sehingga penambahan tenaga

kerja dapat mengurangi durasi penyelesaian pekerjaan. Akan tetapi penentuan aktivitas yang bisa dicrash bukan hanya dari dipengaruhi oleh tenaga kerja saja, tetapi dipengaruhi juga oleh jalur kritis aktivitas. Oleh karena itu, perhitungan Crash Time, Crash Cost, dan Cost Slope pada penelitian ini hanya dilakukan pada aktivitas G sampai M dan U sampai W.

4. Perhitungan Waktu Crash

Perhitungan crash time dilakukan untuk mengetahui durasi aktivitas proyek apabila dilakukan percepatan dengan penambahan sumber daya. Analisis ini penting karena dengan metode crashing project durasi total proyek dapat dipersingkat tanpa mengubah urutan logis pekerjaan. Setiap aktivitas dibandingkan antara waktu normal dan waktu setelah dilakukan crashing. Hasil perhitungan ditampilkan pada tabel di bawah ini sebagai dasar analisis durasi proyek setelah percepatan. Dibawah ini adalah rumus perhitungan Crash Time:

$$CT = \frac{NT \times JT_N}{JT_C}$$

$$CT\ G = \frac{1 \times 3}{4}$$

$$CT\ G = 0,75$$

Perhitungan *crash time* dilakukan untuk mengetahui durasi aktivitas proyek setelah dilakukan percepatan. Rincian waktu normal dan waktu crash setiap aktivitas dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 7 Perhitungan Crash Time

No.	Aktivitas Pekerjaan	Jumlah Pekerja	Crash Workfoce	Normal Time	Crash Time
G	Pengukuran	3	4	1	0,75
H	Pemotongan	6	7	2	1,714
I	Proses Bevel Kering	3	4	4	3
J	Proses bevel Basah	4	5	4	3,2
K	Proses Gilap	2	3	4	2,667
L	Proses Nitrat	2	3	2	1,333
M	Proses Antik	2	3	4	2,667
U	Perakitan Kaca+Rangka	3	4	8	6
V	Finishing	2	3	4	2,67
W	Packing	4	5	2	1,6
Total		32	41	35	25,7

Tabel perhitungan *crash time* menunjukkan bahwa total durasi normal seluruh aktivitas adalah 35 jam, sedangkan setelah dilakukan crashing menjadi 25,7 jam. Artinya terdapat percepatan proyek sebesar 9,3 jam. Aktivitas seperti I (Proses Bevel Kering) dan K (Proses Gilap) mengalami pengurangan waktu yang cukup signifikan, sehingga berkontribusi terhadap percepatan keseluruhan proyek. Hasil ini menegaskan bahwa metode crashing mampu memperpendek durasi proyek dengan tetap mempertahankan urutan logis pekerjaan.

5. Perhitungan Biaya Crash

Dalam perhitungan crash cost, dasar biaya tenaga kerja menjadi komponen utama yang harus diperhatikan. Pada proyek ini, gaji karyawan office ditetapkan sebesar Rp2.500.000 per bulan, gaji karyawan produksi sebesar Rp2.250.000 per bulan, dan gaji karyawan harian sebesar Rp80.000 per hari. Jika dihitung dalam satuan jam kerja (diasumsikan 26 hari kerja per bulan dengan 8 jam kerja per hari), maka gaji karyawan office selama satu jam adalah $2.500.000 \div 26 \div 8 = \text{Rp}11.778$ per jam. Sedangkan gaji karyawan produksi selama satu jam adalah $2.250.000 \div 26 \div 8 = \text{Rp}10.817$ per jam. Dan gaji karyawan harian adalah $80.000 \div 8 = \text{Rp}10.000$ per jam. Konversi biaya per jam ini digunakan sebagai dasar dalam menghitung biaya normal dan biaya crash setiap aktivitas. Dengan demikian, tabel perhitungan crash cost di bawah ini menyajikan selisih biaya yang timbul akibat percepatan durasi aktivitas proyek. Dibawah ini adalah rumus perhitungan *Crash Cost*:

$$CC = NC + (U \times CT)$$

$$CC = 32.452 + (\text{Rp}. 10.817 \times 0,75)$$

$$CC = \text{Rp}. 40.565$$

Perhitungan *crash cost* dilakukan untuk mengetahui tambahan biaya yang timbul akibat percepatan aktivitas. Rincian biaya normal dan biaya crash setiap aktivitas ditunjukkan pada Tabel 4.8 di bawah ini

Tabel 4. 8 Perhitungan Crash Cost

No.	Aktivitas Pekerjaan	Normal Cost	Crash Cost
G	Pengukuran	Rp32.452	Rp40.565
H	Pemotongan	Rp129.807	Rp148.351
I	Proses Bevel Kering	Rp129.807	Rp162.259

J	Proses bevel Basah	Rp173.076	Rp207.691
K	Proses Gilap	Rp86.538	Rp115.384
L	Proses Nitrat	Rp43.269	Rp57.692
M	Proses Antik	Rp86.538	Rp115.384
U	Perakitan Kaca+Rangka	Rp259.614	Rp324.518
V	Finishing	Rp86.538	Rp115.384
W	Packing	Rp80.000	Rp96.000
Total		Rp1.107.639	Rp1.383.227

Tabel perhitungan *crash cost* menunjukkan bahwa total biaya normal proyek adalah Rp1.107.639, sedangkan setelah dilakukan crashing meningkat menjadi Rp1.383.227. Dengan demikian, terdapat tambahan biaya sebesar Rp275.588 untuk mempercepat durasi proyek. Aktivitas seperti H (Pemotongan) dan J (Proses Bevel Basah) memiliki selisih biaya yang cukup besar, sehingga menjadi perhatian dalam pengendalian anggaran. Hasil ini menunjukkan adanya trade-off antara percepatan waktu dan peningkatan biaya, yang harus dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan manajerial.

6. Perhitungan Cost Slope

Perhitungan *cost slope* digunakan untuk mengetahui rasio biaya tambahan terhadap pengurangan durasi. Nilai ini menunjukkan efisiensi percepatan proyek: semakin kecil *cost slope*, semakin efisien aktivitas tersebut untuk dilakukan crashing. Dengan demikian, analisis *cost slope* menjadi dasar dalam menentukan aktivitas mana yang paling optimal untuk dipercepat. Dibawah ini adalah rumus perhitungan *Cost Slope*:

$$CS = \frac{CC - NC}{NT - CT}$$

$$CS = \frac{40.565 - 32.452}{1 - 0,75}$$

$$CS = Rp. 32.452$$

Perhitungan *cost slope* digunakan untuk mengetahui rasio biaya tambahan terhadap pengurangan durasi, sehingga dapat ditentukan aktivitas yang paling efisien untuk dilakukan crashing. Rincian perhitungan *cost slope* ditampilkan pada Tabel 4.9 berikut

Tabel 4. 9 Perhitungan Cost Slope

No.	Aktivitas Pekerjaan	Normal Time	Crash Time	Normal Cost	Crash Cost	Cost Slope
G	Pengukuran	1	0,75	Rp32.452	Rp40.565	Rp32.452
H	Pemotongan	2	1,714	Rp129.807	Rp148.351	Rp64.903
I	Proses Bevel Kering	4	3	Rp129.807	Rp162.259	Rp32.452
J	Proses bevel Basah	4	3,2	Rp173.076	Rp207.691	Rp43.269
K	Proses Gilap	4	2,667	Rp86.538	Rp115.384	Rp21.635
L	Proses Nitrat	2	1,333	Rp43.269	Rp57.692	Rp21.635
M	Proses Antik	4	2,667	Rp86.538	Rp115.384	Rp21.635
U	Perakitan Kaca+Rangka	8	6	Rp259.614	Rp324.518	Rp32.452
V	Finishing	4	2,67	Rp86.538	Rp115.384	Rp21.635
W	Packing	2	1,6	Rp80.000	Rp96.000	Rp40.000
Total		35	25,7	Rp1.107.639	Rp1.383.227	Rp29.633

Tabel perhitungan *cost slope* memperlihatkan rasio biaya tambahan terhadap pengurangan durasi pada setiap aktivitas. Aktivitas dengan nilai *cost slope* rendah, seperti K (Proses Gilap), L (Proses Nitrat), dan M (Proses Antik), lebih efisien untuk dilakukan crashing karena memberikan pengurangan durasi dengan biaya tambahan yang relatif kecil. Sebaliknya, aktivitas dengan nilai *cost slope* tinggi, seperti H (Pemotongan), memerlukan biaya lebih besar untuk setiap jam percepatan. Hasil ini menjadi dasar dalam menentukan aktivitas mana yang paling optimal untuk dipercepat, sehingga proyek dapat diselesaikan lebih cepat dengan biaya tambahan yang terukur.

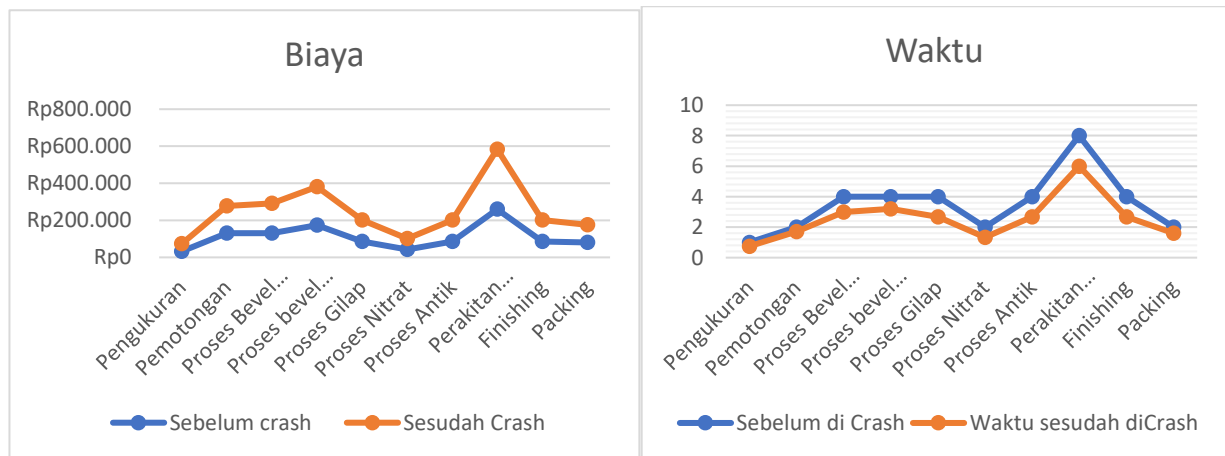
7. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Crashing

Berdasarkan pengolahan data menggunakan metode Crashing diatas dapat diperoleh hasil dari perbandingan waktu dan biaya sebelum dan sesudah dilakukan Crashing, berikut tabel perbandingan sebelum dan sesudah dilakukan Crashing:

Tabel 4. 10 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Crashing

Kode	Aktivitas Pekerjaan	Waktu		Biaya		Total Biaya
		Sebelum Crash	Sesudah Crash	Sebelum crash	Sesudah Crash	
G	Pengukuran	1	0,75	Rp32.452	Rp40.565	Rp8.113
H	Pemotongan	2	1,714	Rp129.807	Rp148.351	Rp18.544
I	Proses Bevel Kering	4	3	Rp129.807	Rp162.259	Rp32.452
J	Proses bevel Basah	4	3,2	Rp173.076	Rp207.691	Rp34.615
K	Proses Gilap	4	2,667	Rp86.538	Rp115.384	Rp28.846
L	Proses Nitrat	2	1,333	Rp43.269	Rp57.692	Rp14.423
M	Proses Antik	4	2,667	Rp86.538	Rp115.384	Rp28.846

U	Perakitan Kaca+Rangka	8	6	Rp259.614	Rp324.518	Rp64.904
V	Finishing	4	2,67	Rp86.538	Rp115.384	Rp28.846
W	Packing	2	1,6	Rp80.000	Rp96.000	Rp16.000
Total		35	25,7	Rp1.107.639	Rp1.383.228	Rp275.589



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Sebelum dan Sesudah Crashing

Berdasarkan grafik di atas, total durasi project sebelum dilakukan *crash* adalah 35 jam, sedangkan setelah dilakukan *crash* durasi berkurang menjadi 25,7 jam. Hal ini menunjukkan adanya percepatan waktu sebesar 9,3 jam. Namun, percepatan tersebut diikuti dengan peningkatan biaya dari Rp1.107.639 menjadi Rp1.383.228, sehingga terdapat tambahan biaya sebesar Rp275.589. Dengan demikian, penerapan metode *crashing* terbukti efektif dalam mengurangi waktu pelaksanaan project, tetapi harus dipertimbangkan secara cermat karena berdampak pada peningkatan biaya yang cukup signifikan. Analisis ini menjadi dasar dalam pengambilan keputusan manajerial terkait efisiensi waktu dan pengendalian biaya project.

4.2.5 Perhitungan Penghematan Biaya Tidak Langsung

Biaya tidak langsung dalam penelitian ini dihitung berdasarkan biaya konsumsi listrik selama kegiatan operasional perusahaan. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui besarnya penghematan biaya yang diperoleh akibat pengurangan durasi proses produksi setelah penerapan metode Crashing Project. Berdasarkan hasil Crashing Project, durasi proses produksi mengalami penurunan dari 35 jam menjadi 25,7 jam, sehingga terjadi pengurangan durasi sebesar 9,3 jam.

Data biaya listrik yang digunakan merupakan rata-rata biaya listrik perusahaan sebesar Rp3.617.667 per bulan. Biaya tersebut merupakan biaya listrik

keseluruhan kegiatan operasional perusahaan yang mencakup penggunaan mesin produksi, penerangan, komputer, laptop, serta peralatan listrik lainnya. Dengan demikian, konsumsi listrik yang diperoleh dalam perhitungan merupakan rata-rata konsumsi energi listrik seluruh kegiatan operasional perusahaan, bukan konsumsi dari satu jenis mesin tertentu.

Tarif listrik yang digunakan dalam perhitungan adalah sebesar Rp1.444,70/kWh. Perusahaan memiliki 26 hari kerja dalam satu bulan dengan waktu kerja 8 jam per hari, sehingga total waktu operasional perusahaan dalam satu bulan adalah:

$$Total\ jam\ Operasional = 26 \times 8 = 208 \frac{jam}{bln}$$

1. Perhitungan Konsumsi Listrik per Bulan

Konsumsi listrik rata-rata per bulan diperoleh dengan membagi biaya listrik rata-rata per bulan dengan tarif listrik yang berlaku. Perhitungan dilakukan sebagai berikut:

$$Konsumsi\ listrik\ bulanan = \frac{Rp. 3.617.667}{Rp. 1.44,70/kWh} = 2.504,10kWh/jam$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, rata-rata konsumsi energi listrik perusahaan adalah sebesar 2.504,10 kWh per bulan.

2. Perhitungan Konsumsi Listrik per Jam

Rata-rata konsumsi listrik per jam diperoleh dengan membagi konsumsi listrik bulanan dengan total jam operasional perusahaan dalam satu bulan.

$$Konsumsi\ listrik\ perjam = \frac{2.504,10kWh}{208\ jam} = 12,04kWh/jam$$

Dengan demikian, berdasarkan rata-rata penggunaan listrik perusahaan, diperoleh konsumsi energi listrik sebesar 12,04 kWh per jam operasional.

Nilai tersebut merupakan rata-rata konsumsi energi listrik seluruh fasilitas dan peralatan yang menggunakan listrik selama kegiatan operasional perusahaan. Oleh karena itu, nilai tersebut tidak menunjukkan

bahwa seluruh mesin produksi beroperasi secara bersamaan selama jam kerja.

3. Perhitungan Biaya Listrik per Jam

Biaya listrik rata-rata per jam dihitung berdasarkan konsumsi listrik per jam dan tarif listrik yang berlaku.

$$\text{Biaya listrik perjam} = 12,04kWh \times Rp. 1.444,70 = Rp. 17.392,63/\text{jam}$$

Dengan demikian, rata-rata biaya listrik yang dikeluarkan perusahaan untuk setiap jam operasional adalah sebesar Rp17.392,63.

4. Perhitungan Biaya Listrik Sebelum Crashing

Sebelum dilakukan Crashing Project, proses produksi memiliki durasi sebesar 35 jam. Oleh karena itu, biaya listrik yang berkaitan dengan durasi proses produksi sebelum dilakukan percepatan dihitung sebagai berikut:

$$\text{Biaya listrik sebelum crash} = 35 \times Rp17.392,62 = Rp608.742,05$$

Dengan demikian, biaya listrik berdasarkan durasi proses produksi normal sebesar 35 jam adalah Rp608.742,05.

5. Perhitungan Biaya Listrik Setelah Crashing

Setelah dilakukan Crashing Project, durasi proses produksi mengalami pengurangan menjadi 25,7 jam. Biaya listrik setelah dilakukan percepatan dihitung sebagai berikut:

$$\text{Biaya listrik sesudah crash} = 25,7 \times Rp17.392,62 = Rp446.990,59$$

Dengan demikian, biaya listrik berdasarkan durasi proses produksi setelah crashing adalah sebesar Rp446.990,59.

6. Perhitungan Penghematan Biaya Tidak Langsung

Penghematan biaya tidak langsung diperoleh dari selisih antara biaya listrik sebelum dan setelah dilakukan Crashing Project. Perhitungan penghematan dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Perhematan} = Rp608.742,05 - Rp446.990,59 = Rp161.751,46$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, penerapan Crashing Project menghasilkan penghematan biaya tidak langsung berupa biaya listrik sebesar Rp161.751,46. Penghematan tersebut diperoleh dari pengurangan durasi proses produksi sebesar 9,3 jam, yaitu dari 35 jam menjadi 25,7 jam.

Berdasarkan perhitungan tersebut, pengurangan durasi proses produksi sebesar 9,3 jam menyebabkan biaya listrik yang diperhitungkan berdasarkan durasi produksi mengalami penurunan sebesar Rp161.751,46. Nilai penghematan biaya tidak langsung tersebut selanjutnya digunakan dalam analisis untuk membandingkan perubahan biaya akibat penerapan Crashing Project.

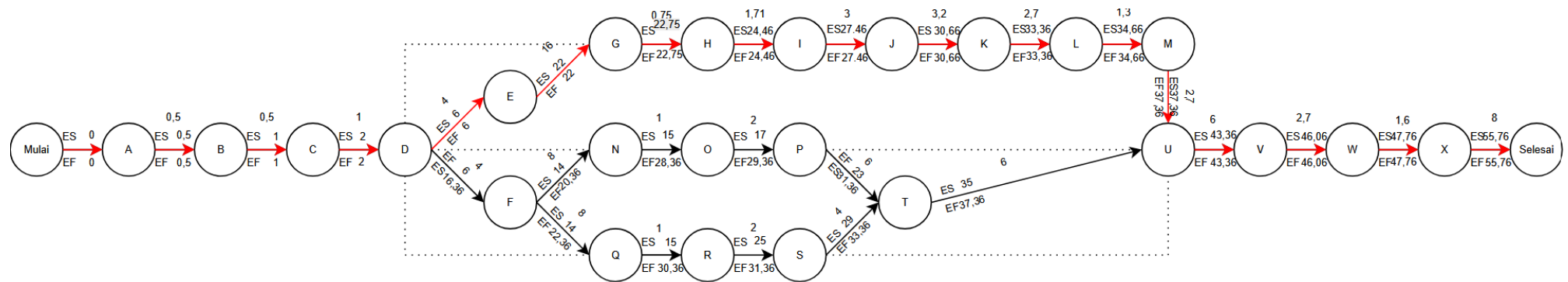
4.2.6 PERHITUNGAN CRITICAL PATH METHOD SETELAH CRASHING

Perhitungan jalur kritis proyek setelah Crashing dilakukan menggunakan metode *Critical Path Method (CPM)* dengan tahapan *forward pass* dan *backward pass*. Melalui metode ini diperoleh nilai *Early Start (ES)*, *Early Finish (EF)*, *Late Start (LS)*, *Late Finish (LF)*, serta *Total Float (TF)* untuk setiap aktivitas. Penyajian tabel berikut bertujuan untuk menunjukkan hasil perhitungan durasi, waktu mulai dan selesai, serta kelonggaran waktu aktivitas setelah dilakukan crashing

Kode	Durasi	ES	EF	LS	LF	TF
A	0,5	0	0,5	0	0,5	0
B	0,5	0,5	1	0,5	1	0
C	0,5	1	2	1,5	2	0
D	4	2	6	2	6	0
E	16	6	22	6	22	0
F	8	6	14	12,36	20,36	18
G	0,75	22	22,75	22	22,75	0
H	1,71	22,75	24,46	22,75	24,46	0
I	3	24,46	27,46	24,46	27,46	0
J	3,2	27,46	30,66	27,46	30,66	0
K	2,7	30,66	33,36	30,66	33,36	0
L	1,3	33,36	34,66	33,36	34,66	0
M	2,7	34,66	37,36	34,66	37,36	0
N	1	14	15	27,36	28,36	14
O	2	15	17	27,36	29,36	21
P	6	17	23	25,36	31,36	20
Q	1	14	15	29,36	30,36	16

R	2	15	17	29,36	31,36	23
S	4	17	21	29,36	33,36	22
T	6	23	29	31,36	37,36	16
U	6	37,36	43,36	37,36	43,36	0
V	2,7	43,36	46,06	43,36	46,06	0
W	1,6	46,06	47,66	46,06	47,66	0
X	8	47,66	55,66	47,66	55,66	0

Berdasarkan tabel di atas, dapat diidentifikasi bahwa aktivitas yang memiliki nilai *Total Float* sama dengan nol merupakan bagian dari jalur kritis, yaitu aktivitas A, B, C, D, E, G, H, I, J, K, L, M, U, V, W, dan X. Aktivitas-aktivitas tersebut harus dilaksanakan sesuai jadwal karena keterlambatan akan langsung memengaruhi durasi total proyek. Sementara itu, aktivitas F, N, O, P, Q, R, S, dan T memiliki nilai *float* positif, yang menunjukkan adanya kelonggaran waktu sehingga tidak secara langsung memengaruhi penyelesaian proyek. Dengan demikian, jalur kritis proyek terbentuk dari rangkaian aktivitas yang memiliki $TF = 0$, dan total durasi proyek yang diperoleh adalah 55,66 jam. Analisis ini memberikan gambaran jelas mengenai aktivitas yang harus diprioritaskan dalam pengendalian waktu proyek.



Gambar 4. 9 Jalur kritis setelah crashing

Dari diagram jaringan kerja di atas terlihat bahwa jalur kritis proyek terbentuk melalui rangkaian aktivitas A–E, G–M, U–X. Jalur ini ditandai dengan garis merah yang menunjukkan bahwa aktivitas tersebut tidak memiliki kelonggaran waktu. Dengan demikian, keterlambatan pada salah satu aktivitas kritis akan langsung memengaruhi durasi total proyek. Durasi keseluruhan proyek yang diperoleh dari jalur kritis adalah 55,66 hari. Visualisasi ini memperkuat hasil perhitungan tabel sebelumnya dan memberikan gambaran komprehensif mengenai aktivitas yang harus diprioritaskan dalam pengendalian waktu proyek.

BAB V

ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

5.1 Analisis Hasil

5.1.1 Analisis Struktur Kerja

Berdasarkan hasil identifikasi aktivitas produksi, terdapat 24 aktivitas yang membentuk rangkaian proses produksi pada PT Margo Glass Gallery. Setiap aktivitas memiliki hubungan ketergantungan atau predecessor yang menentukan urutan pelaksanaan pekerjaan. Hubungan tersebut dimulai dari aktivitas awal yang berkaitan dengan proses administrasi dan persiapan produksi, kemudian dilanjutkan menuju aktivitas produksi hingga tahap akhir berupa finishing, packing, dan pengiriman. Identifikasi predecessor diperlukan agar setiap aktivitas dapat dilaksanakan sesuai urutan dan tidak terjadi pelaksanaan pekerjaan sebelum aktivitas yang menjadi persyaratannya selesai.

Struktur jaringan kerja menunjukkan bahwa proses produksi tidak seluruhnya berlangsung secara berurutan, tetapi terdapat beberapa aktivitas yang dapat dilakukan secara paralel. Kondisi tersebut terlihat pada percabangan proses produksi, khususnya pada jalur kaca, kayu, dan besi. Aktivitas pada masing-masing jalur dapat berlangsung secara bersamaan karena memiliki ketergantungan yang berbeda, sebelum akhirnya bergabung pada aktivitas perakitan. Struktur tersebut menunjukkan bahwa durasi proyek tidak hanya ditentukan oleh jumlah keseluruhan aktivitas, tetapi terutama oleh rangkaian aktivitas dengan durasi kumulatif terpanjang yang menjadi penentu penyelesaian proyek.

Dengan demikian, hubungan ketergantungan dan aktivitas paralel memberikan implikasi terhadap durasi proyek karena aktivitas yang berada pada jalur kritis memiliki pengaruh langsung terhadap waktu penyelesaian proyek. Sementara itu, aktivitas yang memiliki kelonggaran waktu dapat mengalami penyesuaian jadwal tanpa secara langsung memengaruhi penyelesaian keseluruhan proyek. Kondisi ini menjadi dasar dalam penerapan

Critical Path Method untuk menentukan aktivitas yang harus mendapatkan perhatian lebih besar dalam pengendalian waktu proyek.

5.1.2 Analisis Critical Path Method

Hasil perhitungan Critical Path Method menunjukkan bahwa durasi normal proyek adalah 65 jam. Nilai tersebut diperoleh dari perhitungan forward pass, dimana aktivitas terakhir X memiliki nilai EF sebesar 65 jam. Perhitungan forward pass digunakan untuk menentukan waktu mulai paling awal atau Early Start (ES) dan waktu selesai paling awal atau Early Finish (EF) dari setiap aktivitas. Nilai ES menunjukkan waktu paling awal suatu aktivitas dapat dimulai berdasarkan penyelesaian aktivitas pendahulunya, sedangkan EF menunjukkan waktu paling awal aktivitas tersebut dapat diselesaikan.

Selanjutnya, perhitungan backward pass digunakan untuk menentukan Late Start (LS) dan Late Finish (LF). LS menunjukkan waktu paling lambat suatu aktivitas dapat dimulai, sedangkan LF menunjukkan waktu paling lambat aktivitas tersebut harus diselesaikan tanpa menyebabkan keterlambatan penyelesaian proyek. Perbandingan antara waktu paling awal dan waktu paling lambat tersebut digunakan untuk menentukan Total Float masing-masing aktivitas. Aktivitas dengan Total Float sebesar nol dikategorikan sebagai aktivitas kritis karena tidak memiliki kelonggaran waktu.

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa aktivitas yang berada pada jalur dengan Total Float nol membentuk jalur kritis proyek. Sementara itu, aktivitas nonkritis memiliki nilai Total Float lebih dari nol sehingga masih mempunyai kelonggaran waktu. Secara manajerial, hasil CPM memberikan informasi mengenai aktivitas yang harus menjadi prioritas pengendalian. Apabila aktivitas kritis mengalami keterlambatan, maka keterlambatan tersebut berpotensi langsung meningkatkan durasi penyelesaian proyek. Oleh karena itu, perusahaan perlu memberikan pengawasan dan pengalokasian sumber daya yang lebih ketat terhadap aktivitas yang berada pada jalur kritis.

5.1.3 Analisis Jalur Kritis

Berdasarkan hasil perhitungan CPM, jalur kritis proyek terdiri dari aktivitas A–B–C–D–E–G–H–I–J–K–L–M–U–V–W–X. Jalur tersebut menjadi jalur kritis karena aktivitas-aktivitas di dalamnya memiliki Total Float sebesar nol, sehingga tidak memiliki kelonggaran waktu. Keterlambatan pada salah satu aktivitas dalam rangkaian tersebut akan berpotensi menyebabkan keterlambatan terhadap aktivitas berikutnya dan pada akhirnya memengaruhi waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan.

Dalam penerapan crashing, tidak seluruh aktivitas kritis dipercepat. Aktivitas kritis A, B, C, D, E, dan X tidak dipilih untuk dilakukan crashing karena pertimbangan teknis dan karakteristik pekerjaannya. Sementara itu, aktivitas G, H, I, J, K, L, M, U, V, dan W dipilih sebagai aktivitas yang dapat dipercepat karena secara teknis memungkinkan dilakukan penambahan sumber daya. Dengan demikian, pemilihan aktivitas crashing tidak hanya didasarkan pada status aktivitas sebagai aktivitas kritis, tetapi juga mempertimbangkan kemungkinan aktivitas tersebut untuk dipercepat.

5.1.4 Analisis Seleksi Aktivitas Crashing

Pemilihan aktivitas yang dilakukan crashing didasarkan pada empat pertimbangan utama, yaitu criticality, controllability, crashability, dan cost slope. Criticality menunjukkan bahwa aktivitas yang diprioritaskan merupakan aktivitas yang memiliki pengaruh terhadap durasi proyek karena berada pada jalur kritis. Controllability berkaitan dengan kemampuan perusahaan dalam mengendalikan waktu pelaksanaan aktivitas melalui penambahan sumber daya. Crashability menunjukkan bahwa aktivitas tersebut secara teknis memungkinkan untuk dipercepat tanpa mengubah urutan utama proses produksi.

Selain itu, cost slope digunakan untuk mempertimbangkan besarnya tambahan biaya yang diperlukan untuk memperoleh pengurangan waktu. Aktivitas dengan cost slope yang lebih rendah secara relatif lebih ekonomis untuk dipercepat karena membutuhkan tambahan biaya yang lebih kecil untuk setiap pengurangan durasi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa aktivitas K, L, dan M memiliki cost slope relatif rendah dibandingkan

beberapa aktivitas lainnya, sedangkan aktivitas H memiliki cost slope yang lebih tinggi.

Dengan demikian, keputusan crashing dalam penelitian ini tidak semata-mata memilih aktivitas kritis, tetapi mempertimbangkan apakah aktivitas tersebut dapat dikendalikan, memungkinkan untuk dipercepat, serta memiliki konsekuensi biaya yang masih dapat diterima. Pendekatan tersebut membuat proses pemilihan aktivitas crashing lebih rasional karena mempertimbangkan aspek waktu, teknis, dan biaya secara bersamaan.

5.1.5 Analisis Crash Time

Hasil penerapan Crashing Project menunjukkan bahwa kelompok aktivitas produksi yang dipercepat memiliki durasi normal sebesar 35 jam dan setelah dilakukan crashing menjadi 25,7 jam. Dengan demikian, terjadi pengurangan durasi sebesar 9,3 jam atau sekitar 26,6% dari durasi kelompok aktivitas yang menjadi objek crashing. Percepatan dilakukan melalui penambahan sumber daya pada aktivitas yang secara teknis memungkinkan untuk dipercepat. Data perhitungan menunjukkan bahwa beberapa aktivitas mengalami pengurangan durasi, seperti G, H, I, J, K, L, M, U, V, dan W.

Pengurangan durasi sebesar 9,3 jam tersebut menunjukkan bahwa penerapan crashing mampu meningkatkan kecepatan pelaksanaan aktivitas produksi yang dipilih. Namun, nilai 26,6% merupakan efisiensi pada kelompok aktivitas yang di-crash, bukan persentase pengurangan terhadap keseluruhan durasi proyek. Oleh karena itu, hasil tersebut perlu dibedakan dari efisiensi durasi keseluruhan proyek. Setelah perubahan durasi aktivitas dimasukkan kembali ke dalam jaringan CPM, durasi proyek diproyeksikan berkurang dari 65 jam menjadi 55,7 jam, sehingga pengurangan durasi keseluruhan proyek adalah sebesar 9,3 jam atau 14,31%.

5.1.6 Analisis Crash Cost

Penerapan crashing menyebabkan peningkatan biaya langsung karena perusahaan membutuhkan tambahan sumber daya untuk mempercepat aktivitas produksi. Berdasarkan hasil perhitungan, total biaya langsung normal sebesar Rp1.107.639, sedangkan setelah dilakukan crashing menjadi

Rp1.383.227. Dengan demikian, terdapat tambahan biaya langsung sebesar Rp275.588. Data per aktivitas menunjukkan bahwa peningkatan biaya terjadi pada seluruh aktivitas yang dilakukan percepatan karena adanya tambahan sumber daya yang digunakan dalam proses crashing.

Jika dibandingkan dengan biaya normal, tambahan biaya langsung tersebut menunjukkan kenaikan sekitar 24,88%. Kondisi ini menunjukkan adanya trade-off antara waktu dan biaya, dimana perusahaan memperoleh pengurangan waktu pelaksanaan dengan konsekuensi adanya peningkatan biaya langsung. Oleh karena itu, penerapan crashing perlu dilakukan secara selektif agar tambahan biaya yang dikeluarkan sebanding dengan manfaat percepatan yang diperoleh.

5.1.7 Analisis Biaya Tidak Langsung

Biaya tidak langsung dalam penelitian ini direpresentasikan oleh biaya konsumsi listrik selama kegiatan operasional perusahaan. Perhitungan menggunakan rata-rata biaya listrik perusahaan sebesar Rp3.617.667 per bulan, tarif listrik sebesar Rp1.444,70/kWh, serta asumsi 26 hari kerja dengan 8 jam kerja per hari. Berdasarkan data tersebut, konsumsi dan biaya listrik rata-rata per jam digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi biaya listrik yang berkaitan dengan durasi proses produksi.

Pengurangan durasi produksi dari 35 jam menjadi 25,7 jam menyebabkan waktu penggunaan energi menjadi lebih singkat. Berdasarkan perhitungan penelitian, pengurangan durasi tersebut menghasilkan estimasi penghematan biaya listrik sebesar Rp161.751,46. Konsep perhitungannya didasarkan pada hubungan antara konsumsi energi, waktu penggunaan, dan tarif listrik yang berlaku.

Namun, perlu ditegaskan bahwa biaya listrik dalam penelitian ini merupakan estimasi alokasi berdasarkan rata-rata biaya operasional perusahaan, bukan hasil pengukuran langsung konsumsi listrik setiap mesin yang digunakan pada project. Oleh karena itu, nilai penghematan sebesar Rp161.751,46 harus dipahami sebagai estimasi penghematan biaya tidak langsung berdasarkan asumsi penelitian.

5.1.8 Analisis Time-Cost Trade-Off

Analisis time-cost trade-off menunjukkan adanya hubungan timbal balik antara pengurangan durasi proyek dan peningkatan biaya langsung. Pada kondisi normal, durasi proyek adalah 65 jam dengan biaya langsung sebesar Rp1.107.639. Setelah dilakukan crashing, durasi proyek menjadi 55,7 jam, sedangkan biaya langsung meningkat menjadi Rp1.383.227. Dengan demikian, perusahaan memperoleh percepatan sebesar 9,3 jam, tetapi harus menanggung tambahan biaya langsung sebesar Rp275.588.

Pada saat yang sama, pengurangan durasi menghasilkan estimasi penghematan biaya listrik sebesar Rp161.751,46. Dengan memperhitungkan tambahan biaya langsung dan penghematan biaya listrik, terdapat tambahan biaya bersih sekitar Rp113.836,54. Dengan demikian, perusahaan pada dasarnya mengeluarkan biaya bersih sekitar Rp12.240 per jam percepatan untuk memperoleh pengurangan durasi sebesar 9,3 jam.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa crashing dalam penelitian ini lebih tepat dipandang sebagai strategi percepatan waktu, bukan sebagai strategi penghematan biaya. Perusahaan bersedia mengeluarkan tambahan biaya bersih apabila manfaat dari penyelesaian project lebih cepat dianggap lebih besar dibandingkan biaya tambahan yang dikeluarkan.

5.1.9 Analisis Efisiensi Waktu

Berdasarkan hasil analisis, penerapan crashing memberikan pengurangan durasi keseluruhan proyek sebesar 9,3 jam, yaitu dari 65 jam menjadi 55,7 jam. Jika dibandingkan dengan durasi normal proyek, pengurangan tersebut setara dengan sekitar 14,31%. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan crashing memberikan peningkatan efisiensi waktu pada tingkat keseluruhan proyek karena waktu penyelesaian dapat dipersingkat.

Sementara itu, apabila dilihat secara khusus pada kelompok aktivitas yang menjadi objek crashing, durasi berkurang dari 35 jam menjadi 25,7 jam atau sebesar 9,3 jam dan sekitar 26,6%. Kedua nilai persentase tersebut menunjukkan ukuran yang berbeda. Persentase 26,6% menggambarkan efisiensi pada aktivitas yang di-crash, sedangkan 14,31% menggambarkan

pengurangan terhadap keseluruhan durasi proyek. Oleh karena itu, kedua angka tersebut tidak dapat disamakan dalam interpretasi hasil penelitian.

5.1.10 Analisis Efisiensi Biaya

Berdasarkan hasil crashing, penerapan percepatan tidak menghasilkan penghematan biaya langsung. Sebaliknya, biaya langsung meningkat dari Rp1.107.639 menjadi Rp1.383.227, sehingga terdapat tambahan biaya sebesar Rp275.588. Peningkatan tersebut terjadi karena adanya tambahan sumber daya yang digunakan untuk mempercepat aktivitas produksi.

Di sisi lain, pengurangan durasi proses produksi menghasilkan estimasi penghematan biaya listrik sebesar Rp161.751,46. Dengan mempertimbangkan kedua komponen tersebut, masih terdapat tambahan biaya bersih sekitar Rp113.836,54. Oleh karena itu, crashing dalam penelitian ini tidak dapat dikatakan menghemat biaya secara keseluruhan. Efisiensi yang paling terlihat adalah efisiensi waktu, sedangkan dari sisi biaya perusahaan masih harus mengeluarkan biaya tambahan untuk memperoleh percepatan.

5.1.11 Analisis Manajerial

Hasil penelitian memberikan alternatif pengambilan keputusan bagi perusahaan dalam menentukan strategi percepatan produksi. Apabila perusahaan berada dalam kondisi yang sangat membutuhkan penyelesaian project lebih cepat, penerapan crashing dapat dipertimbangkan karena mampu mengurangi durasi proyek sebesar 9,3 jam. Percepatan tersebut dapat membantu perusahaan memenuhi deadline, mengurangi risiko keterlambatan penyelesaian pesanan, serta memberikan kepastian waktu penyelesaian yang lebih baik. Selain itu, tambahan biaya akibat crashing dapat diperkirakan sejak awal sehingga perusahaan dapat melakukan pengendalian anggaran sebelum keputusan percepatan diterapkan.

Sebaliknya, apabila perusahaan tidak berada dalam kondisi yang memiliki tekanan deadline, penerapan crashing perlu dipertimbangkan kembali karena menghasilkan tambahan biaya bersih sekitar Rp113.836,54 setelah memperhitungkan estimasi penghematan listrik. Dengan demikian, keputusan crashing sebaiknya tidak hanya didasarkan pada keinginan untuk

mempercepat proses, tetapi juga mempertimbangkan urgensi pesanan, batas waktu penyelesaian, kemampuan perusahaan menyediakan tenaga kerja tambahan, serta nilai manfaat yang diperoleh dari penyelesaian project lebih cepat.

Secara manajerial, hasil penelitian menunjukkan bahwa crashing layak digunakan sebagai strategi alternatif ketika manfaat percepatan waktu lebih penting daripada tambahan biaya yang harus dikeluarkan. Sebaliknya, apabila tidak terdapat tekanan waktu yang signifikan, perusahaan dapat mempertahankan kondisi normal karena percepatan belum memberikan penghematan biaya bersih. Dengan pendekatan tersebut, perusahaan dapat menentukan keputusan percepatan berdasarkan kondisi aktual setiap pesanan dan tidak menerapkan crashing secara otomatis pada seluruh project.

5.2 INTERPRETASI HASIL

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan Critical Path Method (CPM) memberikan informasi mengenai aktivitas yang memiliki pengaruh paling besar terhadap penyelesaian project. Penentuan jalur kritis memungkinkan perusahaan mengetahui aktivitas yang harus menjadi prioritas pengawasan karena keterlambatan pada aktivitas tersebut dapat memengaruhi waktu penyelesaian project secara keseluruhan. Dengan adanya informasi tersebut, perusahaan dapat mengalokasikan tenaga kerja dan sumber daya secara lebih terarah, terutama pada aktivitas yang berada pada jalur kritis.

Penerapan Crashing Project menunjukkan bahwa penambahan sumber daya pada aktivitas yang memungkinkan untuk dipercepat dapat mengurangi waktu penyelesaian aktivitas yang menjadi objek crashing dari 35 jam menjadi 25,7 jam, atau berkurang sebesar 9,3 jam. Jika hasil tersebut diterapkan pada keseluruhan jaringan project dan menghasilkan pengurangan durasi project dari 65 jam menjadi 55,76 jam, maka perusahaan memperoleh kesempatan untuk menyelesaikan pesanan sekitar 9,3 jam lebih cepat. Percepatan tersebut memberikan manfaat terutama ketika perusahaan memiliki pesanan dengan batas waktu penyelesaian yang ketat atau membutuhkan produk untuk segera dikirim kepada pelanggan.

Dari sisi biaya, crashing menyebabkan biaya langsung meningkat sebesar Rp275.588, sedangkan pengurangan durasi menghasilkan estimasi penghematan biaya listrik sebesar Rp161.751,46. Setelah kedua komponen tersebut diperhitungkan, terdapat tambahan biaya bersih sekitar Rp113.836,54. Hasil ini menunjukkan bahwa crashing belum memberikan efisiensi biaya dalam arti pengurangan total biaya, tetapi memberikan efisiensi dalam penggunaan waktu. Dengan kata lain, perusahaan mengeluarkan tambahan biaya untuk memperoleh manfaat berupa penyelesaian project yang lebih cepat.

Percepatan penyelesaian pesanan juga dapat memberikan manfaat nonfinansial (intangible benefit) bagi perusahaan. Pesanan yang selesai lebih cepat memungkinkan perusahaan memiliki waktu yang lebih longgar sebelum batas pengiriman, sehingga risiko keterlambatan kepada pelanggan dapat dikurangi. Penyelesaian tepat waktu atau lebih cepat juga berpotensi meningkatkan kepercayaan dan kepuasan pelanggan, menjaga reputasi perusahaan, serta meningkatkan peluang terjadinya pemesanan kembali. Manfaat tersebut tidak dihitung secara nominal dalam penelitian karena tidak tersedia data yang dapat digunakan untuk mengkuantifikasinya, sehingga diposisikan sebagai manfaat potensial dari penerapan crashing.

Dengan demikian, keputusan penerapan crashing sebaiknya disesuaikan dengan kondisi pesanan. Apabila perusahaan sedang menghadapi pesanan yang memiliki deadline ketat, tambahan biaya bersih sekitar Rp113.836,54 dapat dipertimbangkan sebagai biaya untuk memperoleh percepatan penyelesaian sebesar 9,3 jam. Manfaat yang diperoleh bukan hanya pengurangan waktu produksi, tetapi juga pengurangan risiko keterlambatan dan potensi peningkatan kepercayaan pelanggan. Sebaliknya, apabila tidak terdapat tekanan deadline, crashing kurang ekonomis karena perusahaan tetap menanggung tambahan biaya bersih tanpa memperoleh penghematan biaya total.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penerapan metode Critical Path Method (CPM) dan Crashing Project pada proses produksi PT Margo Glass Galery, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur dan urutan aktivitas produksi pada PT Margo Glass Galery berhasil diidentifikasi melalui penyusunan jaringan kerja. Proses produksi terdiri dari aktivitas administrasi, perencanaan dan pengadaan, proses produksi kaca, besi, dan kayu, hingga perakitan, finishing, packing, dan pengiriman. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap aktivitas memiliki hubungan ketergantungan yang berbeda sehingga tidak seluruh aktivitas memberikan pengaruh yang sama terhadap waktu penyelesaian project.
2. Jalur kritis berhasil ditentukan menggunakan metode CPM. Aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis adalah A–B–C–D–E–G–H–I–J–K–L–M–U–V–W–X. Aktivitas tersebut memiliki Total Float sebesar nol sehingga keterlambatan pada salah satu aktivitas dapat menyebabkan keterlambatan terhadap penyelesaian keseluruhan project. Hasil analisis CPM menunjukkan bahwa total durasi project adalah 65 jam.
3. Penerapan Crashing Project mampu mempercepat proses produksi pada aktivitas yang dipilih dari 65 jam menjadi 55,7 jam, sehingga diperoleh pengurangan waktu sebesar 9,3 jam atau sekitar 14,3%. Percepatan dilakukan dengan menambahkan sumber daya pada aktivitas yang secara teknis memungkinkan untuk dipercepat.
4. Penerapan Crashing Project menyebabkan biaya langsung meningkat dari Rp1.107.639 menjadi Rp1.383.227, atau terdapat tambahan biaya sebesar Rp275.588. Namun, pengurangan durasi produksi juga memberikan penghematan biaya tidak langsung berupa biaya listrik sebesar Rp161.751,46. Dengan demikian, penerapan Crashing Project memberikan keuntungan utama berupa pengurangan waktu penyelesaian, sedangkan keputusan penerapannya perlu mempertimbangkan kebutuhan percepatan dan tambahan biaya yang harus ditanggung perusahaan.

6.2 Saran

1. Perusahaan sebaiknya menerapkan metode *crashing* secara selektif hanya pada aktivitas kritis yang benar-benar membutuhkan percepatan, sehingga biaya tambahan dapat ditekan seminimal mungkin.
2. Manajemen project perlu melakukan evaluasi terhadap urgensi percepatan. Jika project memiliki tenggat waktu ketat atau risiko penalti keterlambatan, maka tambahan biaya layak ditanggung. Namun, jika tidak ada tekanan waktu yang signifikan, perusahaan sebaiknya mempertahankan durasi normal untuk menghindari pembengkakan biaya.
3. Perusahaan disarankan mengembangkan sistem penjadwalan berbasis teknologi agar pengelolaan aktivitas lebih terstruktur dan risiko keterlambatan dapat diminimalkan tanpa harus selalu bergantung pada penambahan biaya.
4. Penelitian selanjutnya dapat memperluas analisis dengan memasukkan perhitungan biaya tidak langsung secara detail, sehingga gambaran efisiensi project menjadi lebih komprehensif.
5. Alternatif percepatan lain seperti *fast tracking* atau penerapan teknologi otomatisasi dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan efisiensi waktu dan biaya secara lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, A. (2025). *Manajemen Project Konstruksi Modern*. Jakarta: Penerbit Andalas.
- Bonde, S. N., dkk. (2025). *Analisis Percepatan Waktu dengan Menggunakan Metode Crashing (Studi Kasus: Pekerjaan Jembatan Owata pada Project Paket III Bendungan Bolango Ulu)*. Universitas Negeri Gorontalo.
- Burke, R. (2013). *Project Management: Planning and Control Techniques* (5th ed.). New Jersey: Wiley.
- DuPont Company & Remington Rand. (1959). *Critical Path Method Development Report*. Delaware: DuPont.
- Elmabrouk, O. M., & Aljieba, F. (2012). *Crashing Project Activities Using Linear Programming Technique*. Benghazi University, Libya.
- Gray, C. F., & Larson, E. W. (2011). *Project Management: The Managerial Process* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Gido, J., & Clements, J. P. (2015). *Successful Project Management* (6th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Heizer, J., & Render, B. (2005). *Operations Management* (8th ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Husein, M. (2008). *Manajemen Project: Perencanaan, Penjadwalan, dan Pengendalian*. Jakarta: Salemba Empat.
- Kane, H., dkk. (2008). *A Way to Deal with the Project Crashing Problem*. Université du Québec, Kanada.
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). New Jersey: Wiley.
- Levin, G., & Rad, P. F. (2002). *The Advanced Project Management Office: A Comprehensive Look at Function and Implementation*. Boca Raton: CRC Press.
- Lock, D. (2013). *Project Management* (10th ed.). Farnham: Gower Publishing.
- Meredith, J. R., & Mantel, S. J. (2014). *Project Management: A Managerial Approach* (9th ed.). New Jersey: Wiley.
- Moder, J. J., Phillips, C. R., & Davis, E. W. (1983). *Project Management with CPM, PERT, and Precedence Diagramming*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Mudatsir, dkk. (2025). *Pengendalian Project dengan Menggunakan Metode Crash Program (Studi Kasus Pembangunan Bendungan Bulango Ulu Paket 1, Item Pekerjaan Maindam)*. Universitas Negeri Gorontalo.
- Nicholas, J. M., & Steyn, H. (2017). *Project Management for Engineering, Business and Technology* (5th ed.). New York: Routledge.
- Ningrum, F. G. A., dkk. (2017). *Penerapan Metode Crashing dalam Percepatan Durasi Project dengan Alternatif Penambahan Jam Lembur dan Shift Kerja (Studi Kasus: Project Pembangunan Hotel Grand Keisha, Yogyakarta)*. Universitas Sebelas Maret.
- Noviandi. (2021). *Optimalisasi Pelaksanaan Project dengan Metode Crashing Menggunakan Software Microsoft Project (Studi Kasus: Project Ruang Isolasi Bertekanan Negatif, Karimun – Riau)*. Universitas Islam Riau.

- PMI (Project Management Institute). (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)* (6th ed.). Pennsylvania: Project Management Institute.
- Pinto, J. K. (2016). *Project Management: Achieving Competitive Advantage* (4th ed.). Boston: Pearson.
- Purnomo, B. (2025). *Efisiensi Project Konstruksi dan Manufaktur*. Surakarta: Graha Ilmu.
- Rachman, T. (2012). *Manajemen Project (Crashing Project)*. Universitas Esa Unggul Jakarta.
- Seng Hansen. (2015). *Manajemen Kontrak Konstruksi*. Jakarta: Erlangga.
- Simanungkalit, E. R., dkk. (2024). *Studi Manajemen Project Pembangunan Main Dam pada Bendungan Bulango Ulu dengan Metode Fasttrack dan Crashing*. Universitas Brawijaya.
- Suatkab, A. P. N. (2025). *Analisis Penjadwalan Crashing Project pada Project Penggantian Jembatan Wai Lapu Desa Halong Kota Ambon*. Politeknik Negeri Ambon.
- Taylor, B. W. (2008). *Introduction to Management Science* (10th ed.). New Jersey: Pearson Education.
- Turner, J. R. (2014). *Handbook of Project Management* (3rd ed.). London: Routledge.
- Universitas Esa Unggul. (2012). *Crashing Project dalam Manajemen Project*. Jakarta: Universitas Esa Unggul Press.
- Venusia, M. F., dkk. (2025). *Analysis of Project Implementation Costs Using the Crashing Method in the Construction Work of Sunan Ampel Jombang Junior High School*. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.