ANALISIS KETERLAMBATAN DAN STRATEGI PERCEPATAN PROYEK DENGAN OPTIMALISASI BIAYA MENGGUNAKAN METODE *FISHBONE DIAGRAM*, *CRITICAL PATH*, PERT, DAN *CRASHING*

(Studi Kasus: Proyek Pembangunan *Flowline* Sumur Minyak, PT. Bukaka Teknik Utama, Tbk Cabang Balikpapan)

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Nama : Rifal Agi Permana
No. Mahasiswa : 21522077

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025

SURAT BUKTI PENELITIAN

PT BUKAKA TEKNIK UTAMA Tbk
Bukaka Industrial Estate - Jl. Raya Narogong – Bekasi km 19,5
Cileungsi, Kab. Bogor 16820, Jawa Barat – Indonesia
Phone: +62 21-8232323 | Website: www.bukaka.com

SURAT KETERANGAN

No.:1056/BTU-BPN/HRD/V/2025

Dengan ini Manajemen PT Bukaka Teknik Utama Tbk. Cabang Balikpapan:

Nama	: Hana Duharlan
Jabatan	: Head of HRD Depart.
Alamat	: Jl. Mulawarman KM. 21 Kel. Manggar Balikpapan Timur

Menerangkan bahwa Mahasiswa yang namanya tercantum berikut ini:

Nama	: Rifal Agi Permana
NIM	: 21522077
Program Studi	: Teknik Industri
Universitas	: Universitas Islam Indonesia

Telah selesai melakukan penelitian dan pengambilan data di PT Bukaka Teknik Utama Tbk. Cabang Balikpapan terhitung mulai tanggal 17 Maret s.d 16 Mei 2025 untuk keperluan Tugas Akhir atau Skripsi. Kegiatan penelitian dan pengambilan data berjalan dengan baik tanpa kendala apapun.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan sepenuhnya.

Balikpapan, 19 Mei 2025
PT Bukaka Teknik Utama Tbk.
Cabang Balikpapan

Hana Duharlan
Head of HRD Depart.

Balikpapan Office & Workshop :
Jl. Mulawarman Km 21 Manggar
Balikpapan 76116, Kalimantan Timur – Indonesia
Phone : +62 - 542 - 743 312 (hunting) | Fax: +62 - 542 - 743 319

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS KETERLAMBATAN DAN STRATEGI PERCEPATAN PROYEK DENGAN OPTIMALISASI BIAYA MENGGUNAKAN METODE *FISHBONE DIAGRAM*, *CRITICAL PATH*, PERT, DAN *CRASHING*

(Studi Kasus: Proyek Pembangunan *Flowline* Sumur Minyak, PT. Bukaka Teknik Utama, Tbk Cabang Balikpapan)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Rifal Agi Permana

No. Mahasiswa : 21522077

Yogyakarta, 8 November 2025

Dosen Pembimbing

(Danang Setiawan, S.T., M.T.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
ANALISIS KETERLAMBATAN DAN STRATEGI PERCEPATAN PROYEK DENGAN OPTIMALISASI BIAYA MENGGUNAKAN METODE *FISHBONE DIAGRAM*, *CRITICAL PATH*, PERT, DAN *CRASHING*

(Studi Kasus: Proyek Pembangunan *Flowline* Sumur Minyak, PT. Bukaka Teknik Utama, Tbk Cabang Balikpapan)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Rifal Agi Permana
No. Mahasiswa : 21522077

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 26 November 2025

Tim Penguji

Danang Setiawan, S.T., M.T.	
Ketua	
Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M.	
Anggota I	
Dr. Dwi Adi Purnama, S.T.	
Anggota II	

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM
015220101

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 05 – 08 – 2025



Rifal Agi Permana

21522077

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, dengan penuh rasa syukur saya menutup perjalanan akademik saya dalam menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia, yang telah saya tempuh selama kurang lebih 4 tahun. Tugas Akhir ini menjadi bukti dari perjuangan dan dedikasi yang saya curahkan selama masa perkuliahan. Saya dengan sepenuh hati mempersembahkan pencapaian ini kepada keluarga tercinta, yang selalu menjadi pilar utama dalam hidup saya. Ayahanda Drs. H. Hana Duharlan dan ibunda Hj. Ros Satiah, serta ketiga kakak saya, Mbak Nita Pratiwi A.Md.Keb, Mas Heru Prabowo S.I.Kom., dan Mas Tri Bintang Pamungkas S.T. Dukungan moral maupun materil yang mereka berikan tanpa henti, kasih sayang serta ketulusan dalam menyemangati saya, serta nasihat berharga yang selalu mereka sampaikan, menjadi kekuatan besar dalam menyelesaikan perjalanan akademik ini.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh sahabat dan rekan seperjuangan yang telah menemani serta bekerja sama selama masa perkuliahan, saling mendukung dari awal hingga akhir. Tak lupa, penghargaan setinggi-tingginya saya sampaikan kepada seluruh dosen di Teknik Industri Universitas Islam Indonesia yang telah membagikan ilmu dan wawasan yang sangat berharga sebagai bekal di masa depan.

Secara khusus, rasa terima kasih saya haturkan kepada dosen pembimbing, Bapak Danang Setiawan S.T., M.T., atas arahan, ilmu, serta bimbingan beliau dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih yang tulus juga saya sampaikan kepada Ibu Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc. dan Ibu Annisa Uswatun Khasanah, S.T., M.Sc., yang turut memberikan dukungan, masukan berharga, serta motivasi dalam pengembangan dan penyelesaian penelitian ini. Tak lupa, saya juga menyampaikan apresiasi mendalam kepada PT. Bukaka Teknik Utama serta mentor lapangan saya, Mas Tri Bintang Pamungkas S.T., yang telah memberikan kesempatan, ruang belajar, serta fasilitas dalam mendukung penelitian saya untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.

MOTTO

"Barang siapa yang keluar rumah untuk mencari ilmu makai ia berada dijalan Allah hingga ia pulang."

(HR. Tirmidzi)

"There are no secrets to success. It is the result of preparation, hard work, and learning from failure."

(Colin Powell)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan Tugas Akhir berjudul "Analisis Keterlambatan dan Strategi Percepatan Proyek dengan Optimalisasi Biaya Menggunakan Metode *Fishbone Diagram*, *Critical Path*, PERT, dan *Crashing*" sebagai bagian dari syarat memperoleh gelar sarjana dapat diselesaikan dengan baik..

Penulis menyadari bahwa penyelesaian laporan ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. selaku Kepala Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Danang Setiawan S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta arahan, motivasi, dan ilmu yang telah beliau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc. dan Ibu Annisa Uswatun Khasanah, S.T., M.Sc. atas segala bimbingan, motivasi, dan arahan yang telah membantu penulis dalam proses penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir. Muslimin selaku *General Manager* PT. Bukaka Teknik Utama Balikpapan, atas kesediaan dan dukungannya dalam pelaksanaan penelitian.
6. Bapak Drs. Hana Duharlan selaku *HRD Manager* PT. Bukaka Teknik Utama Balikpapan, atas kesediaan dan dukungannya dalam pelaksanaan penelitan.
7. Bapak Tri Bintang Pamungkas S.T selaku mentor dan *Project Control & Planner.* PT. Bukaka Teknik Utama Balikpapan yang telah membantu dalam pengambilan data dan wawancara selama penelitian berlangsung.
8. PT. Bukaka Teknik Utama Balikpapan, dan Staf lainnya, atas bantuannya dalam pengumpulan data penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
9. Keluarga penulis yang selalu memberikan doa, motivasi, dan dukungan moril maupun materil kepada peneliti.
10. Kepada teman teman penulis yang telah memberikan doa, motivasi dan dukungan yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga kebaikan yang diberikan oleh semua pihak kepada penulis menjadi amal shaleh yang senantiasa mendapat balasan dan kebaikan yang berlipat dari Allah Subhanahu wa Ta'ala. Aamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 08 – 11 – 2025



Rifal Agi Permana
NIM 21522077

ABSTRAK

Keterlambatan dalam pelaksanaan proyek konstruksi dapat berdampak pada menurunnya reputasi perusahaan, peningkatan biaya, serta terganggunya keberlangsungan aktivitas proyek, terutama apabila terjadi pada aktivitas yang berada di jalur kritis. Penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 yang mengalami keterlambatan selama lima hari dari jadwal perencanaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penyebab keterlambatan serta menerapkan metode manajemen proyek yang tepat guna mengoptimalkan efisiensi waktu dan biaya pelaksanaan proyek. Metode *fishbone diagram* digunakan untuk mengidentifikasi penyebab keterlambatan secara menyeluruh. Selanjutnya, metode *critical path* dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) diterapkan untuk menentukan aktivitas-aktivitas yang berdampak langsung terhadap durasi proyek dan memperkirakan waktu penyelesaian secara probabilistik. Sementara itu, metode *crashing* digunakan sebagai strategi percepatan pada aktivitas pengadaan material yang berada pada jalur kritis dan memiliki nilai *cost slope* paling rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode *crashing* mampu mempercepat durasi proyek dari 140 hari menjadi 135 hari dengan tambahan biaya sebesar Rp. 10,300,000. Biaya tersebut jauh lebih rendah dibandingkan potensi penalti keterlambatan sebesar Rp. 209,055,511, sehingga menghasilkan efisiensi biaya sebesar 95,07% dari total potensi kerugian proyek. Dengan demikian, integrasi metode *fishbone diagram, critical path,* PERT, dan *crashing* terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi waktu dan biaya proyek serta dapat dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan pada proyek konstruksi serupa.

Kata Kunci: *Crashing*, *Critical Path, Fishbone Diagram*, PERT

DAFTAR ISI

SURAT BUKTI PENELITIAN ..... **ii**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **iii**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI ..... **iv**
PERNYATAAN KEASLIAN ..... **v**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
MOTTO ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
ABSTRAK ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang **1**
1.2 Rumusan Masalah **4**
1.3 Tujuan Penelitian **5**
1.4 Manfaat Penelitian **5**
1.5 Batasan Penelitian **6**
1.6 Sistematika Penulisan **6**
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **9**
2.1 Kajian Literatur **9**
2.2 Landasan Teori **15**
2.2.1 Manajemen Proyek 15
2.2.2 Penjadwalan Proyek 17
2.2.3 *Fishbone Diagram* 17
2.2.4 *Activity on Node* (AON) 18
2.2.5 Jalur Kritis (*Critical Path*) 18
2.2.6 Metode PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) 19
2.2.7 *Crashing* 20
2.2.8 *Freight Forwarder* 22
BAB III METODE PENELITIAN **23**
3.1 Objek Penelitian **23**
3.2 Metode Pengumpulan Data **23**
3.2.1 Data Primer 23
3.2.2 Data Sekunder 24
3.3 Formulasi Pengolahan Data **24**
3.4 Pengolahan Data **25**
3.4.1 Identifikasi Penyebab Keterlambatan 25
3.4.2 Penyusunan Diagram Aktivitas (*Activity on Node*) 26
3.4.3 Identifikasi Jalur Kritis (*Critical Path*) 26
3.4.4 Penerapan Metode PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) 26
3.4.5 Percepatan Proyek Melalui Metode *Crashing* 26
3.5 Diagram Alur Penelitian **27**
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA **30**
4.1 Profil Perusahaan **30**
4.2 Pengumpulan Data **30**
4.2.1 Aktivitas dan Durasi Pekerjaan 30

4.2.2 *Predecessor* 31
4.2.3 Deskripsi Kegiatan 32
4.2.4 Biaya Pelaksanaan Proyek 35
4.3 Pengolahan Data 36
4.3.1 Identifikasi Penyebab Keterlambatan 36
4.3.2 AON 38
4.3.3 Jalur Kritis 38
4.3.4 *PERT* 40
4.3.5 *Crashing* 44
4.3.6 Perbandingan Biaya 48
BAB V PEMBAHASAN 49
5.1 Analisis Penyebab Keterlambatan 49
5.2 Analisis Penjadwalan Proyek 51
5.2.1 Analisis *Activity On Node* (AON) 52
5.2.2 Identifikasi Jalur Kritis 53
5.2.3 Analisis Perhitungan PERT 54
5.3 Analisis Perhitungan *Crashing* 55
5.4 Analisis Perbandingan Biaya 57
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 59
6.1 Kesimpulan 59
6.2 Saran 60
DAFTAR PUSTAKA 61
LAMPIRAN 64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Proyek Pembangunan *Flowline* 2
Tabel 2. 1 Kajian Literatur 9
Tabel 4. 1 Aktivitas Dan Durasi Pekerjaan 31
Tabel 4. 2 *Predecessor* 32
Tabel 4. 3 Biaya Pelaksanaan Proyek 35
Tabel 4. 4 Durasi TO, TM, TP 40
Tabel 4. 5 Perhitungan nilai TE dan Varians 42
Tabel 4. 6 Perhitungan *Crashing* 45
Tabel 4. 7 Hasil *Crashing* 46
Tabel 4. 8 Perbandingan Biaya Proyek Sebelum dan Sesudah *Crashing* 48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian 27
Gambar 4. 1 *Fishbone Diagram* 37
Gambar 4. 2 AON 38
Gambar 4. 3 Jalur Kritis 40

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyek adalah serangkaian kegiatan yang bersifat sementara, di mana sumber daya tertentu digunakan secara terbatas dalam waktu yang telah ditentukan dengan tujuan menghasilkan suatu hasil atau produk yang memiliki standar kualitas yang jelas. Keberhasilan dari suatu proyek sangat ditentukan oleh tiga hal utama, yaitu biaya, waktu, dan mutu. Ketiga elemen ini saling berkaitan erat dan perlu dikelola dengan hati-hati serta cermat agar tujuan proyek bisa tercapai sesuai dengan rencana awal dan memberikan manfaat seperti yang diharapkan (Maddeppungeng et al., 2024).

Namun dalam kenyataannya, pelaksanaan proyek yang ideal sangat sulit untuk diwujudkan. Penyebab utamanya adalah berbagai kendala yang sering muncul selama proses berlangsung. Hambatan-hambatan ini memiliki konsekuensi yang tidak bisa diabaikan, karena memberikan dampak signifikan terhadap keberlangsungan setiap tahapan proyek (Ari & Rarasanti, 2023). Salah satu contoh kendala yang sering terjadi adalah keterlambatan penyelesaian proyek. Situasi ini dapat memicu serangkaian dampak serius, seperti terganggunya hubungan kerja dengan *client*, menurunnya tingkat kepercayaan terhadap perusahaan, meningkatnya biaya operasional, hingga kegagalan total yang mengancam stabilitas finansial dan reputasi perusahaan. Oleh sebab itu, dibutuhkan sistem manajemen yang terstruktur dan terintegrasi, khususnya dalam aspek penjadwalan dan pengendalian waktu guna meminimalkan potensi keterlambatan di masa mendatang.

PT Bukaka Teknik Utama, Tbk Cabang Balikpapan merupakan salah satu perusahaan swasta nasional yang bergerak di bidang jasa konstruksi, khususnya dalam sektor energi dan migas. Salah satu fokus utama dalam bidang pekerjaan konstruksinya adalah pembangunan *flowline*. *Flowline* sendiri merupakan bagian penting dalam sistem distribusi minyak dari sumur menuju ke fasilitas produksi utama (Husain dkk., 2023). Dengan demikian, keberhasilan proyek ini memiliki peran strategis dalam menjamin kelancaran produksi minyak di wilayah tersebut.

Dalam dua tahun terakhir, PT Bukaka Teknik Utama, Tbk Cabang Balikpapan telah melaksanakan enam proyek pembangunan *flowline* sumur minyak, yaitu:

Tabel 1. 1 Data Proyek Pembangunan *Flowline.*

No.	Nama Proyek	Jumlah Hari Keterlambatan	Nilai Proyek
1	Pembangunan Jalur *Flowline* Juata.	0	Rp. 1,407,624,522.
2	Pekerjaan *Underground* 1 KM *Flowline* Sumur Minyak S-02.	0	Rp. 1,418,611,100.
3	Pembangunan *Flowline* Pamusian.	4	Rp. 2,499,345,658.
4	*Install* GL B-2113 & Pengecoran Jalan untuk Jalur *Roadcrossing* B-2222.	0	Rp. 970,181,382.
5	Pembangunan *Flowline* Sumur Minyak T-01.	3	Rp. 3,550,173,243.
6	Pembangunan *Flowline* Sumur Minyak T-19.	5	Rp. 4,390,165,739.

Berdasarkan data tersebut, terdapat tiga proyek yang mengalami keterlambatan penyelesaian, yaitu proyek pembangunan *flowline* Pamusian selama empat hari, pembangunan *flowline* sumur minyak T-01 selama tiga hari, dan pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 selama lima hari. Kondisi ini menunjukkan adanya ketidakefisienan dalam pengelolaan waktu yang berpotensi memengaruhi biaya operasional, hubungan dengan klien, serta reputasi perusahaan.

Dari ketiga proyek yang mengalami keterlambatan, pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 merupakan proyek dengan nilai kontrak terbesar serta memiliki durasi keterlambatan paling lama, yaitu lima hari. Keterlambatan tersebut menyebabkan perusahaan dikenakan denda sebesar 5% dari nilai kontrak, sehingga memberikan dampak finansial paling signifikan dibandingkan dua proyek lain yang juga mengalami keterlambatan. Faktor ini menjadikan proyek T-19 sebagai kasus yang lebih relevan untuk dianalisis secara mendalam.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini difokuskan pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19. Pemilihan proyek ini didasarkan pada besarnya nilai kontrak dan tingginya durasi keterlambatan, yang berpotensi menimbulkan dampak finansial dan operasional yang lebih besar bagi perusahaan. Oleh karena itu,

proyek ini dianggap paling tepat sebagai objek penelitian untuk mengidentifikasi penyebab keterlambatan, mengevaluasi efektivitas penjadwalan, serta merumuskan strategi percepatan proyek yang lebih optimal.

Permasalahan utama dalam proyek pembangunan *flowline* ini adalah terjadinya keterlambatan penyelesaian dari waktu yang telah ditetapkan dalam rencana awal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa terdapat faktor penyebab mendasar yang belum diidentifikasi secara menyeluruh selama proses pelaksanaan proyek. Untuk menelusuri akar permasalahan tersebut secara sistematis, diperlukan pendekatan analisis sebab-akibat yang komprehensif. *Fishbone diagram* atau disebut juga diagram ishikawa adalah metode yang digunakan dalam manajemen proyek untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai faktor penyebab masalah. Diagram ini membantu memetakan potensi sumber hambatan proyek secara sistematis sehingga memudahkan pencarian solusi yang tepat (Ardiansyah et al., 2024). Melalui pendekatan ini, penyebab utama dari keterlambatan dapat dipahami secara mendalam sehingga menjadi dasar yang kuat untuk perbaikan pada tahap selanjutnya.

Setelah akar penyebab keterlambatan diidentifikasi melalui *fishbone diagram*, langkah selanjutnya adalah menganalisis struktur penjadwalan proyek secara lebih rinci. Penjadwalan yang tidak optimal sering menjadi pemicu terjadinya keterlambatan. Dalam hal ini, metode *critical path* dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) dapat digunakan untuk menganalisis rangkaian aktivitas proyek, menentukan lintasan kritis, serta memperkirakan durasi pelaksanaan proyek secara realistis. *Critical path* berfungsi untuk mengetahui jalur aktivitas yang tidak memiliki kelonggaran waktu dan berdampak langsung terhadap waktu penyelesaian proyek. Sedangkan PERT memungkinkan penghitungan durasi proyek secara probabilistik dengan mempertimbangkan tiga waktu estimasi, yaitu optimis, pesimis, dan realistis (Maddeppungeng et al., 2024). Melalui penerapan kedua metode tersebut, efektivitas jadwal proyek dapat dianalisis secara lebih tepat, sekaligus memungkinkan identifikasi peluang percepatan yang dapat direncanakan secara terukur, realistis, dan sesuai dengan tujuan proyek.

Setelah dilakukan analisis menggunakan metode *critical path* dan PERT untuk mengetahui jalur kritis serta estimasi waktu penyelesaian proyek, langkah selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari alternatif percepatan proyek secara optimal. Hal ini penting dilakukan karena meskipun jalur kritis telah diketahui, proyek tetap dapat

mengalami keterlambatan apabila tidak ada langkah efektif untuk mempercepat pelaksanaannya. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah metode *crashing*. *Crashing* memungkinkan perusahaan untuk melakukan percepatan pada aktivitas-aktivitas yang berada di jalur kritis dengan mempertimbangkan penambahan sumber daya seperti tenaga kerja, jam kerja lembur, atau penggunaan alat dan material yang lebih efisien (Athira et al., 2021). Melalui pendekatan ini, percepatan proyek dilakukan dengan mempertimbangkan keseimbangan antara waktu percepatan dan tambahan biaya yang dikeluarkan. Dengan demikian, metode *crashing* memberikan solusi untuk mencapai durasi proyek yang optimal dengan dampak biaya yang masih dapat diterima oleh perusahaan.

Dengan menggabungkan pendekatan-pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang komprehensif dalam mengatasi permasalahan keterlambatan proyek, menyusun strategi percepatan yang terukur, serta mengoptimalkan biaya pelaksanaan proyek. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi strategis bagi PT Bukaka Teknik Utama, Tbk Cabang Balikpapan dalam pengelolaan proyek-proyek serupa di masa mendatang guna menjaga reputasi perusahaan serta meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan proyek secara berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Keberhasilan suatu proyek sangat ditentukan oleh pengelolaan biaya, waktu, dan mutu secara terpadu agar tujuan proyek tercapai sesuai rencana. Namun, dalam implementasinnya, sering terjadi deviasi dari rencana awal, khususnya pada aspek penjadwalan. Hal ini terjadi pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 yang mengalami keterlambatan penyelesaian. Keterlambatan tersebut berdampak pada reputasi perusahaan, menurunkan tingkat kepercayaan *client*, dan dikenakannya penalti sesuai ketentuan kontrak. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya analisis secara menyeluruh terhadap penyebab keterlambatan dan strategi percepatan proyek dengan tetap mempertimbangkan efisiensi biaya. Untuk mengatasi permasalahan ini, metode yang digunakan adalah *fishbone diagram* untuk menganalisis akar penyebab masalah, dilanjutkan dengan *critical path* dan PERT untuk menganalisis penjadwalan. Sebagai solusi, metode *crashing* diterapkan untuk mengoptimalkan durasi proyek dengan penambahan biaya yang minimal. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini merumuskan pertanyaan-pertanyaan untuk mencari solusi yang tepat.

1. Apa saja faktor-faktor penyebab keterlambatan pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19?
2. Bagaimana penerapan metode *critical path* dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) dapat digunakan untuk menganalisis penjadwalan proyek serta mengidentifikasi jalur aktivitas yang berisiko terhadap keterlambatan?
3. Bagaimana metode *crashing* dapat diterapkan sebagai solusi percepatan waktu proyek yang optimal dengan mempertimbangkan efisiensi biaya?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan penelitian yang menjawab rumusan masalah:

1. Mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor penyebab keterlambatan pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19.
2. Menganalisis penjadwalan proyek serta menentukan lintasan kritis yang berdampak langsung terhadap keterlambatan proyek menggunakan metode *critical path* dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT).
3. Menerapkan metode *crashing* sebagai solusi untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek secara optimal dengan tetap mempertimbangkan efisiensi biaya.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat penelitian yang dapat bermanfaat bagi perguruan tinggi, perusahaan dan peneliti:

1. Bagi Perguruan Tinggi
   a. Menjadi jembatan dalam menyelaraskan materi kuliah dengan kebutuhan nyata di lapangan industri.
   b. Membangun kolaborasi strategis antara institusi pendidikan dan industri untuk meningkatkan kualitas akademik dan riset.
   c. Menciptakan profil lulusan yang kompeten dan adaptif, serta memiliki keterampilan praktis yang relevan dengan kebutuhan industri.
2. Bagi Perusahaan:
   a. Menyediakan pandangan strategis mengenai cara percepatan proyek yang efektif, menjaga mutu dan efisiensi biaya.
   b. Memberikan opsi baru dalam menyusun jadwal kerja yang fleksibel dan efisien.

c. Membuka ruang masukan analitis dari peneliti muda yang dapat menjadi acuan dalam pengambilan keputusan masa depan.

3. Bagi Mahasiswa
   a. Menjadi ajang pembuktian dalam menerapkan teori yang selama ini dipelajari di kelas ke dalam skenario nyata di lapangan.
   b. Memberi kesempatan untuk mengasah kemampuan analitis dan pemahaman mendalam tentang proyek industri sesungguhnya.
   c. Memperluas wawasan tentang alur kerja, hambatan, dan cara berpikir sistematis untuk mengatasi tantangan teknis.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan yang ada di penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 yang dikerjakan oleh PT Bukaka Teknik Utama, Tbk Cabang Balikpapan, dan tidak mencakup proyek lain di luar lingkup tersebut.
2. Faktor penyebab keterlambatan yang dianalisis dibatasi pada aspek-aspek yang dapat diidentifikasi melalui pendekatan *fishbone diagram*, seperti faktor *man*, *machine*, *method*, *material*, *measurement*, dan *environment*.
3. Analisis penjadwalan proyek menggunakan metode *critical path* dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) untuk mengidentifikasi jalur kritis dan memperkirakan durasi penyelesaian proyek secara lebih tepat.
4. Alternatif percepatan proyek (*crashing*) hanya diterapkan pada aktivitas-aktivitas yang berada di jalur kritis, dengan asumsi bahwa percepatan dilakukan melalui penambahan sumber daya yang realistis, tanpa mengubah lingkup pekerjaan proyek.
5. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data aktual dari proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19, serta data pendukung dari perusahaan yang relevan selama proses analisis.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut merupakan sistematika penulisan yang terdapat pada penelitian ini, antara lain:

BAB I	**PENDAHULUAN** Bab ini memuat uraian mengenai latar belakang yang mendasari pelaksanaan penelitian, gambaran umum

objek kajian, serta permasalahan yang akan diteliti. Selain itu, disajikan rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat bagi pihak terkait, dan batasan pembahasan untuk memperjelas ruang lingkup penelitian. Pada bagian akhir bab ini dijelaskan sistematika penulisan yang menjadi kerangka penyusunan tugas akhir.

BAB II **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi kajian teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Landasan teoritis ini berfungsi sebagai dasar dalam melakukan analisis dan pembahasan. Referensi yang digunakan dipilih secara selektif untuk memastikan keterkaitan langsung dengan permasalahan yang dikaji.

BAB III **METODE PENELITIAN**

Bab ini menguraikan pendekatan penelitian yang digunakan, meliputi penentuan objek penelitian, jenis dan sumber data, serta teknik pengumpulan data yang meliputi wawancara, observasi, dan studi literatur. Tahapan penelitian disusun secara runtut mulai dari identifikasi masalah, pengolahan data, hingga penarikan kesimpulan.

BAB IV **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini memaparkan hasil pengumpulan data yang diperoleh selama proses penelitian berlangsung. Data yang diperoleh mencakup durasi setiap aktivitas pekerjaan, urutan ketergantungan pekerjaan (*predecessor*), biaya pelaksanaan proyek, serta faktor-faktor yang menyebabkan keterlambatan. Seluruh data dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara dengan pihak terkait, dan analisis dokumen proyek. Setelah data terkumpul,

dilakukan proses pengolahan menggunakan metode yang telah ditetapkan dalam penelitian, sehingga menghasilkan informasi yang akurat, terukur, dan dapat dijadikan dasar analisis pada bab pembahasan.

BAB V **PEMBAHASAN**

Bab ini merupakan bagian utama yang menyajikan hasil analisis atas data yang telah diolah. Pembahasan difokuskan untuk menjawab rumusan masalah penelitian serta mengaitkannya dengan landasan teori pada Bab II, sehingga dihasilkan pemahaman yang utuh dan mendalam terhadap permasalahan yang diteliti.

BAB VI **PENUTUP**

Bab ini memuat kesimpulan yang disusun berdasarkan hasil analisis dan pembahasan. Kesimpulan ini merupakan jawaban atas rumusan masalah yang telah ditetapkan pada bab pendahuluan. Selain itu, bab ini juga memuat saran yang didasarkan pada temuan penelitian sebagai rekomendasi yang dapat diterapkan di dunia industri maupun dijadikan acuan bagi penelitian selanjutnya, dengan mempertimbangkan berbagai tantangan dan peluang yang ada.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Dalam sebuah penelitian, diperlukan bahan pertimbangan dan referensi untuk mendukung prosesnya sekaligus mencegah terjadinya duplikasi dari penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini akan dipaparkan sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Kajian Literatur.

Penulis	Objek Penelitian	Metode Yang Digunakan	Keterbatasan Penelitian Terdahulu	Pembaruan Penelitian Ini
(Tamalika et al., 2022)	Proyek Pembangunan Rumah Sakit.	*Fishbone Diagram*, *Critical Path*, PERT.	*Fishbone diagram* digunakan hanya untuk identifikasi penyebab keterlambatan, belum dikaitkan dengan strategi percepatan.	Penelitian ini menghubungkan hasil *fishbone diagram* dengan kebutuhan penambahan sumber daya *crashing.*
(Ardiansyah et al., 2024)	Proyek Kontruksi Sistem Perpipaan.	*Fishbone Diagram*, PERT.	Belum mengidentifikasi jalur kritis maupun menganalisis kebutuhan percepatan proyek. Analisis belum mencakup evaluasi waktu dan biaya secara terintegrasi.	Integrasi *fishbone diagram*, *critical path,* PERT, dan *crashing* untuk analisis jalur kritis, estimasi probabilistik, serta percepatan berbasis kebutuhan sumber daya.
(Sugiarta, 2022)	Penjadwalan Proyek *Remote* Terminal *Unit.*	*Fishbone Diagram, Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Belum diterapkan pada proyek *flowline,* karakteristiknya berbeda.	Integrasi empat metode diterapkan pada konteks *flowline* migas yang lebih kompleks.
(Hadicara et al., 2023)	Proyek Pembangunan Jalan.	*Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Tidak menghubungkan penyebab	Penelitian ini menghubungkan penyebab keterlambatan

Penulis	Objek Penelitian	Metode Yang Digunakan	Keterbatasan Penelitian Terdahulu	Pembaruan Penelitian Ini
			keterlambatan dengan percepatan.	dengan penambahan sumber daya pada *crashing*.
(Clara Aprillia & Qurrota, 2023)	Proyek Pembangunan Rumah Tinggal.	*Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Objek sederhana & repetitif, tidak menyinggung penyebab keterlambatan secara sistematis.	Penelitian ini menggunakan objek proyek *non*-repetitif dengan akar penyebab yang kompleks.
(Iluk et al., 2020)	Proyek Pembangunan Gedung Parkir di Kediri.	*Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Tidak menjelaskan keterkaitan penyebab teknis dengan strategi percepatan.	Penelitian ini menggunakan *fishbone diagram* untuk menjustifikasi kebutuhan sumber daya *crashing*.
(Husna et al., 2022)	Proyek Pembangunan Musala Al-Ikhlas.	*Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Tidak menjelaskan dengan rinci terkait strategi percepatan.	Penelitian ini menjadikan *fishbone diagram* sebagai acuan perumusan strategi *crashing* pada aktivitas kritis.
(Putri et al., 2024)	Proyek Pembangunan Gedung Parkir di Bali.	*Critical Path, Crashing.*	Tidak melakukan identifikasi akar penyebab, percepatan dilakukan tanpa dasar penyebab operasional.	Menambahkan *Fishbone Diagram* untuk mengidentifikasi penyebab keterlambatan sebagai dasar penentuan kebutuhan sumber daya *crashing*.
(Abuhasel, 2023)	*Sustainable Green City Development Project.*	*Critical Path, Crashing.*	Tidak mengintegrasikan analisis penyebab, konteks berbeda dari proyek perpipaan.	Menggabungkan *fishbone diagram*, *critical path*, PERT, dan *crashing* pada proyek *flowline*

Penulis	Objek Penelitian	Metode Yang Digunakan	Keterbatasan Penelitian Terdahulu	Pembaruan Penelitian Ini
				sehingga menghasilkan pendekatan percepatan lebih terarah.
(Maddeppungeng et al., 2024)	Proyek Pembangunan Apartemen.	*Critical Path, Crashing.*	Percepatan hanya berbasis skenario penambahan tenaga dan jam kerja tanpa analisis penyebab keterlambatan.	Menentukan tambahan sumber daya *crashing* berdasarkan faktor penyebab pada 6 kategori *fishbone diagram*.
(Aulia & Cipta, 2023)	Proyek Perbaikan Kapal.	*Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Tidak menggunakan *fishbone diagram,* aktivitas percepatan tidak dikaitkan dengan akar masalah.	Penelitian ini menyertakan analisis *fishbone diagram* sebagai dasar penentuan strategi *crashing.*
(Farida & Anenda, 2022)	Proyek Pembangunan Jalan	*Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Pemilihan aktivitas *crashing* belum mempertimbangkan akar penyebab teknis.	*Fishbone diagram* digunakan untuk menilai penyebab keterlambatan sehingga strategi percepatan lebih tepat sasaran.
(Ari & Rarasanti, 2023)	Proyek Pembangunan *Shop Building.*	*Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Belum ada keterkaitan antara faktor penyebab dengan kebutuhan percepatan.	*Crashing* ditentukan berdasarkan faktor-faktor *fishbone diagram* sehingga sesuai dengan kebutuhan sumber daya.

Penulis	Objek Penelitian	Metode Yang Digunakan	Keterbatasan Penelitian Terdahulu	Pembaruan Penelitian Ini
(Athira et al., 2021)	Proyek Renovasi Musala Nurul Hayat.	*Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Skala proyek kecil, belum diuji pada proyek kompleks seperti *flowline*.	Penelitian ini menerapkan metode integratif pada proyek dengan kompleksitas lebih tinggi.
(Kuswanto & Tahira Shalshabila, 2025)	Proyek Pembagunan Infrastruktur SMK Negeri 1 Garut.	*Critical Path,* PERT*, Crashing.*	Tidak menggunakan analisis pen yebab keterlambatan.	Penelitian ini menjelaskan keterkaitan *crashing* dengan *fishbone diagram* sebagai dasar penambahan sumber daya pada percepatan aktivitas kritis.

Metode *fishbone diagram* digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab keterlambatan atau permasalahan dalam proyek konstruksi. Penelitian oleh Tamalika et al., (2022) menunjukkan bahwa metode *fishbone* mampu memetakan berbagai faktor penyebab keterlambatan pada proyek pembangunan *Power House* pada rumah sakit di Palembang, di antaranya adalah kendala tenaga kerja, metode kerja yang kurang tepat, serta keterbatasan peralatan. Ardiansyah et al., (2024) juga memanfaatkan metode ini dalam proyek sistem perpipaan *Pastillator Plant* untuk mengidentifikasi sumber masalah yang berpengaruh terhadap keterlambatan, sebelum kemudian dilakukan optimasi jadwal menggunakan metode PERT. Sementara itu, Sugiarta, (2022) menerapkan pendekatan *Fishbone* secara terpadu dengan CPM, PERT, dan *Crashing* dalam proyek *Remote Terminal Unit*, dan hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa identifikasi akar masalah sejak awal proyek menjadi fondasi penting dalam merancang strategi percepatan sekaligus efisiensi biaya.

Metode *Critical Path Method* (CPM) merupakan pendekatan yang digunakan secara luas dalam penjadwalan proyek, dengan tujuan utama untuk menentukan jalur kritis dan meminimalkan durasi penyelesaian proyek. Hadicara et al., (2023) menerapkan metode CPM dan PERT pada proyek pembangunan jalan dan berhasil mengidentifikasi jalur aktivitas utama yang paling berpengaruh terhadap penyelesaian proyek. Studi serupa

dilakukan oleh Clara Aprillia & Qurrota, (2023) dalam proyek pembangunan rumah tinggal, yang menunjukkan bahwa penerapan CPM efektif dalam pengendalian waktu pelaksanaan. Selain itu, penelitian oleh Iluk et al., (2020) serta Husna et al., (2022) dalam proyek pembangunan gedung dan musala juga memperkuat temuan tersebut, di mana metode CPM dipadukan dengan simulasi *crashing* untuk mempercepat penyelesaian pekerjaan. Putri et al., (2024) dan Abuhasel, (2023) bahkan menunjukkan bahwa integrasi CPM dan *crashing* terbukti mampu mempercepat pelaksanaan proyek gedung parkir dan pengembangan kota hijau secara efisien. Dalam konteks pembangunan infrastruktur pendidikan, Kuswanto & Tahira Shalshabila, (2025) menekankan pentingnya perencanaan awal berbasis CPM sebagai dasar pengambilan keputusan yang strategis dalam proyek.

Metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) merupakan teknik penjadwalan yang dirancang untuk menghadapi kondisi ketidakpastian waktu pelaksanaan proyek, dengan memperhitungkan tiga estimasi waktu, yaitu waktu optimis, pesimis, dan waktu paling mungkin terjadi. Beberapa penelitian seperti yang dilakukan oleh Tamalika et al., (2022), Hadicara et al., (2023), Clara Aprillia & Qurrota, (2023), serta Husna et al., (2022), menunjukkan bahwa integrasi PERT dengan CPM memberikan hasil estimasi durasi proyek yang lebih realistis dalam kondisi yang penuh ketidakpastian. Penelitian oleh Farida & Anenda, (2022) yang diterapkan pada proyek konstruksi jalan juga mendukung temuan tersebut, di mana metode ini mampu memproyeksikan penyelesaian proyek dengan lebih akurat. Demikian pula, Aulia & Cipta, (2023) menegaskan bahwa PERT efektif dalam menentukan probabilitas penyelesaian proyek secara tepat waktu. Dalam studi lainnya, Athira et al., (2021) menggunakan kombinasi CPM dan PERT dengan dukungan perangkat lunak *MS Project* dalam proyek renovasi masjid, yang memperlihatkan keunggulan PERT dalam perencanaan proyek yang kompleks.

Metode *Crashing* merupakan teknik percepatan proyek yang dilakukan dengan menambahkan sumber daya pada aktivitas-aktivitas tertentu yang berada di jalur kritis, guna mengurangi durasi pelaksanaan proyek meskipun dengan konsekuensi peningkatan biaya. Penelitian yang dilakukan oleh Sugiarta, (2022), Clara Aprillia & Qurrota, (2023), Iluk et al., (2020), serta Husna et al., (2022) menyatakan bahwa metode *crashing* terbukti efektif dalam mempercepat waktu penyelesaian proyek tanpa melebihi batas biaya secara signifikan, selama aktivitas yang dipercepat dipilih secara tepat. Studi oleh

Maddeppungeng et al., (2024) dan Abuhasel, (2023) menunjukkan implementasi metode ini dalam proyek berskala besar seperti apartemen dan pengembangan kota hijau, dengan hasil yang menunjukkan efisiensi waktu yang signifikan. Selain itu, penelitian oleh Ari & Rarasanti, (2023), serta Athira et al., (2021), juga mengonfirmasi bahwa metode *crashing* mampu secara drastis menurunkan durasi proyek jika dikombinasikan dengan strategi alokasi sumber daya yang tepat dan efisien.

Dalam perencanaan dan pengendalian waktu proyek, terdapat berbagai metode penjadwalan yang dapat digunakan sesuai dengan karakteristik dan tingkat kompleksitas kegiatan proyek. Oleh karena itu, penting untuk menjelaskan beberapa metode penjadwalan sebagai bagian dari kajian literatur, agar pembahasan menjadi lebih menyeluruh dan memberikan pemahaman yang lebih luas mengenai pilihan metode yang dapat diterapkan dalam manajemen waktu proyek. Penelitian yang dilakukan oleh Astawa et al., (2020) menjelaskan *gantt chart* merupakan metode penjadwalan yang sering digunakan dalam pelaksanaan proyek karena bentuk penyajiannya yang sederhana dan mudah dipahami. Namun, metode ini memiliki kelemahan signifikan, yaitu tidak mampu menunjukkan secara jelas hubungan ketergantungan antar aktivitas. Akibatnya, sulit untuk menganalisis dampak keterlambatan suatu pekerjaan terhadap keseluruhan jadwal proyek. Selain itu, apabila diperlukan penyesuaian atau perbaikan, biasanya harus dilakukan dengan menyusun ulang bagan balok dari awal, sehingga kurang fleksibel dalam perencanaan proyek yang kompleks.

Penelitian yang dilakukan oleh Sinaga et al., (2021) membahas penerapan metode *Line of Balance* (LoB) pada proyek pembangunan Gedung Kementerian Keuangan di Bandar Lampung. Metode ini digunakan karena proyek tersebut memiliki pekerjaan yang bersifat repetitif dan berurutan, seperti pembangunan struktur lantai yang sama pada tiap tingkat gedung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LoB mampu mempercepat durasi proyek dan meningkatkan efisiensi pelaksanaan. Namun, metode ini tidak sesuai jika diterapkan pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak. Proyek *flowline* bersifat *non* repetitif, kompleks, dan terdiri dari aktivitas yang sangat tergantung satu sama lain. Selain itu, proyek ini tidak memiliki pola pekerjaan yang berulang dengan urutan yang teratur seperti pada proyek pembangunan gedung atau perumahan. Oleh karena itu, metode LoB kurang tepat digunakan, dan lebih sesuai jika digunakan metode *critical path* dan PERT yang mampu menangani ketergantungan aktivitas dan ketidakpastian waktu dalam proyek konstruksi migas.

Berdasarkan hasil kajian literatur, dapat disimpulkan bahwa metode *fishbone diagram*, *critical path*, *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), dan *crashing* merupakan kombinasi pendekatan yang saling melengkapi dalam menyelesaikan permasalahan keterlambatan proyek. *Fishbone Diagram* digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab keterlambatan secara sistematis melalui klasifikasi faktor-faktor yang memengaruhi proyek. Selanjutnya, metode *critical path* dan PERT diterapkan untuk menyusun struktur jaringan aktivitas, menentukan jalur kritis, serta memperkirakan durasi proyek secara lebih akurat dalam kondisi ketidakpastian. Metode *crashing* kemudian digunakan untuk mempercepat aktivitas kritis melalui penambahan sumber daya dengan tambahan biaya seminimal mungkin, sehingga diperoleh alternatif percepatan proyek yang efisien dari segi waktu maupun biaya tanpa mengorbankan mutu pelaksanaan proyek.

Sementara itu, metode penjadwalan lainnya seperti *Gantt Chart* dan *Line of Balance* (LoB) tidak digunakan dalam penelitian ini karena keterbatasannya dalam menangani kompleksitas proyek konstruksi migas. *Gantt Chart* memang mudah digunakan dan dipahami, namun tidak dapat menampilkan ketergantungan antar aktivitas secara rinci, sehingga kurang efektif untuk menganalisis dampak keterlambatan terhadap keseluruhan proyek. Adapun metode LoB lebih cocok digunakan untuk proyek yang bersifat repetitif dan memiliki urutan kerja yang seragam, seperti pembangunan gedung atau perumahan. Proyek pembangunan *flowline* sumur minyak tidak memiliki pola pekerjaan berulang dan terdiri atas aktivitas yang saling bergantung serta bersifat dinamis. Oleh karena itu, metode *critical path* dan PERT menjadi pilihan yang paling relevan untuk diterapkan dalam penelitian ini, karena mampu menangani ketergantungan aktivitas dan ketidakpastian waktu dalam proyek yang kompleks.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Manajemen Proyek

Manajemen merupakan ilmu yang mempelajari bagaimana cara memimpin dan mengatur organisasi dengan baik. Proses ini meliputi kegiatan perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, serta pengendalian terhadap sumber daya yang terbatas, agar tujuan dan target yang telah ditentukan bisa tercapai secara efisien dan efektif. Oleh karena itu, penggunaan manajemen proyek menjadi langkah penting untuk mendukung keberhasilan pelaksanaan kegiatan dalam organisasi. Proyek merupakan rangkaian aktivitas yang

dirancang dan dijalankan dalam jangka waktu tertentu dengan pemanfaatan sumber daya yang terbatas, guna menghasilkan *output* atau hasil akhir yang telah ditetapkan sebelumnya. Dalam proses pencapaian tujuan tersebut, pelaksanaan proyek harus tetap berada dalam batasan anggaran, jadwal pelaksanaan, serta standar mutu yang telah ditentukan, yang secara umum dikenal sebagai tiga kendala utama (*triple constraint*) (Rodhi & Sari, 2024).

Menurut Ganesstri Padma & Nia Budi, (2017) Manajemen proyek merupakan rangkaian proses yang mencakup perencanaan, pengorganisasian, pengarahan, dan pengawasan terhadap aktivitas para anggota organisasi beserta seluruh sumber daya yang terlibat, agar seluruh tujuan yang telah ditetapkan oleh organisasi dapat tercapai secara terstruktur dan terarah. Beberapa peran penting dalam manajemen proyek dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Fungsi Perencanaan (*Planning*)

   Peran ini berfokus pada proses pengambilan keputusan berdasarkan data dan informasi terpilih untuk menetapkan langkah-langkah yang akan dijalankan di masa mendatang. Aktivitasnya meliputi penyusunan strategi jangka pendek maupun jangka panjang, serta rancangan kegiatan lainnya.
2. Fungsi Pengorganisasian (*Organizing*)

   Fungsi ini bertujuan untuk menyatukan berbagai aktivitas individu dalam organisasi yang memiliki tugas masing-masing namun saling terhubung, sekaligus berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya demi tercapainya target organisasi. Salah satu bentuknya adalah menyusun ruang lingkup kegiatan lainnya secara sistematis.
3. Fungsi Pelaksanaan (*Actuating*)

   Tugas utama dari fungsi ini adalah menciptakan keselarasan di antara seluruh elemen organisasi dalam menjalankan proyek atau kegiatan, yang mencakup pemberian arahan kerja, pembagian tugas, serta pemberian motivasi kepada anggota tim.
4. Fungsi Pengendalian (*Controlling*)

   Fungsi ini difokuskan pada upaya untuk menilai kualitas pelaksanaan kerja, menganalisis pencapaian yang telah dilakukan, serta mengevaluasi seluruh proses kegiatan. Tindakan yang diambil dapat berupa pemberian rekomendasi perbaikan maupun langkah-langkah penanganan lainnya.

2.2.2 Penjadwalan Proyek

Manajemen waktu merupakan bagian penting yang tidak dapat dipisahkan dari aktivitas proyek, sebagai fondasi dalam menjaga agar seluruh pekerjaan tetap berjalan terarah. Dalam proses perencanaan, pengelolaan waktu membantu tim proyek menyusun jadwal kerja secara sistematis agar seluruh tahapan kegiatan dapat dilakukan secara terukur. Penjadwalan proyek berperan sebagai panduan utama yang menetapkan waktu pelaksanaan setiap aktivitas, sekaligus menjadi alat pengendali agar pekerjaan tidak melebihi batas waktu dan biaya. Selain itu, penjadwalan juga membantu tim dalam merancang anggaran biaya secara lebih efisien untuk mencegah pemborosan. Dengan begitu, jadwal proyek akan memuat informasi penting tentang kapan sebuah pekerjaan dimulai, tertunda, atau diselesaikan, serta mampu menunjukkan kemajuan dari segi penggunaan sumber daya seperti biaya, tenaga kerja, alat, hingga bahan. Secara keseluruhan, penjadwalan yang terstruktur dapat mendukung kelancaran proyek dan menjamin penyelesaiannya sesuai waktu dan sasaran yang telah ditentukan. Keseluruhan proses ini membantu memastikan bahwa proyek dapat diselesaikan secara efisien dan tepat waktu (Muhammad et al., 2021).

2.2.3 *Fishbone Diagram*

Diagram Fishbone, yang juga sering disebut sebagai Diagram Ishikawa, adalah alat bantu visual yang sangat bermanfaat untuk menggali berbagai penyebab utama dari suatu permasalahan, serta dapat dimanfaatkan dalam proses perencanaan dan pengembangan ide dalam suatu proyek. Diagram ini bersifat adaptif, artinya struktur kategorinya seperti 5M + 1E, yakni; *man (*manusia*)*, *machine* (mesin atau peralatan), *method* (metode atau prosedur kerja*)*, *material* (bahan baku atau material pendukung), *measurement* (sistem pengukuran), dan *environment* (lingkungan kerja) bisa diubah atau disesuaikan agar selaras dengan konteks analisis yang sedang dijalankan. Dengan kemampuan penyesuaian tersebut, diagram ini dapat diterapkan secara luas di berbagai sektor, seperti pelayanan publik, dunia pendidikan, industri maupun teknologi. Pemahaman yang baik dalam mengoperasikan dan memodifikasi *fishbone diagram* memungkinkan individu maupun organisasi memperoleh hasil analisis yang lebih mendalam, serta mampu merumuskan solusi yang lebih spesifik dan efektif guna mendukung tercapainya sasaran proyek maupun tujuan strategis secara menyeluruh (Sulianta, 2024).

2.2.4 *Activity on Node* (AON)

Metode AON berperan sebagai alat strategis dalam menyusun rencana dan mengarahkan kendali terhadap jalannya sebuah proyek konstruksi, terutama dalam memetakan alur aktivitas secara sistematis dan berurutan (Sofia et al., 2021). *Activity On Node* (AON) merupakan salah satu pendekatan dalam perencanaan jaringan kerja (*network planning*). Dalam implementasinya, AON memperlihatkan tingkat efesiensi kerja dan potensi percepatan dalam bentuk jaringan aktivitas yang terstruktur, sehingga sangat bermanfaat dalam memantau serta mengontrol perkembangan proyek. Melalui metode AON, yang berbasis pada sistem jaringan kerja, dapat diidentifikasi lintasan kritis yaitu jalur yang terdiri dari rangkaian aktivitas yang memakan durasi paling panjang namun menentukan kecepatan total penyelesaian proyek. Dari sini, hubungan antar aktivitas proyek dapat terlihat jelas, termasuk keterkaitan fungsional antar tugas yang satu dengan lainnya (Risman & Alfa, 2019).

Penerapan metode AON dengan memanfaatkan pola jaringan kerja memungkinkan identifikasi terhadap lintasan kritis, yang mengandung urutan aktivitas dengan total durasi paling lama namun sekaligus menentukan waktu paling singkat untuk menyelesaikan keseluruhan proyek. Hal ini memudahkan analisis keterikatan dan hubungan antar elemen kerja dalam suatu proyek secara menyeluruh (Milasari et al., 2021).

2.2.5 Jalur Kritis (*Critical Path*)

Jalur Kritis adalah urutan pekerjaan yang memiliki peran utama dalam menentukan cepat atau lambatnya penyelesaian suatu proyek dari titik awal hingga tahap akhir. Jika pengelolaan waktu pada aktivitas-aktivitas dalam lintasan ini tidak dilakukan dengan cermat, maka potensi keterlambatan akan sangat besar. Sebab, setiap penundaan pada aktivitas yang berada di jalur ini langsung berdampak pada mundurnya waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, dibutuhkan pengawasan dan pengendalian yang berkelanjutan terhadap setiap pekerjaan yang termasuk dalam lintasan kritis agar proyek dapat diselesaikan tepat waktu (Alan Muin, 2022).

Untuk memperkirakan berapa lama waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan sebuah proyek, terdapat beberapa istilah teknis yang umum digunakan sebagai pedoman atau acuan utama sebagai berikut (Lestari et al., 2022):

1. E (*Earlist Event Occurence Time*): Menunjukkan titik waktu paling dini sebuah kejadian dapat terjadi dalam alur kegiatan proyek.

2. L (*Latest Event Occurence Time*): Menandakan batas waktu paling akhir yang masih dapat ditoleransi untuk sebuah peristiwa tanpa menyebabkan keterlambatan keseluruhan.
3. ES (*Earlist Activity Start Time*): Merujuk pada momen paling cepat dimulainya suatu aktivitas dalam jaringan kerja proyek.
4. EF (*Earlist Activity Finish Time*): Menggambarkan waktu paling cepat sebuah kegiatan dapat diselesaikan.
5. LS (*Latest Activity Start Time*): Batas terakhir sebuah pekerjaan dapat dimulai tanpa mengganggu jalannya proyek secara menyeluruh.
6. LF (*Latest Activity Finish Time*): Waktu maksimum suatu aktivitas boleh selesai tanpa menyebabkan pengunduran jadwal proyek.
7. T (*Activity Duration Time*): Rentang waktu yang dibutuhkan untuk menuntaskan suatu aktivitas, biasanya dinyatakan dalam hari, pekan, atau bulan tergantung skala proyek.

2.2.6 Metode PERT (*Program Evaluation and Review Technique*)

Menurut Iluk et al., (2020) *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) merupakan metode penjadwalan yang digunakan untuk menghitung estimasi waktu penyelesaian proyek ketika setiap aktivitas memiliki ketidakpastian dan tidak saling tergantung secara langsung. Dalam pendekatan ini, kita menentukan waktu penyelesaian proyek dengan memperkirakan tiga skenario waktu untuk tiap kegiatan, yaitu waktu paling cepat, paling lambat, dan paling mungkin terjadi. Hal ini dilakukan karena adanya variabilitas dalam setiap aktivitas yang dapat memengaruhi lama penyelesaiannya.

Dalam sistem jaringan PERT, terdapat tiga jenis estimasi waktu, yaitu:

1. Waktu optimis (TO): Durasi tercepat yang mungkin terjadi jika seluruh proses berjalan sesuai rencana, tanpa hambatan atau gangguan.
2. Waktu pesimis (TP): Estimasi waktu terpanjang yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan, yang biasanya terjadi apabila muncul kendala besar atau kondisi tak terduga seperti kecelakaan atau kegagalan sistem.
3. Waktu paling mungkin (TM): Durasi yang diperkirakan terjadi dalam kondisi normal, atau waktu yang paling realistis dan wajar untuk menyelesaikan aktivitas berdasarkan pengalaman dan data historis.

PERT atau *Program Evaluation and Review Technique* merupakan suatu pendekatan ilmiah dalam disiplin Manajemen *Sains* yang dirancang untuk mendukung perencanaan

serta pemantauan proyek secara menyeluruh. Pendekatan ini digunakan sebagai strategi sistematis yang bertujuan untuk meminimalkan kemungkinan hambatan seperti keterlambatan pelaksanaan maupun gangguan dalam proses produksi. Selain itu, metode PERT juga berfungsi sebagai alat koordinasi lintas sektor dalam sebuah proyek guna menciptakan alur kerja yang lebih efisien dan terarah demi mempercepat pencapaian target penyelesaian proyek secara optimal (Sugiarta, 2022).

Keuntungan dari implementasi pendekatan PERT dalam perencanaan proyek mencakup berbagai aspek strategis, di antaranya; mempermudah identifikasi hubungan saling ketergantungan antar aktivitas dalam keseluruhan rangkaian kerja proyek, memberikan gambaran jelas terhadap konsekuensi waktu apabila terjadi keterlambatan dalam satu atau lebih aktivitas, membuka peluang untuk mengevaluasi dan memilih jalur alternatif yang mungkin lebih efisien demi menjaga kelancaran jalannya proyek, memberikan kemungkinan untuk merancang percepatan pelaksanaan pada aktivitas tertentu guna menekan waktu total penyelesaian, serta mampu mengungkap batasan durasi maksimal yang masih dapat diterima agar proyek tuntas tepat waktu (Hendriyani et al., 2023).

2.2.7 *Crashing*

Metode *crashing* merupakan pendekatan yang dilakukan secara terencana, sistematis, dan analitis dalam upaya mempercepat penyelesaian proyek. Teknik ini dilakukan dengan meninjau seluruh aktivitas dalam proyek, khususnya aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis, yaitu rangkaian kegiatan yang tidak memiliki kelonggaran waktu dan sangat memengaruhi waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. *Crashing* bertujuan untuk mengurangi durasi aktivitas tertentu demi mempercepat waktu penyelesaian proyek, tanpa mengorbankan mutu hasil kerja. Strategi ini dilakukan secara sengaja dengan mempertimbangkan hubungan antara waktu dan biaya (*time-cost trade-off*), di mana percepatan waktu pengerjaan akan berdampak pada peningkatan biaya, namun tetap diusahakan agar biaya tambahan tersebut berada dalam batas yang efisien. Dengan demikian, metode *crashing* tidak hanya difokuskan pada percepatan durasi proyek, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi penggunaan sumber daya, terutama dalam hal biaya. Oleh karena itu, *crashing* menjadi solusi yang relevan dalam situasi keterlambatan proyek atau ketika terdapat permintaan untuk mempercepat penyelesaian proyek tanpa mengabaikan aspek perencanaan dan pengendalian yang terukur (Sa'adah et al., 2021).

Cost slope adalah peningkatan biaya langsung yang timbul akibat percepatan penyelesaian suatu aktivitas dalam satuan waktu tertentu. Pemahaman atas konsep ini memegang peranan krusial dalam perencanaan waktu pelaksanaan proyek secara optimal, karena *cost slope* menjadi indikator dalam mengidentifikasi titik efisiensi maksimal antara percepatan durasi pengerjaan dan konsekuensi biayanya. Dengan demikian, penerapan *cost slope* memungkinkan pengambil keputusan proyek untuk menyeimbangkan urgensi waktu terhadap beban pengeluaran tambahan, guna mencapai target penyelesaian dengan pendekatan yang paling hemat dan terkendali (Setiawan, 2021).

Ada beberapa alasan mengapa proyek tersebut melakukan percepatan. Pertama, atas kehendak pemilik supaya proyek dapat dituntaskan sebelum kontrak yang ada. Kedua, dikarenakan ada keterlambatan waktu atau kemajuan pelaksanaan proyek, maka perlu dipercepat. Terdapat beberapa alternatif untuk mengoptimalkan percepatan waktu penyelesaian proyek dan biaya, seperti (A. R. Putri & Sarya, 2023):

1. Penambahan Tenaga Kerja

   Penyediaan jumlah tenaga kerja, jenis keterampilan, dan keahlian harus mengikuti tuntutan perubahan kegiatan yang sedang berlangsung. Suatu perencanaan tenaga kerja proyek yang menyeluruh dan terperinci harus meliputi perkiraan jenis dan keperluan tenaga kerja, seperti tenaga ahli dari berbagai disiplin ilmu dan pekerja lapangan untuk tahap konstruksi.
2. Pengggantian atau Penambahan Peralatan

   Pergantian atau pertambahan peralatan dilakukan bila jumlah alat yang ada pada proyek tersebut kurang ataupun alat tersebut sudah tidak layak dipergunakan. Maka dari itu diberlakukannya pergantian alat untuk meminimalisir terjadinya keterlambatan.
3. Penambahan Jam Lembur

   Mempercepat waktu pelaksanaan suatu kegiatan dengan penambahan jam kerja atau lembur merupakan salah satu usaha untuk menambah produktivitas kerja sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaan suatu kegiatan.
4. Penggantian Metode Kerja

   Pergantian metode kerja digunakan jika metode sebelumnya tidak sesuai dengan keinginan, bisa jadi pelaksanannya menjadi lama atau sangat tidak efisien.

Keunggulan utama dari penerapan metode *crashing* terletak pada kemampuannya dalam memangkas rentang waktu pengerjaan aktivitas proyek secara signifikan, dengan menekan beban biaya secara terukur. Dalam proses implementasinya, meskipun terdapat kecenderungan peningkatan biaya akibat percepatan waktu, namun melalui pengelolaan yang terstruktur dan perencanaan yang akurat, pengeluaran finansial tersebut dapat dipangkas atau bahkan dialihkan ke dalam efisiensi yang lebih produktif. Dengan kata lain, *crashing* menjadi strategi manajerial yang tidak hanya bertujuan mempersingkat durasi pelaksanaan proyek, namun juga membuka peluang untuk mengontrol biaya secara lebih presisi melalui pendekatan yang selaras antara percepatan waktu dan efisiensi anggaran (Messah et al., 2023).

2.2.8 *Freight Forwarder*

Freight forwarder merupakan layanan logistik yang berperan penting dalam mengelola pengangkutan barang secara menyeluruh dari titik asal hingga tujuan akhir. Dalam operasionalnya, *freight forwarder* menangani berbagai aktivitas yang dibutuhkan untuk kelancaran proses pengiriman dan penerimaan barang, baik melalui moda transportasi darat, laut, maupun udara. Untuk memastikan efisiensi distribusi, *freight forwarder* juga menjalin kerja sama dengan sejumlah pihak, seperti perusahaan pelayaran, maskapai penerbangan, pengelola gudang, penyedia layanan asuransi, bea cukai, serta entitas lain yang mendukung kelancaran rantai pasok (Dwiguna et al., 2024).

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian dalam tugas akhir ini adalah proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 yang dilaksanakan oleh PT. Bukaka Teknik Utama, Tbk Cabang Balikpapan. Penelitian ini berfokus pada analisis keterlambatan proyek serta strategi percepatan durasi dan optimalisasi biaya dengan menerapkan metode *fishbone diagram*, *critical path*, *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), dan *crashing*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi faktor penyebab keterlambatan serta menentukan strategi percepatan yang optimal dengan mempertimbangkan efesiensi waktu dan biaya pelaksanaaan proyek.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Untuk memperoleh informasi yang relevan dan akurat, penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung dari lokasi proyek dan pihak-pihak yang terlibat dalam pelaksanaan proyek pembangunan *flowline*. Pengumpulan data primer dilakukan melalui tiga metode berikut:

a. Wawancara

   Wawancara dilakukan secara langsung dengan *project manager,* mentor lapangan dan tim pelaksana proyek di lapangan. Wawancara ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai proses pelaksanaan proyek, kendala yang dihadapi selama kegiatan berlangsung, serta tanggapan teknis dari pelaksana proyek terhadap penyebab keterlambatan.

b. Observasi Langsung

   Observasi langsung dilakukan dengan turun ke lapangan untuk mengamati jalannya pelaksanaan proyek. Peneliti mencatat berbagai aktivitas proyek, keterlibatan tenaga kerja, kondisi peralatan, serta waktu pengerjaan tiap tahapan. Observasi ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran nyata mengenai pelaksanaan proyek di lapangan.

c. Dokumen Internal Proyek

Dokumen resmi dari perusahaan juga digunakan sebagai data primer, seperti rencana anggaran biaya (RAB), jadwal pelaksanaan proyek, durasi aktivitas dan struktur organisasi pelaksana proyek. Dokumen ini penting untuk melihat alur pekerjaan yang direncanakan, pembagian tugas antar tim, serta estimasi biaya dan waktu yang telah ditetapkan sejak awal proyek dimulai.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui studi literatur dan kajian pustaka yang berkaitan dengan topik penelitian. Sumber data ini berasal dari penelitian-penelitian terdahulu dan jurnal ilmiah yang relevan. Data ini digunakan untuk memperkuat landasan teori, metode analisis, dan untuk membandingkan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya yang sejenis.

3.3 Formulasi Pengolahan Data

Untuk mendukung proses analisis dalam penelitian ini, digunakan beberapa formulasi perhitungan yang berasal dari metode *critical path*, *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), dan *crashing*. Masing-masing metode memiliki peran penting dalam menghitung jalur kritis, estimasi waktu penyelesaian proyek secara probabilistik, serta efisiensi biaya percepatan pada aktivitas kritis. Formula-formula ini menjadi dasar pengolahan data proyek untuk menghasilkan keputusan strategis terkait efisiensi waktu dan biaya pelaksanaan proyek.

1. *Early Start* (ES) dan *Early Finish* (EF)

   Perhitungan ini dilakukan dengan *forward pass* (dari awal hingga akhir proyek). (Husna et al., 2022).

   Early Start (ES) = 0, atau ES dari aktivitas sebelumnya + durasi aktivitas sebelumnya. (1)

   EF = ES + durasi aktivitas - 1. (2)

   Jika sebuah aktivitas memiliki beberapa *predecessor*, maka:

   ES = nilai EF terbesar dari semua aktivitas pendahulu. (3)

2. *Late Finish* (LF) dan *Late Start* (LS)

   Perhitungan ini dilakukan dengan *backward pass* (dari akhir hingga awal proyek). (Husna et al., 2022).

   LF aktivitas terakhir = EF aktivitas terakhir (hasil *forward pass*). (4)

Late Start (LS) = LF - durasi aktivitas + 1. (5)

Jika sebuah aktivitas memiliki beberapa *successor*, maka:

LF = nilai LS terkecil dari semua aktivitas setelahnya. (6)

3. *Float (Slack)*

   Aktivitas dengan *slack* = 0 merupakan bagian dari jalur kritis.

   (Husna et al., 2022).

   $$Slack = LS - ES = LF - EF. \quad (7)$$

4. Menghitung perkiraan waktu (*Te*) dengan rumus:

   (Abdul Haris, 2019).

   $$TE = \frac{O + 4M + P}{6} \quad (8)$$

5. Menghitung variansi aktivitas (*Var*) dengan rumus:

   (Abdul Haris, 2019).

   $$Var\ (te) = \left(\frac{O-P}{6}\right)^2 \quad (9)$$

6. Menghitung nilai deviasi normal dengan rumus:

   (Abdul Haris, 2019).

   $$Z = \frac{Batas\ waktu\ (n) - Te}{S} \quad (10)$$

7. *Cost Slope*

   Cost slope menunjukkan tingkat perubahan biaya akibat percepatan durasi aktivitas.

   (Setiawan, 2021).

   $$Cost\ Slope = \frac{Crash\ Cost - Normal\ Cost}{Normal\ Duration - Crash\ Duration} \quad (11)$$

   Rumus ini membantu dalam proses pengambilan keputusan saat memilih aktivitas yang akan dipercepat agar biaya tambahan dapat diminimalkan.

3.4 Pengolahan Data

Proses pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

3.4.1 Identifikasi Penyebab Keterlambatan

Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi faktor penyebab keterlambatan proyek berdasarkan data hasil observasi lapangan, wawancara, dan dokumen internal perusahaan. Seluruh data tersebut dianalisis menggunakan *fishbone diagram*, yang membantu menguraikan akar penyebab keterlambatan berdasarkan enam faktor utama; *man, machine, method, material, measurement, dan environment.*

3.4.2 Penyusunan Diagram Aktivitas (*Activity on Node*)

Setelah penyebab keterlambatan diketahui, langkah berikutnya adalah menyusun jaringan aktivitas proyek menggunakan metode *Activity on Node* (AON). Setiap aktivitas digambarkan berdasarkan urutan dan ketergantungannya terhadap aktivitas lain untuk memetakan alur kerja proyek secara sistematis dan mempermudah analisis waktu.

3.4.3 Identifikasi Jalur Kritis (*Critical Path*)

Berdasarkan jaringan kerja AON yang telah disusun, dilakukan analisis untuk menentukan jalur kritis (*critical path*), yaitu rangkaian aktivitas yang memiliki durasi terpanjang dan berpengaruh langsung terhadap waktu penyelesaian proyek. Identifikasi jalur ini penting untuk mengetahui aktivitas yang harus dikendalikan secara ketat agar tidak menyebabkan keterlambatan proyek.

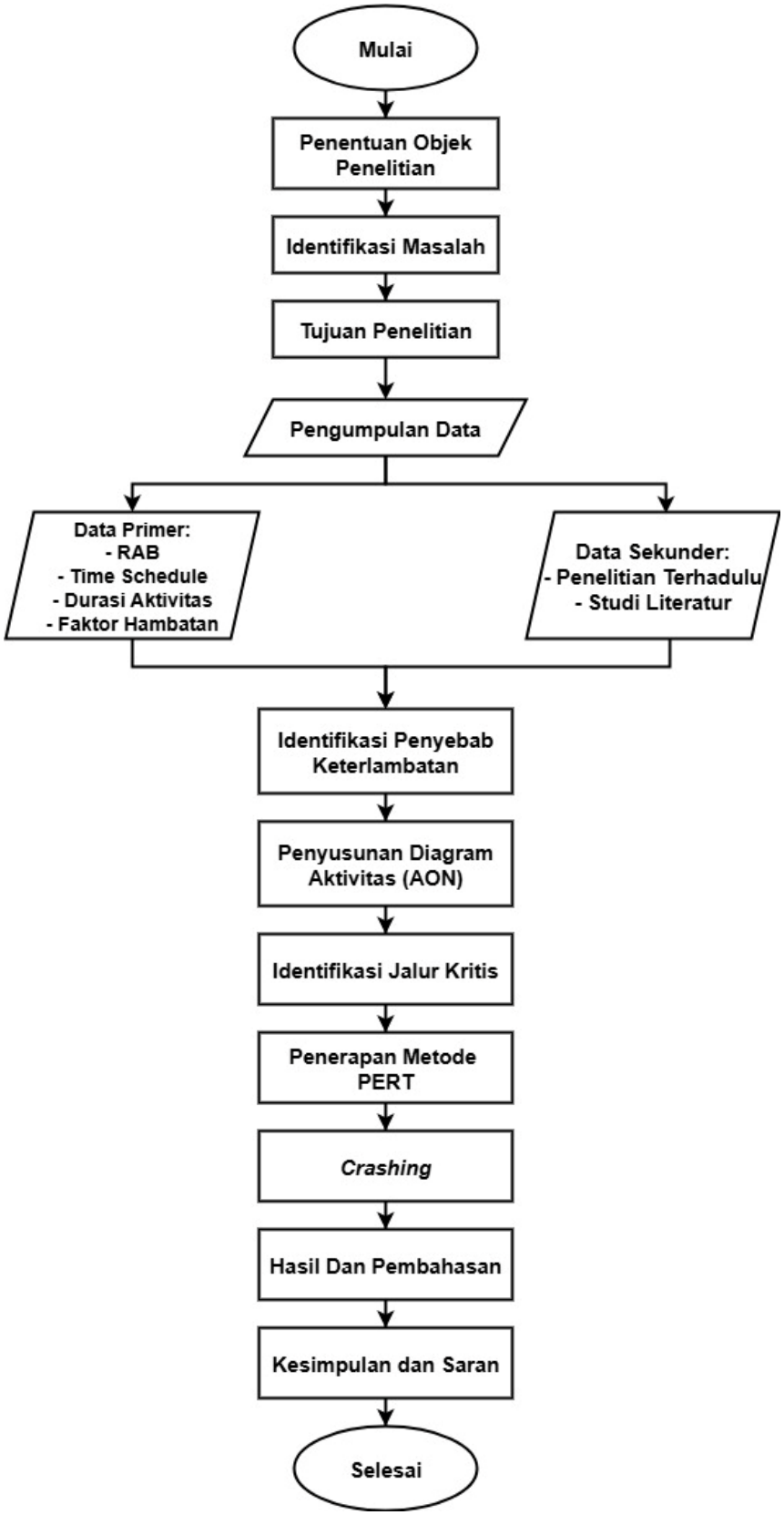
3.4.4 Penerapan Metode PERT (*Program Evaluation and Review Technique*)

Tahap selanjutnya adalah menerapkan metode PERT untuk menghitung estimasi waktu penyelesaian proyek berdasarkan tiga skenario waktu; optimis, realistis, dan pesimis. Metode ini digunakan untuk memperoleh waktu rata-rata penyelesaian proyek serta menentukan probabilitas proyek selesai dalam periode tertentu.

3.4.5 Percepatan Proyek Melalui Metode *Crashing*

Tahap akhir adalah melakukan simulasi percepatan proyek dengan metode *crashing* pada aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis. Percepatan dilakukan melalui penambahan sumber daya, seperti alat bantu tambahan, tenaga kerja, dan jam lembur serta mengubah metode pelaksanaan pekerjaan, sehingga durasi aktivitas berkurang dan proyek dapat diselesaikan lebih cepat. Analisis ini juga memperhitungkan tambahan biaya untuk setiap skenario percepatan, guna menentukan alternatif yang paling efisien antara waktu dan biaya pelaksanaan proyek.

3.5 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

1. Mulai

   Penelitian ini diawali dengan penetapan ide pokok berdasarkan permasalahan nyata di lapangan, yaitu terjadinya keterlambatan penyelesaian proyek pembangunan *flowline* sumur minyak yang berdampak pada reputasi perusahaan, biaya, serta efektivitas pelaksanaan proyek.

2. Penentuan Objek Penelitian

   Setelah permasalahan utama teridentifikasi, proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 yang dilaksanakan oleh PT Bukaka Teknik Utama, Tbk Cabang Balikpapan ditetapkan sebagai objek penelitian agar analisis lebih terarah dan berfokus pada kasus spesifik yang memiliki urgensi penyelesaian.

3. Identifikasi Masalah

   Pada tahap ini, dilakukan identifikasi terhadap bentuk deviasi yang terjadi pada proyek, yaitu keterlambatan penyelesaian dari rencana awal sebagai indikasi adanya faktor penghambat yang memerlukan penelusuran secara mendalam.

4. Tujuan Penelitian

   Penelitian diarahkan untuk mengidentifikasi akar penyebab keterlambatan, menganalisis penjadwalan proyek, serta menyusun strategi percepatan dengan mempertimbangkan efektivitas waktu dan efisiensi biaya melalui integrasi metode *fishbone diagram, critical path,* PERT*, dan crashing.*

5. Pengumpulan Data

   Data dikumpulkan dalam dua jenis:

   a. Data primer diperoleh melalui wawancara langsung dengan tim proyek, observasi di lapangan, serta dokumen internal perusahaan seperti Rencana Anggaran Biaya (RAB), *time schedule*, dan laporan durasi aktivitas.
   b. Data sekunder diperoleh dari studi pustaka dan penelitian terdahulu yang relevan sebagai landasan teoritis dan pembanding dalam analisis.

6. Identifikasi Penyebab Keterlambatan

   Data yang telah diperoleh dianalisis menggunakan metode *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi akar penyebab keterlambatan berdasarkan kategori seperti manusia, metode, material, alat, lingkungan, dan pengawasan.

7. Penyusunan Diagram Aktivitas (*AON*)

Aktivitas proyek disusun dalam diagram *Activity on Node* (AON) untuk menggambarkan urutan dan keterkaitan antar aktivitas sebagai dasar dalam penyusunan jaringan kerja proyek.

8. Identifikasi Jalur Kritis

   Berdasarkan jaringan aktivitas yang telah disusun, metode *critical path* diterapkan untuk menentukan jalur kritis yang terdiri dari aktivitas tanpa kelonggaran waktu dan memiliki pengaruh langsung terhadap total durasi proyek.

9. Penerapan Metode PERT

   Dalam tahap ini, digunakan metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) untuk menghitung estimasi waktu setiap aktivitas proyek dengan mempertimbangkan tiga kemungkinan waktu, yaitu waktu optimis, waktu realistis, dan waktu pesimis. Perhitungan ini menghasilkan estimasi durasi yang lebih akurat dan realistis sehingga membantu dalam proses perencanaan proyek secara lebih baik.

10. *Crashing*

    Berdasarkan hasil identifikasi jalur kritis dan estimasi waktu dari metode PERT, metode *crashing* diterapkan untuk mempercepat durasi aktivitas kritis melalui penambahan sumber daya seperti tenaga kerja, alat, jam lembur maupun mengubah metode pelaksanaan pekerjaan, dengan mempertimbangkan tambahan biaya seminimal mungkin untuk mencapai waktu penyelesaian proyek yang lebih optimal.

11. Hasil dan Pembahasan

    Seluruh hasil analisis dikaji secara sistematis untuk menjelaskan faktor penyebab keterlambatan, struktur penjadwalan proyek, perubahan durasi setelah percepatan, serta dampak *crashing* terhadap efisiensi waktu dan biaya.

12. Kesimpulan dan Saran

    Kesimpulan disusun sebagai jawaban atas rumusan masalah, sedangkan saran diberikan sebagai rekomendasi bagi perusahaan dalam mengoptimalkan manajemen waktu dan biaya proyek pada pelaksanaan proyek sejenis di masa mendatang.

13. Selesai

    Tahap akhir dari penelitian menandai bahwa seluruh rangkaian proses penelitian telah dilaksanakan secara sistematis dan terstruktur.

BAB IV
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Profil Perusahaan

PT Bukaka Teknik Utama adalah perusahaan swasta nasional yang berdiri sejak tahun 1978. Perusahaan ini berfokus pada penyediaan infrastruktur strategis di sektor transportasi, energi, serta minyak dan gas bumi. Dalam mendukung kegiatan operasional di wilayah Kalimantan, perusahaan mendirikan Cabang Balikpapan pada tahun 1998. Cabang ini berperan dalam layanan konstruksi, fabrikasi, instalasi, dan pemeliharaan fasilitas migas dengan standar mutu dan keselamatan kerja internasional. Sejak berdiri, cabang ini telah menyelesaikan berbagai proyek strategis, seperti pembangunan jembatan, menara baja, fasilitas transmisi energi, serta instalasi pipa migas. Salah satu proyek yang menjadi fokus penelitian ini adalah pembangunan *flowline* sumur minyak T-19, yang berfungsi sebagai sistem penghubung antara sumur produksi dengan fasilitas pengolahan awal atau *gathering station*.

Flowline berperan penting dalam menjamin kelancaran aliran produksi minyak, gas, dan air dari kepala sumur menuju fasilitas pengolahan. Keandalan sistem ini menjadi faktor utama dalam menjaga stabilitas operasi dan mencegah potensi kebocoran yang dapat mengganggu kinerja produksi. Pada proyek pembangunan *flowline* T-19, lingkup pekerjaan meliputi pengadaan material, fabrikasi, penggalian jalur, instalasi pipa, hingga pengujian tekanan untuk memastikan keamanan dan kesiapan sistem sebelum beroperasi.

4.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data aktivitas dan durasi pelaksanaan proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 yang dianalisis melalui penyusunan jaringan kerja proyek. Data diperoleh melalui observasi langsung di lokasi proyek dan wawancara dengan pembimbing lapangan serta pekerja lapangan yang terlibat langsung dalam aktivitas proyek. Penjadwalan proyek disusun menggunakan kombinasi metode *critical path*, PERT, dan *crashing* sebagai strategi percepatan yang mempertimbangkan efisiensi waktu dan biaya pelaksanaan.

4.2.1 Aktivitas dan Durasi Pekerjaan

Dalam suatu proyek kontruksi, identifikasi aktivitas dan estimasi durasi pekerjaan merupakan langkah awal yang penting dalam perencanaan dan pengendalian proyek.

Aktivitas-aktivitas ini menjadi dasar dalam penyusunan jadwal dan analisis jaringan kerja proyek. Pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak, setiap aktivitas memiliki peran dan urutan pelaksanaan yang saling berkaitan. Data aktivitas dan durasi pekerjaan pada proyek ini diperoleh berdasarkan *schedule* resmi proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 yang disusun oleh pihak perusahaan. Pada Tabel 4. 1 dapat dilihat daftar urutan aktivitas beserta durasi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan masing-masing pekerjaan dalam proyek tersebut.

Tabel 4. 1 Aktivitas Dan Durasi Pekerjaan.

Kode Aktivitas	Aktivitas	Durasi (Hari)
1	SPK Diterima	1
2	*Procure Material (Pipe, Fitting, Gasket, Bolt n Nut)*	22
3	*Procure Material (Valve, Blasting Painting)*	32
4	Fabrikasi *Pipe Support*	10
5	Pekerjaan *Blasting Painting*	10
6	Pekerjaan Penggalian Area *Stream Line*	7
7	*Installasi Pipe Support*	7
8	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-01	53
9	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-02	19
10	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-03	11
11	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-04	12
12	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-05	12
13	NDT (*Non-Destructive Testing*)	4
14	*Pigging*	2
15	Uji Hidrostatik (*Hydrotest*)	4
16	BAPP (Berita Acara Pemeriksaan Pekerjaan)	2
17	BASTP (Berita Acara Serah Terima Pekerjaan)	2

4.2.2 *Predecessor*

Dalam perencanaan proyek, hubungan ketergantungan antar aktivitas atau *predecessor* merupakan hal yang penting untuk menentukan urutan dan alur pelaksanaan pekerjaan secara sistematis. Penentuan *predecessor* berfungsi untuk mengidentifikasi aktivitas yang

harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum aktivitas berikutnya dapat dimulai. Informasi ini diperlukan dalam penyusunan diagram jaringan kerja dan penentuan jalur kritis proyek. Pada Tabel 4. 2 disajikan data mengenai hubungan antar aktivitas berdasarkan urutan pelaksanaan yang ditetapkan dalam *schedule* proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19.

Tabel 4. 2 *Predecessor.*

Kode Aktivitas	Aktivitas	*Predecessor*
1	SPK Diterima	-
2	*Procure Material (Pipe, Fitting, Gasket, Bolt n Nut)*	1
3	*Procure Material (Valve, Blasting Painting)*	2
4	Fabrikasi *Pipe Support*	2
5	Pekerjaan *Blasting Painting*	3
6	Pekerjaan Penggalian Area *Stream Line*	4
7	*Installasi Pipe Support*	5, 6
8	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-01	7
9	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-02	8SS
10	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-03	9
11	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-04	10
12	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-05	11
13	NDT (*Non-Destructive Testing*)	8, 9
14	*Pigging*	13
15	Uji Hidrostatik (*Hydrotest*)	14
16	BAPP (Berita Acara Pemeriksaan Pekerjaan)	15
17	BASTP (Berita Acara Serah Terima Pekerjaan)	16

4.2.3 Deskripsi Kegiatan

Setiap aktivitas dalam proyek memiliki karakteristik dan tahapan pelaksanaan yang berbeda, sehingga diperlukan penjelasan yang lebih rinci untuk memahami ruang lingkup pekerjaan serta hubungan antaraktivitas. Deskripsi kegiatan ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai aktivitas-aktivitas yang dilakukan, serta hubungannya dengan aktivitas pendahulu (*predecessor*) dalam alur kerja proyek.

Dibawah ini disajikan uraian lengkap mengenai masing-masing aktivitas berdasarkan data proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19.

1. SPK Diterima (Surat Perintah Kerja)

   Merupakan aktivitas awal proyek yang menandai dimulainya pekerjaan setelah kontraktor menerima Surat Perintah Kerja (SPK) dari *client*.

   Keterangan: Aktivitas ini tidak memiliki pendahulu karena merupakan aktivitas pertama dalam proyek.

2. *Procure Material (Pipe, Fitting, Gasket, Bolt n Nut)*

   Pengadaan material meliputi pipa, sambungan pipa *(fitting),* gasket untuk penyekat sambungan, serta baut dan mur yang akan digunakan dalam pemasangan *flowline*.

   Keterangan: Aktivitas ini hanya dapat dimulai setelah aktivitas 1 (SPK diterima).

3. *Procure Material (Valve, Blasting Painting)*

   Pengadaan material lain yang dibutuhkan seperti katup *(valve)* yang berfungsi mengatur aliran fluida pada sistem pipa, serta persiapan untuk kegiatan *blasting* dan pengecatan.

   Keterangan: Aktivitas ini hanya dapat dimulai setelah aktivitas 2 selesai.

4. Fabrikasi *Pipe Support*

   Pembuatan atau fabrikasi penyangga pipa yang akan dipasang sepanjang jalur pipa (*flowline*).

   Keterangan: Aktivitas ini dapat dilakukan setelah aktivitas 2 selesai.

5. Pekerjaan *Blasting Painting*

   Aktivitas ini meliputi pengerjaan *blasting* dan pengecatan pada material pipa untuk memastikan ketahanan material terhadap korosi dan faktor eksternal lainnya.

   Keterangan: Aktivitas ini dapat dilakukan setelah aktivitas 3 selesai.

6. Pekerjaan Penggalian Area *Stream Line*

   Penggalian jalur yang akan digunakan untuk pemasangan pipa, sebagai persiapan area pemasangan.

   Keterangan: Aktivitas ini dapat dilakukan setelah aktivitas 4 selesai.

7. *Installasi Pipe Support*

   Pemasangan penyangga pipa di jalur yang sudah dipersiapkan. Penyangga pipa ini penting untuk menahan pipa di tempatnya selama instalasi.

   Keterangan: Instalasi ini dilakukan setelah aktivitas 5, 6 selesai.

8. *Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-01

Pembuatan gambar teknis dan desain yang rinci untuk segmen pertama dari proyek pipa ini. Gambar ini akan digunakan sebagai acuan saat pemasangan dan pengelasan pipa.

Keterangan: Aktivitas ini dapat dilakukan setelah aktivitas 7 selesai.

9. *Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-02

   Pembuatan gambar teknis dan desain untuk segmen kedua yang akan menjadi acuan dalam pemasangan dan pengelasan pipa.

   Keterangan: Aktivitas ini dapat dilakukan bersamaan dengan dimulainya aktivitas 8.

10. *Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-03

    Pembuatan gambar teknis untuk segmen ketiga yang akan digunakan sebagai panduan untuk instalasi lebih lanjut.

    Keterangan: Aktivitas ini dapat dilakukan setelah aktivitas 9 selesai.

11. *Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-04

    Pembuatan gambar teknis untuk segmen keempat yang akan digunakan dalam pemasangan dan pengelasan pipa.

    Keterangan: Aktivitas ini dapat dilakukan setelah aktivitas 10 selesai.

12. *Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-05

    Pembuatan gambar teknis untuk segmen terakhir yang akan digunakan dalam pemasangan dan pengelasan lebih lanjut.

    Keterangan: Aktivitas ini dapat dilakukan setelah aktivitas 11 selesai.

13. Uji NDT (*Non-Destructive Testing*)

    Pengujian NDT dilakukan untuk memastikan kualitas dan kekuatan sambungan pipa setelah pengelasan, tanpa merusak material pipa.

    Keterangan: Dilakukan setelah semua pemasangan dan pengelasan pipa selesai.

14. *Pigging*

    Pigging merupakan metode yang digunakan untuk membersihkan serta memeriksa kondisi bagian dalam pipa dengan bantuan alat khusus yang disebut *pig*, yang dijalankan melewati jalur dalam pipa tersebut.

    Keterangan: Dilakukan setelah pengujian NDT selesai.

15. Uji Hidrostatik (*Hydrotest*)

    Pengujian hidrostatik dilakukan dengan cara mengisi pipa menggunakan air, lalu diberikan tekanan tertentu untuk memastikan bahwa tidak terjadi kebocoran pada sambungan atau bagian pipa lainnya.

Keterangan: Dilakukan setelah *pigging* selesai.

16. BAPP (Berita Acara Pemeriksaan Pekerjaan)

    Penyusunan berita acara pemeriksaan pekerjaan yang menandakan pemeriksaan akhir dari pekerjaan pemasangan pipa.

    Keterangan: Dilakukan setelah uji hidrostatik selesai.

17. BASTP (Berita Acara Serah Terima Pekerjaan)

    Berita acara serah terima pekerjaan merupakan tahap akhir dalam pelaksanaan proyek, yang menandai bahwa seluruh pekerjaan telah diselesaikan dan secara resmi diserahkan kepada pihak pemilik proyek.

    Keterangan: Aktivitas terakhir yang dilakukan setelah semua pekerjaan dan pengujian selesai.

4.2.4 Biaya Pelaksanaan Proyek

Dalam pelaksanaan proyek kontruksi, komponen biaya menjadi salah satu faktor utama yang sangat memengaruhi tingkat efisiensi serta keberhasilan penyelesaian pekerjaan. Oleh sebab itu, diperlukan perencanaan anggaran yang tepat dan terukur agar seluruh kegiatan proyek dapat diselesaikan sesuai dengan batasan biaya yang telah ditentukan, tanpa mengurangi kualitas hasil maupun cakupan pekerjaan yang direncanakan. Proses estimasi biaya dilakukan dengan memperhitungkan seluruh kebutuhan sumber daya, seperti tenaga kerja, material, peralatan pendukung, serta biaya operasional lainnya. Penyusunan rincian biaya untuk proyek pembangunan *flowline* sumur minyak ini mengacu pada data biaya pelaksanaan proyek yang diperoleh dari pihak perusahaan pelaksana proyek yang tercantum pada Tabel 4. 3.

Tabel 4. 3 Biaya Pelaksanaan Proyek.

Kode Aktivitas	Aktivitas	Biaya (Rp)
1	SPK Diterima	-
2	*Procure Material (Pipe, Fitting, Gasket, Bolt n Nut)*	968,000,000
3	*Procure Material (Valve, Blasting Painting)*	682,000,000
4	Fabrikasi *Pipe Support*	119,220,455
5	Pekerjaan *Blasting Painting*	136,938,636
6	Pekerjaan Penggalian Area *Stream Line*	58,451,591
7	*Installasi Pipe Support*	79,087,955

Kode Aktivitas	Aktivitas	Biaya (Rp)
8	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-01	991,781,591
9	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-02	382,258,409
10	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-03	226,925,682
11	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-04	256,862,727
12	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-05	256,862,727
13	NDT (*Non-Destructive Testing*)	35,128,182
14	*Pigging*	27,700,455
15	Uji Hidrostatik (*Hydrotest*)	35,891,818
16	BAPP (Berita Acara Pemeriksaan Pekerjaan)	2,000,000
17	BASTP (Berita Acara Serah Terima Pekerjaan)	2,000,000
	Total	4,181,110,227

4.3 Pengolahan Data

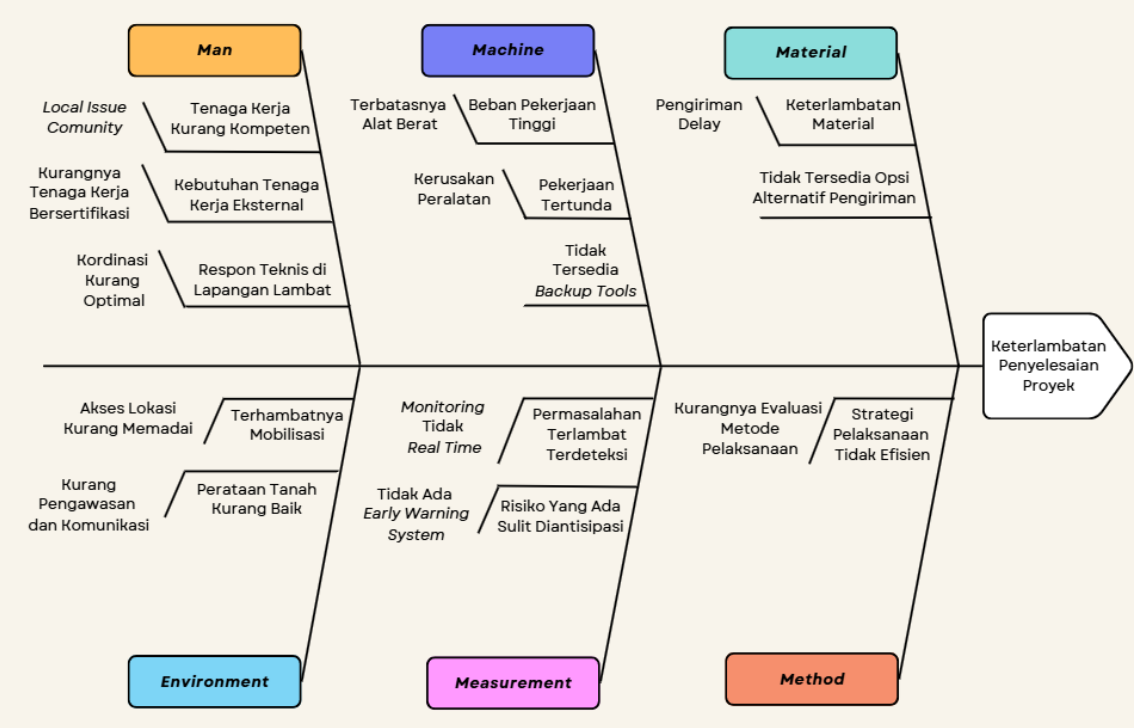
Setelah seluruh data yang dibutuhkan berhasil diperoleh, tahap berikutnya adalah melakukan proses pengolahan data dengan menggunakan metode yang telah dipilih sebelumnya. Pengolahan ini bertujuan untuk mengubah data mentah menjadi informasi yang lebih terstruktur, sehingga dapat diperoleh hasil berupa identifikasi faktor penyebab keterlambatan, perhitungan durasi proyek secara sistematis, serta penentuan strategi percepatan yang optimal dengan mempertimbangkan keseimbangan antara waktu dan biaya proyek.

4.3.1 Identifikasi Penyebab Keterlambatan

Keterlambatan pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 disebabkan oleh berbagai faktor internal dan eksternal yang saling berhubungan. Melalui proses identifikasi dan analisis terhadap setiap aktivitas proyek, ditemukan bahwa akar penyebab keterlambatan dapat diklasifikasikan ke dalam enam kategori utama berdasarkan pendekatan *fishbone diagram* (diagram tulang ikan), yaitu *man, machine, material, method, measurement, dan environment*.

Analisis ini tidak hanya berfungsi untuk mengidentifikasi sumber permasalahan, tetapi juga menjadi dasar dalam menentukan strategi percepatan proyek melalui metode *crashing*, karena setiap penyebab keterlambatan tersebut berkaitan langsung dengan kebutuhan penambahan sumber daya, perubahan metode kerja, atau optimalisasi proses

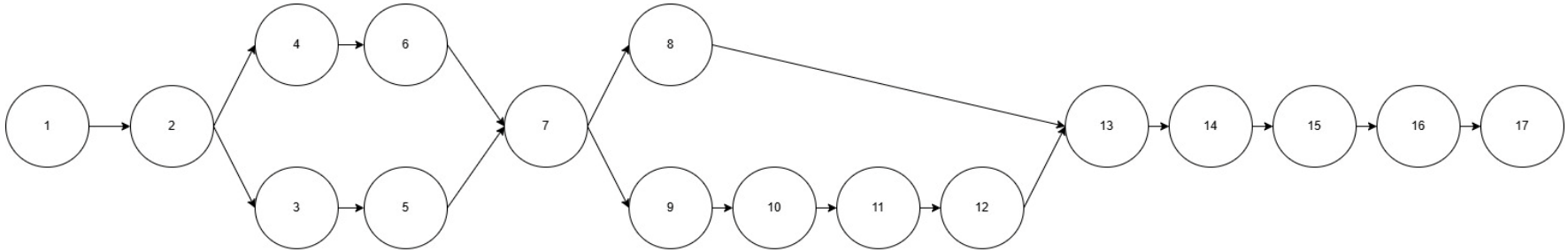
di aktivitas-aktivitas kritis. Gambar 4. 1 menyajikan visualisasi *fishbone diagram* yang menggambarkan hubungan dan kontribusi masing-masing faktor terhadap keterlambatan proyek.



Gambar 4. 1 *Fishbone Diagram*

4.3.2 AON

Diagram jaringan kerja *Activity on Node* (AON) disusun untuk menggambarkan hubungan ketergantungan antar aktivitas dalam proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19. Setiap *node* merepresentasikan satu aktivitas utama, sedangkan panah penghubung menunjukkan urutan serta ketergantungan antar pekerjaan. Penyusunan diagram AON bertujuan untuk memberikan gambaran visual yang sistematis mengenai alur kegiatan proyek, sehingga mempermudah proses identifikasi jalur kritis dan perhitungan estimasi waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Pada Gambar 4. 2 menunjukkan diagram jaringan kerja menggunakan pendekatan AON.



Gambar 4. 2 AON

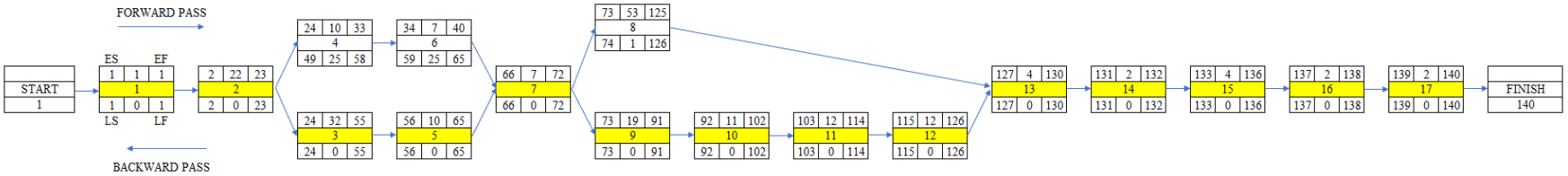
4.3.3 Jalur Kritis

Setelah diagram jaringan kerja *Activity on Node* (AON) disusun, langkah berikutnya adalah menentukan jalur kritis (*critical path*). Dalam proyek konstruksi, penentuan jalur kritis merupakan tahap penting untuk memastikan efektivitas penjadwalan dan pengendalian waktu pelaksanaan proyek. Jalur kritis didefinisikan sebagai rangkaian aktivitas dengan durasi total terpanjang yang tidak memiliki kelonggaran waktu (*slack*). Dengan demikian, keterlambatan pada satu aktivitas di jalur ini akan berdampak langsung terhadap keterlambatan penyelesaian proyek secara keseluruhan.

Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode *forward pass* dan *backward pass*. Pada tahap *forward pass*, dilakukan perhitungan waktu mulai paling awal (*Earliest Start* atau ES) dan waktu selesai paling awal (*Earliest Finish* atau EF) untuk setiap aktivitas. Aktivitas pertama dimulai dengan nilai ES = 0, sedangkan nilai EF diperoleh dari hasil penjumlahan antara waktu mulai (ES) dan durasi aktivitas dikurangi satu hari. Apabila suatu aktivitas memiliki lebih dari satu *predecessor*, maka nilai ES ditentukan berdasarkan nilai EF terbesar dari seluruh aktivitas pendahulunya. Dengan demikian, tahap *forward pass* ini memberikan informasi mengenai waktu paling cepat setiap aktivitas dapat dimulai dan diselesaikan.

Selanjutnya, pada tahap *backward pass*, dilakukan perhitungan waktu selesai paling akhir (*Late Finish* atau LF) dan waktu mulai paling akhir (*Late Start* atau LS) dengan arah perhitungan yang berlawanan, yaitu dari aktivitas terakhir menuju aktivitas pertama. Nilai LF aktivitas terakhir sama dengan EF terakhir yang diperoleh dari perhitungan *forward pass*. Sementara itu, nilai LS dihitung dengan cara mengurangi LF dengan durasi aktivitas, kemudian menambahkan satu hari. Jika suatu aktivitas memiliki lebih dari satu *successor*, maka nilai LF ditentukan dari nilai LS terkecil dari aktivitas-aktivitas berikutnya.

Setelah semua nilai ES, EF, LS, dan LF diperoleh, maka kelonggaran waktu (*slack*) dapat dihitung dengan mengurangkan LS terhadap ES, atau LF terhadap EF. Aktivitas yang memiliki nilai *slack* = 0 dikategorikan sebagai bagian dari jalur kritis, karena keterlambatan pada aktivitas tersebut akan secara langsung menunda penyelesaian proyek secara keseluruhan. Gambar 4. 3 menampilkan hasil analisis jalur kritis pada proyek pembangunan *flowline* sumur minyak dalam bentuk jaringan kerja yang menggambarkan keseluruhan urutan serta durasi dari setiap aktivitas.



Gambar 4. 3 Jalur Kritis

4.3.4 *PERT*

Untuk mendapatkan estimasi waktu pelaksanaan proyek yang lebih realistis dan mempertimbangkan unsur ketidakpastian, digunakan metode PERT yang mengacu pada tiga parameter waktu, yaitu waktu optimis (TO), waktu paling mungkin (TM), dan waktu pesimis (TP). Ketiga waktu tersebut diperoleh berdasarkan pendapat profesional dari pihak yang memiliki pengalaman langsung dalam pelaksanaan proyek di lapangan. Tabel 4. 4 merupakan hasil perhitungan waktu optimis, waktu paling mungkin, dan waktu pesimis.

Tabel 4. 4 Durasi TO, TM, TP.

TABEL PERT					
Kode Aktivitas	**Aktivitas**	***Predecessor***	**TO**	**TM**	**TP**
1	SPK Diterima	-	1	1	2
2	*Procure Material (Pipe, Fitting, Gasket, Bolt n Nut)*	1	17	22	25
3	*Procure Material (Valve, Blasting Painting)*	2	27	32	35
4	Fabrikasi *Pipe Support*	2	7	10	12
5	Pekerjaan *Blasting Painting*	3	8	10	12
6	Pekerjaan Penggalian Area *Stream Line*	4	5	7	9

TABEL PERT

Kode Aktivitas	Aktivitas	*Predecessor*	TO	TM	TP
7	*Installasi Pipe Support*	5, 6	5	7	9
8	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-01	7	48	53	55
9	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-02	8SS	16	19	21
10	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-03	9	8	11	13
11	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-04	10	9	12	14
12	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-05	11	9	12	14
13	NDT (*Non-Destructive Testing*)	8, 9	3	4	6
14	*Pigging*	13	2	2	4
15	Uji Hidrostatik (*Hydrotest*)	14	3	4	6
16	BAPP (Berita Acara Pemeriksaan Pekerjaan)	15	2	2	3
17	BASTP (Berita Acara Serah Terima Pekerjaan)	16	2	2	3

Setelah diperoleh nilai waktu optimis (TO), waktu paling memungkinkan ™, dan waktu pesimis (TP) untuk setiap aktivitas, langkah berikutnya adalah mengolah ketiga nilai tersebut untuk menghitung estimasi waktu rata-rata (TE) serta varians dari masing-masing aktivitas proyek. Nilai TE diperoleh dari hasil penjumlahan waktu optimis (O), empat kali waktu paling mungkin (4M), dan waktu pesimis (P), kemudian dibagi dengan enam. Rumus ini memperhitungkan kemungkinan bahwa waktu paling mungkin memiliki pengaruh terbesar dalam estimasi durasi aktivitas. Langkah berikutnya adalah menghitung variansi waktu untuk setiap aktivitas guna mengetahui tingkat ketidakpastian terhadap estimasi durasi tersebut. Nilai variansi diperoleh dari selisih antara waktu pesimis (P) dan waktu optimis (O) dibagi

enam, kemudian hasilnya dikuadratkan. Nilai variansi ini menunjukkan sejauh mana kemungkinan penyimpangan durasi dapat terjadi dari nilai estimasi rata-rata (TE). Pada Tabel 4. 5 menyajikan hasil perhitungan nilai estimasi waktu (TE) dan varians untuk masing-masing aktivitas.

Tabel 4. 5 Perhitungan nilai TE dan Varians.

TABEL PERT							
Kode Aktivitas	**Aktivitas**	***Prodecessor***	**TO**	**TM**	**TP**	**TE**	**V**
1	SPK Diterima	-	1	1	2	1,166666667	0.028
2	*Procure Material (Pipe, Fitting, Gasket, Bolt n Nut)*	1	17	22	25	21,66666667	1.778
3	*Procure Material (Valve, Blasting Painting)*	2	27	32	35	31,66666667	1.778
4	Fabrikasi *Pipe Support*	2	7	10	12	9,833333333	0.694
5	Pekerjaan *Blasting Painting*	3	8	10	12	10	0.444
6	Pekerjaan Penggalian Area *Stream Line*	4	5	7	9	7	0.444
7	*Installasi Pipe Support*	5, 6	5	7	9	7	0.444
8	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-01	7	48	53	55	52,5	1.361
9	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-02	8SS	16	19	21	18,83333333	0.694
10	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-03	9	8	11	13	10,83333333	0.694
11	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-04	10	9	12	14	11,83333333	0.694
12	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-05	11	9	12	14	11,83333333	0.694
13	NDT (*Non-Destructive Testing*)	8, 9	3	4	6	4,166666667	0.250

TABEL PERT							
Kode Aktivitas	**Aktivitas**	***Prodecessor***	**TO**	**TM**	**TP**	**TE**	**V**
14	*Pigging*	13	2	2	4	2,333333333	0.111
15	Uji Hidrostatik (*Hydrotest*)	14	3	4	6	4,166666667	0.250
16	BAPP (Berita Acara Pemeriksaan Pekerjaan)	15	2	2	3	2,166666667	0.028
17	BASTP (Berita Acara Serah Terima Pekerjaan)	16	2	2	3	2,166666667	0.028
						139,83	7,917

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel di atas, total estimasi waktu penyelesaian proyek (∑TE) adalah 139,83 hari, dengan total variansi sebesar 7,917. Nilai simpangan baku (σ) diperoleh dengan cara mengambil akar dari jumlah variansi, sehingga diperoleh nilai σ = 2,814. Langkah selanjutnya adalah menghitung probabilitas proyek dapat diselesaikan sesuai target waktu yang telah ditentukan. Nilai peluang ini diperoleh dengan menggunakan perhitungan z-*score* atau nilai deviasi normal. Nilai Z diperoleh dari selisih antara batas waktu penyelesaian proyek yang direncanakan dengan nilai estimasi waktu rata-rata proyek, kemudian dibagi dengan simpangan baku (σ). Dari hasil pengolahan data, proyek ditargetkan selesai dalam waktu 135 hari, sedangkan hasil estimasi PERT menunjukkan rata-rata waktu penyelesaian sebesar 139,83 hari. Maka, nilai Z dapat dihitung sebagai berikut:

$$Z = \frac{135-139,83}{2,814} = -1,72$$

Nilai Z sebesar –1,72 ini kemudian dikonversi menggunakan tabel distribusi normal untuk mengetahui probabilitas proyek dapat selesai sesuai target. Berdasarkan tabel distribusi normal, nilai Z = –1,72 menunjukkan probabilitas sebesar 0,0427 atau 4,27%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peluang proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 dapat diselesaikan tepat waktu (135 hari) hanya sebesar

4,27%. Hasil ini menunjukkan bahwa proyek memiliki kemungkinan keterlambatan yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan tindakan percepatan menggunakan metode *crashing*, dengan tetap mempertimbangkan keseimbangan antara waktu dan biaya proyek.

4.3.5 *Crashing*

Crashing merupakan salah satu metode percepatan waktu proyek dengan menambahkan sumber daya tertentu, seperti tambahan alat, tenaga kerja, jam kerja lembur atau metode pengiriman khusus untuk mempercepat durasi aktivitas-aktivitas tertentu, khususnya yang berada pada jalur kritis. Tujuan penerapan *crashing* adalah untuk mengurangi total durasi proyek dalam waktu sesingkat mungkin dengan tambahan biaya seminimal mungkin.

Dalam proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19, analisis *crashing* dilakukan terhadap aktivitas-aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis, karena keterlambatan pada aktivitas-aktivitas tersebut akan berdampak langsung terhadap keterlambatan penyelesaian proyek secara keseluruhan. Setiap aktivitas pada jalur kritis dianalisis berdasarkan perbandingan antara durasi normal dan durasi setelah *crashing*, serta biaya normal dan biaya setelah *crashing*. Nilai biaya percepatan per hari (*cost slope*) dihitung dengan membagi selisih antara biaya *crashing* dan biaya normal dengan selisih antara durasi normal dan durasi setelah *crashing*. Rumus ini menggambarkan besarnya tambahan biaya yang harus dikeluarkan untuk mempercepat proyek selama satu hari pada aktivitas tertentu. Nilai *cost slope* ini kemudian dijadikan dasar dalam menentukan aktivitas mana yang paling efisien untuk dilakukan percepatan. Tabel 4. 6 menunjukkan hasil perhitungan durasi normal, durasi setelah *crashing*, biaya normal, biaya *crashing*, serta nilai *cost slope* untuk setiap aktivitas yang berada pada jalur kritis.

Tabel 4. 6 Perhitungan *Crashing*.

Kode Aktivitas	Aktivitas	Durasi Normal (Hari)	Durasi *Crashing* (Hari)	Biaya Normal (Rupiah)	Biaya *Crashing* (Rupiah)	Biaya *Crashing* Perhari	*Critical Path*
1	SPK Diterima	1	1	-	-	-	*YES*
2	***Procure Material (Pipe, Fitting, Gasket, Bolt n Nut)***	**22**	**17**	**968,000,000**	**978,300,000**	**2,060,000**	***YES***
3	*Procure Material (Valve, Blasting Painting)*	32	27	682,000,000	696,300,000	2,860,000	*YES*
5	Pekerjaan *Blasting Painting*	10	8	136,938,636	173,314,587	18,187,976	*YES*
7	*Installasi Pipe Support*	7	5	79,087,955	111,323,496	16,117,771	*YES*
9	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-02	19	16	382,258,409	435,225,649	17,655,747	*YES*
10	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-03	11	8	226,925,682	280,829,338	17,967,885	*YES*
11	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-04	12	9	256,862,727	303,866,383	15,667,885	*YES*
12	*Drawing* BYU-FLD-PIP-ISO-WHE-BCT-T019-05	12	9	256,862,727	303,866,383	15,667,885	*YES*
13	NDT (*Non-Destructive Testing*)	4	3	35,128,182	45,259,773	10,131,591	*YES*
14	*Pigging*	2	2	27,700,455	-	-	*YES*
15	Uji Hidrostatik (*Hydrotest*)	4	3	35,891,818	48,359,773	12,467,955	*YES*

Kode Aktivitas	Aktivitas	Durasi Normal (Hari)	Durasi *Crashing* (Hari)	Biaya Normal (Rupiah)	Biaya *Crashing* (Rupiah)	Biaya *Crashing* Perhari	*Critical Path*
16	BAPP (Berita Acara Pemeriksaan Pekerjaan)	2	2	2,000,000	-	-	*YES*
17	BASTP (Berita Acara Serah Terima Pekerjaan)	2	2	2,000,000	-	-	*YES*

Tabel 4. 7 menampilkan hasil perhitungan metode *crashing* beserta analisis biaya tambahan akibat percepatan proyek.

Tabel 4. 7 Hasil *Crashing*.

	Innitially				***Run 1***	
Activity	***Normal Duration (Day)***	***Crash Duration (Day)***	***Crash Cost Per Day (Rp)***	***Time Float***	***Time Saved (Hari)***	***Duration (Day)***
1	1	1		0		2
2	**22**	**17**	**2,060,000**	0	**5**	**17**
3	32	27		0		32
4	10	10		25		10
5	10	8		0		10
6	7	7		25		7
7	7	5		0		7
8	53	53		1		53

	Innitially			*Run 1*		
Activity	***Normal Duration (Day)***	***Crash Duration (Day)***	***Crash Cost Per Day (Rp)***	***Time Float***	***Time Saved (Hari)***	***Duration (Day)***
9	19	16		0		19
10	11	8		0		11
11	12	9		0		12
12	12	9		0		12
13	4	3		0		4
14	2	2		0		2
15	4	3		0		4
16	2	2		0		2
17	2	2		0		2
Project Cost		**4,181,110,227**			**4,191,410,227**	
Project Duration		**140**			**135**	

Berdasarkan hasil perhitungan *crashing* yang telah dilakukan, aktivitas *procure material* (*pipe, fitting, gasket, bolt n nut*) dipilih sebagai aktivitas yang dilakukan percepatan karena memiliki biaya percepatan per hari (*cost slope*) paling rendah dibandingkan aktivitas lainnya yang berada pada jalur kritis. Aktivitas ini awalnya memiliki durasi pengerjaan selama 22 hari, kemudian dapat dipercepat menjadi 17 hari, sehingga diperoleh efisiensi waktu sebesar 5 hari. Meskipun terdapat tambahan biaya akibat percepatan ini, namun secara keseluruhan aktivitas ini menjadi pilihan paling efisien dan berdampak langsung dalam menurunkan total durasi proyek dari 140 hari menjadi 135 hari.

4.3.6 Perbandingan Biaya

Setelah dilakukan pengolahan data dan perhitungan menggunakan metode *crashing*, selanjutnya dilakukan perbandingan antara total biaya proyek aktual sebelum percepatan dengan total biaya proyek setelah dilakukan percepatan. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi biaya yang dicapai melalui penerapan metode *crashing*, serta mengevaluasi sejauh mana strategi percepatan yang diterapkan dapat memberikan nilai manfaat secara finansial tanpa mengorbankan kualitas proyek. Tabel 4. 8 menampilkan rekapitulasi data perbandingan biaya proyek sebelum dan sesudah dilakukan *crashing*.

Tabel 4. 8 Perbandingan Biaya Proyek Sebelum dan Sesudah *Crashing.*

Keterangan	Biaya (Rp)
Biaya Durasi Aktual Proyek	Rp. 4,181,110,227
Biaya Penalti Keterlambatan (5 Hari)	Rp. 209,055,511
Biaya Akibat Keterlambatan	Rp. 4,390,165,739
Biaya Setelah Dilakukan *Crashing*	Rp. 4,191,410,227
Selisih Penghematan Biaya	Rp. 198,755,511

BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Analisis Penyebab Keterlambatan

Keterlambatan dalam pelaksanaan proyek konstruksi merupakan permasalahan yang tidak jarang terjadi dan berpotensi menghambat pencapaian target waktu penyelesaian. Dalam proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19, telah diidentifikasi sejumlah faktor penyebab utama yang mengakibatkan ketidaksesuaian terhadap jadwal pelaksanaan. Untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh, dilakukan analisis penyebab permasalahan menggunakan pendekatan *fishbone diagram* (diagram tulang ikan) yang mengelompokkan penyebab ke dalam enam faktor utama; *man, machine, material, method, measurement, dan environmen*t sebagaimana tertera pada Gambar 4. 1.

Analisis ini tidak hanya bertujuan mengidentifikasi akar masalah, tetapi juga menjadi dasar penyusunan strategi percepatan dengan menggunakan metode *crashing* pada aktivitas-aktivitas kritis. Setiap kategori penyebab keterlambatan memberikan kontribusi langsung terhadap keputusan penambahan sumber daya, penyesuaian metode kerja, atau perubahan strategi pelaksanaan yang diterapkan dalam proses *crashing*. Masing-masing aspek tersebut dianalisis berdasarkan data dan kondisi proyek di lapangan.

A. *Man*

Mayoritas tenaga kerja yang dilibatkan merupakan masyarakat lokal yang belum memiliki kompetensi teknis yang memadai. Hal ini berdampak pada banyaknya kesalahan teknis dan perlunya waktu tambahan untuk perbaikan. Lalu, jumlah tenaga ahli bersertifikat sangat terbatas, khususnya untuk pekerjaan dengan tingkat kompleksitas tinggi seperti pengelasan, pengujian NDT, pelaksanaan *pigging* dan *hydrotest*. Kondisi ini mengharuskan perusahaan untuk mendatangkan tenaga ahli eksternal, yang membutuhkan waktu tambahan dalam proses mobilisasi dan penyesuaian lapangan. Selain itu, koordinasi antara tim teknis lapangan dengan tim pusat di Balikpapan belum berjalan optimal, yang berdampak pada lambatnya respons terhadap isu-isu teknis yang membutuhkan keputusan cepat.

Permasalahan pada aspek *man* menunjukkan bahwa keterlambatan terjadi akibat kurangnya kapasitas tenaga kerja dan kualitas teknis. Oleh karena itu, strategi *crashing* difokuskan pada penambahan jam lembur dan peningkatan alokasi tenaga

kerja sebagai solusi untuk mempercepat penyelesaian aktivitas kritis tanpa menunggu mobilisasi tambahan tenaga kerja.

B. *Machine*

Keterbatasan jumlah unit alat berat, khususnya *foco crane* dan *excavator*, menimbulkan beban fisik berlebih pada pekerja serta memperlambat sejumlah aktivitas lapangan yang memerlukan penggalian tanah, pengangkatan pipa dan pemindahan komponen besar. Beberapa alat utama juga mengalami kerusakan ringan, membuat pekerjaan harus ditunda karena tidak tersedia cadangan atau *backup tools* yang siap pakai.

Keterbatasan ketersediaan alat berat menyebabkan beberapa aktivitas pekerjaan berjalan lebih lambat dari jadwal yang direncanakan. Oleh karena itu, dalam penerapan metode *crashing*, dilakukan strategi percepatan pada salah satu aktivitas kritis, yaitu pekerjaan penggalian, melalui penambahan alat bantu atau penambahan unit *excavator*. Strategi ini bertujuan agar pekerjaan dapat dilaksanakan secara paralel dan tidak lagi bergantung pada satu peralatan utama, sehingga durasi pelaksanaan aktivitas tersebut dapat dipersingkat secara optimal.

C. *Material*

Keterlambatan dalam pengiriman *material* disebabkan oleh strategi logistik yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Ketergantungan terhadap metode pengiriman reguler tanpa mempertimbangkan alternatif jalur distribusi menyebabkan terhambatnya kedatangan *material* utama. Akibatnya, sejumlah aktivitas lanjutan mengalami penundaan. Selain itu, belum adanya evaluasi strategis terhadap penggunaan alternatif logistik mengakibatkan peluang percepatan pengiriman tidak dimanfaatkan secara optimal.

Kondisi ini menjadi dasar diterapkannya optimalisasi metode pengiriman material sebagai bagian dari *crashing*, yaitu dengan memilih jalur distribusi alternatif atau moda transportasi yang lebih cepat agar aktivitas kritis tidak lagi tertunda akibat menunggu material.

D. *Method*

Kurangnya evaluasi terhadap metode pelaksanaan sejak tahap awal menyebabkan strategi pelaksanaan pekerjaan yang diterapkan kurang optimal dalam mempertimbangkan efisiensi waktu dan biaya. Pendekatan yang digunakan lebih

banyak berdasarkan pola kerja sebelumnya tanpa penyesuaian dengan kondisi aktual proyek, sehingga berpotensi menurunkan efektivitas pelaksanaan.

Aspek metode yang kurang efektif menjadi indikator perlunya penyesuaian metode kerja, termasuk perubahan metode mobilisasi, percepatan inspeksi, dan penjadwalan tenaga kerja yang lebih adaptif selama *crashing* diterapkan.

E. *Measurement*

Sistem *monitoring* proyek yang digunakan belum sepenuhnya berbasis teknologi pemantauan secara *real time*, sehingga ketika terjadi kendala di lapangan, deteksi permasalahan sering kali mengalami keterlambatan. Pemantauan progres proyek umumnya dilakukan secara berkala, namun belum dilengkapi pelaporan harian yang terstruktur dan sistematis. Selain itu, belum diterapkannya sistem peringatan dini (*early warning system*) menyebabkan potensi risiko pada aktivitas krusial sulit diidentifikasi sejak dini, sehingga memperbesar peluang terjadinya keterlambatan.

Keterbatasan ini memperkuat kebutuhan untuk pengetatan *monitoring* harian selama proses *crashing*, agar aktivitas percepatan yang dilakukan tetap terkontrol dan risiko tidak berdampak ke aktivitas lain.

F. *Environment*

Secara geografis, proyek berada di lokasi terpencil yang memiliki tantangan akses jalan berupa jalur berlumpur, curam, dan minim infrastruktur pendukung. Hal ini menyebabkan mobilisasi alat berat dan distribusi material menjadi terhambat. Selain itu, kurangnya pengawasan dalam penataan lahan berdampak pada buruknya proses pemadatan tanah, yang menyebabkan kondisi tanah menjadi tidak stabil dan berisiko mengalami penurunan. Penanganan yang kurang optimal dalam proses perataan lahan menjadikan struktur tanah tidak cukup kuat untuk mendukung aktivitas konstruksi.

Masalah lingkungan memperjelas perlunya penambahan alat berat, perbaikan akses sementara, serta percepatan pekerjaan tanah sebagai bagian dari *crashing* agar aktivitas konstruksi tidak lagi tertunda oleh kondisi geografis.

5.2 Analisis Penjadwalan Proyek

Penjadwalan yang tepat merupakan bagian penting dalam pengelolaan proyek konstruksi. Pada penelitian ini, analisis penjadwalan dilakukan untuk memahami hubungan antar aktivitas serta mengidentifikasi aktivitas yang berada pada jalur kritis, yaitu aktivitas yang dapat menyebabkan keterlambatan terhadap durasi total proyek apabila mengalami

gangguan. Proses analisis dilakukan melalui penyusunan jaringan kerja dengan metode *Activity on Node* (AON), mengidentifikasi jalur kritis, serta estimasi waktu secara probabilistik dengan pendekatan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT). Hasil dari ketiga pendekatan ini menjadi dasar dalam memahami struktur proyek secara menyeluruh dan menentukan strategi percepatan yang tepat.

5.2.1 Analisis *Activity On Node* (AON)

Penyusunan diagram jaringan kerja dengan metode *Activity on Node* (AON) dilakukan berdasarkan hubungan ketergantungan antaraktivitas yang diperoleh dari data *predecessor*, dan ditampilkan dalam bentuk diagram jaringan yang tersusun secara sistematis. Setiap *node* pada diagram AON merepresentasikan satu aktivitas utama, sedangkan panah penghubung menunjukkan urutan dan keterkaitan antar pekerjaan.

Berdasarkan struktur AON yang disajikan pada Gambar 4. 2, proyek diawali oleh aktivitas penerimaan *Surat Perintah Kerja* (SPK) sebagai aktivitas pertama. Selanjutnya, proses berlanjut ke pengadaan material utama seperti pipa, *fitting*, *gasket*, serta baut dan mur pada aktivitas kedua. Setelah itu, alur pekerjaan terbagi menjadi dua lintasan utama yang saling terhubung namun memiliki urutan pengerjaan berbeda.

Lintasan pertama terdiri dari urutan aktivitas 4–6–7–8–13–14–15–16–17, sedangkan lintasan kedua yaitu 3–5–7–9–10–11–12–13–14–15–16–17. Kedua lintasan tersebut kemudian bertemu pada aktivitas pengujian NDT (*Non Destructive Testing*) dan berakhir pada aktivitas BASTP (Berita Acara Serah Terima Pekerjaan). Penyusunan diagram jaringan ini tidak hanya berfungsi sebagai gambaran visual alur proyek, tetapi juga diperlukan untuk mengetahui secara pasti durasi setiap elemen pekerjaan, yang akan digunakan sebagai dasar dalam perhitungan waktu probabilistik menggunakan metode PERT, serta untuk menentukan lintasan kritis dalam proyek.

Berdasarkan hasil pemetaan pada Gambar 4. 2, langkah selanjutnya adalah menghitung jalur kritis untuk mengetahui urutan aktivitas yang memiliki total *slack* atau kelonggaran waktu sebesar nol. Nilai nol ini menunjukkan bahwa aktivitas-aktivitas tersebut sangat penting karena tidak boleh mengalami keterlambatan sedikit pun. Jika salah satu aktivitas pada jalur ini tertunda, maka seluruh jadwal proyek juga akan ikut tertunda. Oleh karena itu, jalur ini menjadi perhatian utama dalam pengelolaan proyek. Jalur kritis ini juga menjadi fokus dalam analisis *crashing*, yaitu proses mempercepat durasi pekerjaan tertentu dengan tujuan untuk menghemat waktu pelaksanaan proyek secara keseluruhan.

5.2.2 Identifikasi Jalur Kritis

Analisis terhadap jalur kritis dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pendekatan metode yang digunakan terhadap data proyek yang telah dianalisis. Jalur kritis tersusun dari serangkaian aktivitas yang saling bergantung satu sama lain, sebagaimana ditunjukkan dalam diagram AON pada Gambar 4. 2. Mengidentifikasi jalur ini menjadi hal yang sangat penting agar penanggung jawab proyek memiliki pemahaman yang menyeluruh terhadap urutan pelaksanaan pekerjaan dan mampu mengambil keputusan yang tepat serta strategis untuk keberlanjutan proyek. Hal ini karena jalur kritis merupakan rangkaian yang paling menentukan terhadap durasi pelaksanaan proyek secara keseluruhan, sehingga perhatian utama sebaiknya difokuskan pada aktivitas-aktivitas dalam jalur tersebut.

Setiap aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis memiliki ciri khas yang sama, yaitu tidak memiliki kelonggaran waktu atau *slack*. *Slack* adalah sisa waktu yang masih tersedia untuk suatu pekerjaan tanpa memengaruhi jadwal keseluruhan proyek. Apabila suatu aktivitas memiliki nilai *slack* nol, maka aktivitas tersebut dikategorikan sebagai bagian dari jalur kritis. Dalam penelitian ini, lintasan yang membentuk jalur kritis meliputi aktivitas 1–2–3–5–7–9–10–11–12–13–14–15–16–17.

Kelonggaran waktu atau *slack* dalam suatu aktivitas merujuk pada tingkat fleksibilitas yang dimiliki terhadap waktu pelaksanaannya. Jika suatu aktivitas memiliki *slack* bernilai positif, maka aktivitas tersebut masih bisa mengalami penundaan tanpa menimbulkan dampak terhadap aktivitas lainnya dalam jaringan kerja. Sebaliknya, nilai *slack* nol menandakan bahwa aktivitas tersebut tidak memiliki kelonggaran waktu sama sekali dan secara langsung akan mempengaruhi total durasi proyek jika terjadi keterlambatan.

Peran jalur kritis dalam pelaksanaan proyek secara keseluruhan sangat berpengaruh besar. Jalur ini menentukan batas waktu tersingkat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek dari awal hingga akhir. Dengan mengetahui jalur kritis, tim pelaksana proyek dapat mengatur prioritas kegiatan, mengalokasikan sumber daya secara tepat, serta menekan risiko keterlambatan yang bisa menimbulkan rangkaian hambatan terhadap aktivitas lainnya. Fokus terhadap jalur kritis juga sangat membantu dalam mengelola potensi perubahan yang mungkin terjadi selama pelaksanaan. Apabila terdapat perubahan pada aktivitas di jalur ini, dampaknya dapat lebih cepat dikenali dan diantisipasi untuk mencegah gangguan terhadap jadwal utama proyek.

Dalam penyusunan rencana proyek yang bersifat kompleks serta dipenuhi dengan unsur ketidakpastian, jalur kritis merupakan titik krusial yang harus diprioritaskan. Hal ini disebabkan karena setiap aktivitas yang berada di dalam jalur tersebut memiliki dampak langsung terhadap keberhasilan proyek. Oleh sebab itu, pemahaman mendalam mengenai jalur kritis, disertai dengan penerapan analisis durasi menggunakan pendekatan metode PERT, menjadi langkah yang sangat penting. Metode PERT digunakan untuk menghitung durasi waktu yang lebih realistis dengan mempertimbangkan ketidakpastian yang mungkin terjadi dalam pelaksanaan di lapangan. Seluruh hasil analisis jalur kritis ini kemudian akan dikembangkan lebih lanjut melalui pendekatan probabilistik PERT pada pembahasan berikutnya.

5.2.3 Analisis Perhitungan PERT

Metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) digunakan untuk menganalisis ketidakpastian durasi aktivitas dengan memperhitungkan tiga jenis estimasi waktu, yaitu waktu optimis, waktu paling mungkin, dan waktu pesimis. Ketiga estimasi tersebut digabungkan melalui formula probabilistik untuk memperoleh nilai estimasi waktu yang diharapkan. Pendekatan ini sangat relevan digunakan dalam proyek konstruksi yang memiliki tingkat ketidakpastian tinggi terhadap durasi pelaksanaan, karena memberikan estimasi yang lebih realistis. Melalui penerapan metode PERT, penanggung jawab proyek dapat memahami rentang waktu penyelesaian secara lebih akurat sekaligus mengidentifikasi potensi keterlambatan yang mungkin terjadi pada aktivitas-aktivitas tertentu.

Nilai TO (*Time Optimistic*) menggambarkan estimasi waktu tercepat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu aktivitas apabila seluruh proses berjalan lancar tanpa hambatan. Sementara itu, nilai TM (*Time Most Likely*) menunjukkan waktu yang paling memungkinkan untuk menyelesaikan aktivitas dalam kondisi normal, dan dapat dianggap sebagai durasi standar dalam pelaksanaan proyek. Sedangkan nilai TP (*Time Pessimistic*) merupakan estimasi waktu terlama yang mungkin dibutuhkan apabila dalam pelaksanaannya terjadi kendala atau hambatan yang memengaruhi jalannya aktivitas. Ketiga estimasi waktu tersebut diperoleh melalui wawancara langsung dengan mentor lapangan dan berdasarkan data historis proyek sebelumnya yang telah dikonsultasikan kepada pihak yang memiliki keahlian di bidangnya. Nilai TO, TM, dan TP dalam penelitian ini disajikan secara lengkap pada Tabel 4. 4

Selain menghitung nilai TO, TM, dan TP, dilakukan pula perhitungan TE (*Time Expected*) dan varians. Nilai TE digunakan untuk mengetahui estimasi waktu penyelesaian aktivitas yang dianggap paling realistis dan efisien, sedangkan varians digunakan untuk mengukur tingkat ketidakpastian dari masing-masing aktivitas dalam proyek. Kedua nilai tersebut dihitung dengan menggunakan data TO, TM, dan TP sebagai dasar perhitungannya. Hasil perhitungan TE dan varians dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4. 5.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai estimasi waktu (TE) dan varians dari setiap aktivitas, diperoleh total estimasi waktu penyelesaian proyek sebesar 139,83 hari dengan total variansi 7,917. Dari nilai variansi tersebut diperoleh simpangan baku sebesar 2,814 hari yang menunjukkan tingkat penyimpangan waktu rata-rata terhadap estimasi penyelesaian proyek. Selanjutnya, dilakukan analisis probabilitas penyelesaian proyek dengan membandingkan antara waktu target penyelesaian yang telah direncanakan perusahaan, yaitu 135 hari, dengan hasil estimasi durasi berdasarkan metode PERT. Dari hasil analisis, diperoleh nilai deviasi normal (Z) sebesar –1,72, yang setelah dikonversi menggunakan tabel distribusi normal menghasilkan probabilitas sebesar 0,0427 atau sekitar 4,27%.

Hasil ini menunjukkan bahwa peluang proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19 dapat diselesaikan tepat waktu hanya sebesar 4,27%. Dengan kata lain, terdapat kemungkinan keterlambatan yang cukup tinggi apabila pelaksanaan proyek tetap mengikuti kondisi normal tanpa dilakukan percepatan. Nilai probabilitas yang rendah ini menandakan bahwa durasi proyek aktual masih berada di luar batas waktu ideal yang diharapkan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penerapan metode *crashing* pada aktivitas-aktivitas yang berada di jalur kritis sebagai strategi percepatan proyek. Pendekatan ini diharapkan dapat mengoptimalkan efisiensi waktu penyelesaian dengan tambahan biaya yang minimal, sehingga keseimbangan antara waktu, biaya, dan kualitas proyek tetap terjaga.

5.3 Analisis Perhitungan *Crashing*

Dalam upaya mempercepat waktu penyelesaian proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19, metode *crashing* diterapkan diterapkan sebagai strategi percepatan yang berfokus pada aktivitas-aktivitas di jalur kritis. Metode ini dilakukan dengan menambahkan sumber daya tertentu seperti alat bantu tambahan, tenaga kerja, jam

lembur, maupun mengubah metode pelaksanaan pekerjaan. Tujuan penerapannya adalah untuk menurunkan total durasi proyek dengan penambahan biaya seminimal mungkin, sehingga proyek tetap selesai sesuai target waktu dan tetap memprioritaskan aspek pengendalian biaya secara optimal.

Analisis *crashing* diawali dengan mengidentifikasi aktivitas pada jalur kritis, lalu membandingkan durasi dan biaya antara kondisi normal dan setelah percepatan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan *cost slope* atau biaya percepatan per hari dengan membagi selisih antara biaya setelah percepatan dan biaya normal terhadap selisih durasi keduanya. Berdasarkan hasil analisis, aktivitas *procure material (pipe, fitting, gasket, bolt n nut)* memiliki durasi normal 22 hari dan biaya Rp. 968,000,000, setelah *crashing* durasinya menjadi 17 hari dengan biaya Rp. 978,300,000. Maka *cost slope* dapat dihitung sebagai berikut:

$$Cost\ Slope = \frac{968{,}000{,}000 - 978{,}300{,}000}{22 - 17} = \frac{10{,}300{,}000}{5} = \text{Rp. } 2{,}060{,}000 \text{ perhari}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, aktivitas pengadaan material utama dipilih sebagai aktivitas yang paling layak untuk dipercepat karena memiliki *cost slope* paling rendah. Efektivitas percepatan terlihat dari keberhasilan pengurangan durasi proyek sebesar lima hari melalui penerapan metode *crashing*. Meskipun terdapat tambahan biaya, nilainya masih dalam batas wajar dan memberikan dampak positif terhadap efisiensi waktu pelaksanaan proyek. Dengan demikian, penambahan biaya yang relatif kecil mampu menghasilkan pengurangan durasi proyek secara signifikan.

Penerapan metode *crashing* pada aktivitas *procure material* dilakukan dengan mengganti sistem pengiriman dari vendor menjadi pengiriman mandiri melalui jasa *freight forwarder*. Strategi ini dipilih karena sistem logistik yang dikelola vendor cenderung kurang fleksibel dan sulit dikendalikan, terutama terkait jadwal keberangkatan serta koordinasi pengiriman. Kondisi tersebut menyebabkan perusahaan tidak memiliki kendali penuh untuk mempercepat proses distribusi apabila terjadi keterlambatan, karena seluruh mekanisme pengiriman bergantung pada pihak vendor. Dengan menggunakan jasa *freight forwarder*, perusahaan dapat menyusun jadwal pengiriman secara lebih terstruktur, memilih moda transportasi yang lebih cepat, serta melakukan koordinasi langsung apabila muncul hambatan di lapangan. Selain mempercepat aktivitas pengadaan

material, langkah ini juga berkontribusi terhadap percepatan aktivitas lain yang saling bergantung, sehingga total durasi proyek dapat dikurangi secara efektif.

Dengan penerapan metode *crashing* ini, durasi proyek yang sebelumnya berlangsung selama 140 hari berhasil dipercepat menjadi 135 hari, sesuai dengan target perencanaan awal. Selain itu, proyek juga dapat terhindar dari potensi denda keterlambatan sebesar Rp. 209,055,511 apabila pekerjaan tidak selesai tepat waktu. Berdasarkan hasil tersebut, metode *crashing* tidak hanya memberikan manfaat dari sisi percepatan teknis pelaksanaan proyek, tetapi juga menjadi pendekatan pengendalian waktu dan biaya yang tepat dan terukur. Oleh karena itu, percepatan aktivitas pengadaan material melalui metode ini merupakan keputusan strategis dalam menjamin ketepatan waktu dan efisiensi pelaksanaan proyek secara keseluruhan.

5.4 Analisis Perbandingan Biaya

Setelah dilakukan perhitungan dengan metode *crashing*, langkah selanjutnya adalah menganalisis dampak finansial dari penerapan percepatan terhadap biaya proyek secara menyeluruh. Tujuan dari analisis ini adalah untuk membandingkan antara total biaya proyek aktual, total biaya yang timbul akibat keterlambatan, serta total biaya setelah dilakukan *crashing*. Perbandingan ini memberikan gambaran mengenai efektivitas metode *crashing* dalam meningkatkan efisiensi anggaran dan mencegah potensi kerugian akibat keterlambatan proyek.

Berdasarkan hasil perhitungan, total biaya proyek dalam kondisi normal adalah sebesar Rp. 4,181,110,227. Apabila proyek mengalami keterlambatan selama lima hari, sesuai ketentuan kontrak akan dikenakan penalti sebesar Rp. 209,055,511. Maka, total biaya proyek yang harus ditanggung jika tidak dilakukan percepatan menjadi Rp. 4,390,165,739. Sementara itu, setelah dilakukan *crashing*, total biaya proyek sebesar Rp. 4,191,410,227 atau mengalami penambahan sebesar Rp. 10,300,000 dari biaya proyek awal akibat penyesuaian pada aktivitas yang dipercepat.

Selisih antara total biaya proyek yang ditanggung tanpa percepatan dan ditambah penalti dengan total biaya proyek setelah *crashing* menunjukkan adanya penghematan biaya sebesar Rp. 198,755,511. Perbandingan tersebut dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 4. 8. Hasil ini membuktikan bahwa metode *crashing* tidak hanya mempercepat waktu penyelesaian proyek dari 140 hari menjadi 135 hari, tetapi juga menghasilkan efisiensi biaya yang signifikan. Dengan demikian, strategi percepatan melalui metode

crashing terbukti efektif baik dari sisi teknis maupun finansial, serta dapat dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan pada proyek sejenis di masa mendatang.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor penyebab keterlambatan proyek berhasil diidentifikasi melalui metode *Fishbone Diagram*, yang mencakup enam kategori utama, yaitu; *man* (keterbatasan tenaga ahli dan koordinasi), *machine* (kurangnya alat berat dan kerusakan peralatan), *material* (keterlambatan pengadaan dan ketidakefisienan sistem logistik), *method* (kurangnya evaluasi terhadap metode pelaksanaan), *measurement* (pengawasan proyek tidak *realtime* dan belum ada sistem peringatan dini), dan *environment* (lokasi terpencil, cuaca ekstrem, dan kurangnya pengawasan). Keenam kategori tersebut saling berkaitan dan menjadi penyebab keterlambatan proyek dari rencana 135 hari menjadi 140 hari.
2. Berdasarkan analisis *critical path* dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), diperoleh 14 aktivitas kritis dengan urutan 1–2–3–5–7–9–10–11–12–13–14–15–16–17, yang seluruhnya memiliki nilai *slack* = 0, sehingga keterlambatan pada salah satu aktivitas akan langsung berdampak pada total durasi proyek. Hasil perhitungan PERT menunjukkan estimasi waktu penyelesaian proyek (TE) sebesar 139,83 hari dengan simpangan baku 2,814 hari dan peluang penyelesaian tepat waktu (135 hari) hanya 4,27%. Hal ini menunjukkan proyek memiliki risiko keterlambatan tinggi, sehingga diperlukan penerapan metode *crashing* untuk mengoptimalkan waktu penyelesaian proyek.
3. Metode *crashing* diterapkan sebagai strategi percepatan pada aktivitas pengadaan material utama (*pipe, fitting, gasket, bolt & nut*), yang dipilih karena memiliki nilai *cost slope* paling rendah, yaitu Rp. 2,060,000 per hari. Percepatan dilakukan melalui penggantian metode pengiriman material dari sistem *vendor* ke penggunaan *freight forwarder* yang lebih fleksibel dan terkontrol. Hasil *crashing* menunjukkan percepatan durasi proyek dari 140 hari menjadi 135 hari dengan tambahan biaya sebesar Rp. 10,300,000. Namun, nilai ini tetap lebih rendah dibandingkan potensi biaya akibat penalti keterlambatan sebesar Rp. 209,055,511, sehingga menghasilkan

penghematan biaya sebesar Rp. 198,755,511. Dengan demikian, *crashing* terbukti efektif sebagai strategi percepatan proyek yang efisien dari sisi waktu dan biaya.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan berbagai temuan selama proses penyusunan tugas akhir, berikut beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya:

1. Penelitian ini masih terbatas pada satu studi kasus, yaitu proyek pembangunan *flowline* sumur minyak T-19. Untuk memperluas kontribusi terhadap pengembangan ilmu Teknik Industri, disarankan agar penelitian selanjutnya dilakukan pada proyek konstruksi lain dengan karakteristik yang berbeda agar diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai penerapan metode manajemen waktu dan biaya.
2. Metode *crashing* yang digunakan dalam penelitian ini belum dikaitkan secara langsung dengan pendekatan analisis risiko. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan metode *crashing* dengan analisis risiko seperti *Risk Assessment* atau *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) agar dapat mempertimbangkan dampak risiko dari aktivitas yang dipercepat secara lebih menyeluruh.
3. Permasalahan logistik menjadi salah satu penyebab utama keterlambatan proyek, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai alternatif metode logistik secara lebih detail. Pemanfaatan jasa *freight forwarder* yang dilengkapi sistem pelacakan digital (*digital tracking system*) dapat dianalisis sebagai strategi distribusi material yang lebih adaptif, terutama untuk proyek yang berlokasi di wilayah terpencil atau dengan akses terbatas.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Haris. (2019). Implementasi Metode PERT dan CPM pada Sistem Informasi Manajemen Proyek Pembangunan Kapal. Dalam *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika* (Vol. 28, Nomor 1).

Abuhasel, K. (2023). Sustainable Green City Development Project Analysis using the Critical Path Method (CPM) and the Crashing Project Method on Time and Cost Optimization. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, *13*(3), 10973–10977. https://doi.org/10.48084/etasr.5980

Alan Muin, O. E. (2022). Analisis Jalur Kritis Penjadwalan Proyek Dengan Metode Critical Path Method (CPM) Menggunakan Aplikasi Microsoft Project Pada Masa Pandemi Covid-19 (Studi Kasus Pembangunan Gedung Kuliah Universitas Muhammadiyah Lamongan). *Jurnal Extrapolasi*, *19*(1).

Ardiansyah, I. S., Rizal, M. C., & Erawati, I. (2024). Manajemen Proyek Sistem Perpipaan Pastillator Plant Menggunakan Metode PERT. *Proceedings of National Conference on Piping Engineering and Its Application*, *9*(1).

Ari, S. R., & Rarasanti, D. (2023). Analysis Of Project Time And Cost Control With CPM, PERT And Crashing Porject Methods In Shop Building Projects At CV. Mentari Permai. *Scientific Journal Of Reflection*, *6*.

Astawa, I. W. Y., Tastrawati, N. K. T., & Harini, L. P. I. (2020). Waktu Penyelesaian Proyek Kontruksi Menggunakan Precedence Diagram Method Dan Line Of Balance. *E-Jurnal Matematika*, *9*(3), 190. https://doi.org/10.24843/mtk.2020.v09.i03.p298

Athira, N. R., Andris, D. A. M., & Khoiroh, S. M. (2021). Crashing Project Evaluation by Managing Allocation Resource and Cost using CPM-PERT and MS,Project in Nurul Hayat Mosque's Renovation. *Tibuana*, *4*(02), 69–82. https://doi.org/10.36456/tibuana.4.02.3770.69-82

Aulia, S., & Cipta, H. (2023). Network Planning Analysis Using CPM and PERT Methods on Optimization of Time and Cost. *Sinkron*, *8*(1), 171–177. https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i1.11961

Clara Aprillia, S., & Qurrota, Q. A. (2023). Optimalisasi Biaya dan Waktu Pelaksanaan Pembangunan rumah tinggal di Kecamatan Rantau Pulung Kutai Timur menggunakan Critical Path Method (CPM) dan Program Evaluation and Review Technique (PERT). *Jurnal Ilmiah Matematika*, *2*(1), 11–24. http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/Basis

Dwiguna, J. A., Sukmadewi, R., & Haryanto, V. D. (2024). Peran Jasa Freight Forwarder Dalam Menunjang Kesuksesan Aktivitas Ekspor Melalui Transportasi Laut di Indonesia. *Jurnal Lentera Bisnis*, *13*(2). https://doi.org/10.34127/jrlab.v13i2.1131

Farida, Y., & Anenda, L. P. (2022). Network Planning Analysis on Road Construction Projects by CV. X Using Evaluation Review Technique (PERT) – Critical Path Method (CPM) and Crashing Method. *International Journal of Integrated Engineering*, *14*(4), 377–390. https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.04.029

Ganesstri Padma, A., & Nia Budi, P. (2017). Perencanaan Manajemen Proyek Dalam Meningkatkan Efisiensi dan Efektivitas Sumber Daya Perusahaan (Studi Kasus : Qiscus Pte Ltd). *Jurnal Teknik Industri*, *12*(3).

Hadicara, D., Rochim, A., & Pratikso. (2023). Penggunaan Metode PERT dan CPM dalam Proyek Pembangunan Jalan. *PONDASI*, *28*.

Hendriyani, I., Kencanawati, M., & Vizay Darmawan, M. (2023). Penerapan Metode CPM Dan PERT Pada Penjadwalan Proyek Pemasangan Pipa di Perumahan Graha Wiyata Asri Balikpapan. *Jurnal Transukma*, *5*(3).

Husain, J. R., Nurwaskito, A., & Syahril, M. (2023). Analisis Penentuan Kedalaman Penanaman Pipa Flowline Untuk Mencegah Terjadinya Upheaval Buckling. *Journal of Engineering Science and Technology Applications*, *1*(1), 1–4. https://doi.org/10.58227/jesta.v1i1.68

Husna, R. A., Ilmiyah, N. F., & Resti, N. C. (2022). Implementasi CPM dan PERT dalam Memprediksi Durasi serta Biaya Pembangunan Musala Al-Ikhlas di Kotawaringin Barat. *Journal Focus Action of Research Mathematic (Factor M)*, *5*(1), 97–109. https://doi.org/10.30762/f_m.v5i1.633

Iluk, T., Ridwan, A., & Winarto, S. (2020). Penerapan Metode CPM dan PERT Pada Gedung Parkir 3 Lantai Grand Pannglima Polim Kediri. *JURMATEKS*, *3*. https://doi.org/10.30737/jurmateks

Irianie, Y. (2011). Efektifitas Dan Efisiensi Penerapan Sistem Manajemen Kontruksi Dalam Proses Pembangunan Industri Kontruksi. *INFO TEKNIK*, *12*(2).

Kuswanto, A., & Tahira Shalshabila, O. (2025). Project Planning Analysis with the Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT): Study on the Development of Facilities and Infrastructure of SMK Negeri 1 Garut (DOOM). *Indonesian Journal of Social Technology*, *6*(1), 416. http://jist.publikasiindonesia.id/

Lestari, L., Suseno, A., & Sunakalis, G. C. (2022). Penerapan Metode Project Evaluation and Review Technique (PERT) dan Critical Path Method (CPM) terhadap Pembangunan Gedung. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, *6*(1).

Maddeppungeng, A., Asyiah, S., Intari, D. E., Ujianto, R., Damanik, M. F., & Ashidiq, A. T. (2024). Analysis of Time and Cost Acceleration with Crashing Method on Apartment Construction Project in Bekasi City. *Jurnal Teknik Sipil*, *13*, 237–248. https://doi.org/10.36055/fondasi

Messah, Y. A., Berelaku, D. C. S., & Ramang, R. (2023). Perbandingan Penambahan Waktu Kerja Dan Penambahan Tenaga Kerja Terhadap Biaya Pelaksanaan Proyek. *Jurnal Teknik Sipil*, *12*(2).

Milasari, Fitriah, & Prima Mangiri, A. A. (2021). Tinjauan Manajemen Waktu Menggunakan Metode Activity On Node (AON) (Studi Kasus: Gedung Ruang Tunggu Terminal Type A Baruga). *Jurnal Media Konstruksi*, *06*(2). http://lib.itenase.ac.id,

Muhammad, A., Kurniawan, B., Mufidah, A. P., Michael, L. D., & Pakarbudi, A. (2021). Analisa Jalur Kritis Pada Penjadwalan Proyek Pengembangan Sistem Informasi Menggunakan Teknik Critical Path Method (CPM) (Studi Kasus : PT. XYZ). *Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*.

Putri, A. R., & Sarya, G. (2023). Analisis Waktu Dan Biaya Pada Pembangunan Saluran Drainase Jalan Betek-Senganten Gondang Bojonegoro Menggunakan Metode Time Cost Trade Off. *Jurnal Teknik Sipil*, *8*(2).

Putri, D. C., Witjaksana, B., & Tjendani, H. T. (2024). Cost Analysis With Crash Program Of Kerobokan Parking Lot Building Bali. *International Journal Science and Technology*, *ISSN*(2), 56–70. https://doi.org/10.56127/ijst.v

Risman, M., & Alfa, A. (2019). Analisa Manajemen Waktu Penjadwalan Proyek Kontruksi Pembangunan Dermaga Menggunakan Metode Activity On Node (AON) (Studi Kasus Pembangunan Dermaga Desa Pulau Burung Kecamatan Pulau Burung Kabupaten Indragiri Hilir Tahun Anggaran 2018). *Selodang Mayang*, *5*(2).

Rodhi, N. N., & Sari, A. K. R. (2024). Perencanaan Manajemen Proyek Dalam Meningkatkan Efektifitas Kinerja Sumber Daya Manusia Di Bojonegoro. *Dearsip*, *4*(1).

Sa'adah, N., Iqrammah, E., & Rijanto, T. (2021). Evaluasi Proyek Pembangunan Gedung Stroke Center (Paviliun Flamboyan) Menggunakan Metode Critical Path Method (CPM) Dan Crashing. *Proteksi*, *3*(2).

Setiawan, B. B. (2021). Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade (TCTO) Pada Proyek Pembangunan Gedung Di Jakarta. *Konstruksia*, *4*(1).

Sinaga, R., Simanjuntak, P., & Setiyadi. (2021). Analisis Dan Penerapan Metode Line Of Balance Pada Proyek Repetitif (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kementrian Keuangan Bandar Lampung). *Journal CENTECH*, *2*(2).

Sofia, D. A., Rahman, I. L., & Yusdinar, H. (2021). Studi Kasus Analisis Manajemen Waktu dengan Metode Activity On Node pada Pembangunan Jalan Akses Docking. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, *6*(2). https://doi.org/10.31544/jtera.v6.i2.2021.321-328

Sugiarta, T. (2022). Analisis Penjadwalan Proyek Remote Terminal Unit dengan Penerapan Metode CPM dan PERT di PT. XYZ. *JIEMS (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, *14*(2). https://doi.org/10.30813/jiems.v14i2.2601

Sulianta, F. (2024). Diagram Fishbone untuk Berbagai Kebutuhan. *researchgate.net*. https://www.researchgate.net/publication/385503999

Tamalika, T., Maryadi, D., Mz, H., Fuad, I. S., & Alamsyah, M. N. (2022). Analisis Penjadwalan Ulang Proyek Power House pada Rumah Sakit dengan Metoda PERT, CPM dan Fishbone Diagram (Studi Kasus Pada Kontraktor Di Kota Palembang). *Prosiding Seminar Nasional Mercu Buana Conference on Industrial Engineering*, *4*, 164–172.

LAMPIRAN

DATA BIAYA PELAKSANAAN PROYEK

SEWA PERALATAN FABRIKASI PIPE SUPPORT	Qty	Hari	Harga	Total
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Alat Berat (Foco Crane, min kap. 50 ton)	1	2.00	4,600,000	9,200,000
2. Sewa Air Compressor, kap. Min. 250 hp	1	6.00	3,450,000	20,700,000
3. Sewa Kendaraan Operasional (4WD, double cabin, min. th 2019)	1	10.00	977,500	9,775,000
4. Genset 50 Kva	1	10.00	1,500,000	15,000,000
5. Mesin Las	2	10.00	500,000	10,000,000
Total Biaya Sewa Alat				64,675,000

B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI	Qty	Hari	Harga	Total
1. Mobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
2. Demobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
Total Biaya Sewa Alat				24,000,000

SEWA PERALATAN PEKERJAAN BLASTING PAINTING	Qty	Hari	Harga	Total
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Alat Berat (Foco Crane, min kap. 50 ton)	1	2.00	4,600,000	9,200,000
2. Sewa Mesin Blasting/Sand Blasting Unit	2	4.00	2,000,000	16,000,000
3. Sewa Alat Painting/Operasi Airless Spray	2	4.00	1,000,000	8,000,000
4. Sewa Air Compressor, kap. Min. 250 hp	1	8.00	3,450,000	27,600,000
5. Sewa Kendaraan Operasional (4WD, double cabin, min. th 2019)	1	10.00	977,500	9,775,000
6. Genset 50 Kva	1	10.00	1,500,000	15,000,000
Total Biaya Sewa Alat				85,575,000

B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI	Qty	Hari	Harga	Total
1. Mobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
2. Demobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
Total Biaya Sewa Alat				24,000,000

SEWA PERALATAN PENGGALIAN AREA STREAM LINE	Qty	Hari	Harga	Total
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Excavator	1	2.00	4,600,000	9,200,000
2. Sewa Kendaraan Operasional (4WD, double cabin, min. th 2019)	1	7.00	977,500	6,842,500
3. Sewa Dump Truck	1	2.00	1,500,000	3,000,000
Total Biaya Sewa Alat				19,042,500

B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI	Qty	Hari	Harga	Total
1. Mobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
2. Demobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
Total Biaya Sewa Alat				24,000,000

SEWA PERALATAN INSTALLASI PIPE SUPPORT	Qty	Hari	Harga	Total
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Alat Berat (Foco Crane, min kap. 50 ton	1	2.00	4,600,000	9,200,000
2.Sewa Kendaraan Operasional (4WD, double cabin, min. th 2019)	1	7.00	977,500	6,842,500
3. Genset 50 Kva	1	7.00	1,500,000	10,500,000
4. Mesin Las	2	7.00	500,000	7,000,000
Total Biaya Sewa Alat				33,542,500

B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI	Qty	Hari	Harga	Total
1. Mobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
2. Demobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
Total Biaya Sewa Alat				24,000,000

Drawing 1				
MOBILISASI, DEMOBILISASI, & SEWA PERALATAN	**Qty**	**Hari**	**Harga**	**Total**
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Alat Berat (Foco Crane, min kap. 50 ton	1	12.00	4,600,000	55,200,000
2. Sewa Pompa (kap. Min. 50 gpm, min rage pres. 0 - 2000 psi	1	15.00	1,150,000	17,250,000
3. Sewa Air Compressor, kap. Min. 250 hp	2	30.00	3,450,000	207,000,000
4. Sewa Kendaraan Operasional (4WD, double cabin, min. th 2019)	3	53.00	977,500	155,422,500
5. Genset 50 Kva	1	53.00	1,500,000	79,500,000
6. Mesin Las	4	53.00	500,000	106,000,000
B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI				
1. Mobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	34,500,000
2. Demobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	34,500,000
3. Mobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
4. Demobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
Total Biaya Sewa Alat				**713,372,500**

Drawing 2				
MOBILISASI, DEMOBILISASI, & SEWA PERALATAN	**Qty**	**Hari**	**Harga**	**Total**
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Alat Berat (Foco Crane, min kap. 50 ton	1	6.00	4,600,000	27,600,000
2. Sewa Pompa (kap. Min. 50 gpm, min rage pres. 0 - 2000 psi	1	8.00	1,150,000	9,200,000
3. Sewa Air Compressor, kap. Min. 250 hp	2	16.00	3,450,000	110,400,000
4. Sewa Kendaraan Operasional (4WD, double cabin, min. th 2019)	3	19.00	977,500	55,717,500
5. Genset 50 Kva	1	19.00	1,500,000	28,500,000
6. Mesin Las	4	19.00	500,000	38,000,000
Total Biaya Sewa Alat				**269,417,500**

B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI	**Qty**	**Hari**	**Harga**	**Total**
1. Mobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	8,625,000
2. Demobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	8,625,000
3. Mobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
4. Demobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
Total Biaya Sewa Alat				**41,250,000**

Drawing 3				
MOBILISASI, DEMOBILISASI, & SEWA PERALATAN	**Qty**	**Hari**	**Harga**	**Total**
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Alat Berat (Foco Crane, min kap. 50 ton	1	3.00	4,600,000	13,800,000
2. Sewa Pompa (kap. Min. 50 gpm, min rage pres. 0 - 2000 psi	1	4.00	1,150,000	4,600,000
3. Sewa Air Compressor, kap. Min. 250 hp	2	8.00	3,450,000	55,200,000
4. Sewa Kendaraan Operasional (4WD, double cabin, min. th 2019)	3	11.00	977,500	32,257,500
5. Genset 50 Kva	1	11.00	1,500,000	16,500,000
6. Mesin Las	4	11.00	500,000	22,000,000
Total Biaya Sewa Alat				**144,357,500**

B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI	**Qty**	**Hari**	**Harga**	**Total**
1. Mobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	8,625,000
2. Demobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	8,625,000
3. Mobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
4. Demobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
Total Biaya Sewa Alat				**41,250,000**

Drawing 4				
MOBILISASI, DEMOBILISASI, & SEWA PERALATAN	**Qty**	**Hari**	**Harga**	**Total**
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Alat Berat (Foco Crane, min kap. 50 ton	1	4.00	4,600,000	18,400,000
2. Sewa Pompa (kap. Min. 50 gpm, min rage pres. 0 - 2000 psi	1	5.00	1,150,000	5,750,000
3. Sewa Air Compressor, kap. Min. 250 hp	2	10.00	3,450,000	69,000,000
4. Sewa Kendaraan Operasional (4WD, double cabin, min. th 2019)	3	12.00	977,500	35,190,000
5. Genset 50 Kva	1	12.00	1,500,000	18,000,000
6. Mesin Las	4	12.00	500,000	24,000,000
Total Biaya Sewa Alat				**170,340,000**

B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI	**Qty**	**Hari**	**Harga**	**Total**
1. Mobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	8,625,000
2. Demobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	8,625,000
3. Mobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
4. Demobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
Total Biaya Sewa Alat				**41,250,000**

Drawing 5

MOBILISASI, DEMOBILISASI, & SEWA PERALATAN	Qty	Hari	Harga	Total
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Alat Berat (Foco Crane, min kap. 50 ton	1	4.00	4,600,000	18,400,000
2. Sewa Pompa (kap. Min. 50 gpm, min rage pres. 0 - 2000 psi	1	5.00	1,150,000	5,750,000
3. Sewa Air Compressor, kap. Min. 250 hp	2	10.00	3,450,000	69,000,000
4. Sewa Kendaraan Operasional (4WD, double cabin, min. th 2019)	3	12.00	977,500	35,190,000
5. Genset 50 Kva	1	12.00	1,500,000	18,000,000
6. Mesin Las	4	12.00	500,000	24,000,000
Total Biaya Sewa Alat				170,340,000

B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI	Qty	Hari	Harga	Total
1. Mobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	8,625,000
2. Demobilisasi Tenaga Kerja	1	30.00	1,150,000	8,625,000
3. Mobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
4. Demobilisasi Alat Berat beserta Perlengkapan	1	2.00	6,000,000	12,000,000
Total Biaya Sewa Alat				41,250,000

SEWA PERALATAN NDT (Non-Destructive Testing)	Qty	Hari	Harga	Total
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Alat Ultrasonic Test (UT)	1	4.00	2,000,000	8,000,000
2. Sewa Alat Penetrant Test (PT)	1	4.00	1,000,000	4,000,000
3. Sewa Alat Magnetic Particle (MT)	1	4.00	1,250,000	5,000,000
4. Sewa Genset 50 Kva	1	4.00	1,500,000	6,000,000
5. Kendaraan Operasional (4WD)	1	4.00	977,500	3,910,000
6. Kamera Inspeksi / Digital Scope	1	4.00	600,000	2,400,000
Total Biaya Sewa Alat				29,310,000

SEWA PERALATAN PIGGING	Qty	Hari	Harga	Total
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Sewa Pig Launcher & Receiver	1	2.00	2,500,000	5,000,000
2. Sewa Unit Pig (foam/brush/scraper)	2	2.00	1,500,000	6,000,000
3. Sewa Air Compressor, kap. Min. 250 hp	1	2.00	3,450,000	6,900,000
4. Sewa Pompa Air Tekanan	1	2.00	1,150,000	2,300,000
5. Genset 50 Kva	1	2.00	1,500,000	3,000,000
6. Sewa Kendaraan Operasional	1	2.00	977,500	1,955,000
Total Biaya Sewa Alat				25,155,000

SEWA PERALATAN UJI HIDROSTATIK (Hydrotest)	Qty	Hari	Harga	Total
A. SEWA PERALATAN DAN TRANSPORTASI				
1. Water Pump Pressure Test	1	4.00	2,500,000	10,000,000
2. Pressure Gauge Digital	1	4.00	500,000	2,000,000
3. Flexible Hose (High Pressure)	1	4.00	1,000,000	4,000,000
4. Water Tank (1.000 liter)	2	4.00	300,000	2,400,000
5. Relief Valve dan Check Valve	1	4.00	250,000	1,000,000
6. Pressure Recorder Manual/ Digital	1	4.00	600,000	2,400,000
7. Sewa Kendaraan Operasional	1	4.00	977,500	3,910,000
Total Biaya Sewa Alat				25,710,000

B. MOBILISASI DAN DEMOBILISASI	Qty	Hari	Harga	Total
1. Mobilisasi Sewa Alat beserta Perlengkapan	1	2.00	1,000,000	2,000,000
2. Demobilisasi Sewa Alat beserta Perlengkapan	1	2.00	1,000,000	2,000,000
Total Biaya Sewa Alat				4,000,000

DOKUMENTASI







