

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki sekitar 17.000 pulau dan garis pantai sepanjang 81.000 kilometer, Pemerintah Republik Indonesia menempatkan industri perkapalan sebagai salah satu sektor industri prioritas untuk dikembangkan. Berdasarkan data kementerian perindustrian Republik Indonesia, sepanjang tahun 2019-2021 sebanyak 473 unit kapal yang dibangun di dalam negeri dengan proporsi terbesar ialah *Barge* (274 unit) dan *Tug* (100 unit). Selanjutnya, periode Januari – Agustus 2022, terdapat 363 permohonan pembangunan kapal baru di kalangan kapal dalam negeri.

Barge atau tongkang adalah suatu jenis kapal dengan lambung datar atau suatu kotak besar yang mengapung, dirancang khusus untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar baik *wet cargo* maupun *dry cargo* seperti kayu, batu bara, pasir, minyak, dan lainnya dan ditarik dengan kapal tunda (*tugboat*). Berbeda dengan kapal pada umumnya, *barge* tidak memiliki sistem pendorong (*propulsi*) (Prayogo & Kurniawati, 2018).

Dalam konteks proyek pembangunan kapal, manajemen proyek yang tepat diperlukan untuk memastikan proyek dapat diselesaikan tepat waktu sesuai dengan target perusahaan. Dalam menjalankan sebuah proyek, tentu saja ada hal yang ingin dicapai oleh pihak perusahaan atau galangan kapal. Dimana perusahaan tentu mengharapkan ketepatan jadwal mulai dari awal pembangunan hingga selesainya pembangunan proyek tersebut. Namun, jika tujuan tersebut tidak tercapai akan menimbulkan kerugian bagi pihak galangan kapal maupun *owner*.

Keterlambatan dalam pekerjaan kapal banyak disebabkan oleh beberapa faktor. Misalnya, keterlambatan *supply* material, pengaruh cuaca, jumlah pekerja yang terbatas, fasilitas galangan yang belum memadai, dan lainnya (Wahyuningsih, et al., 2023). Berbagai metode yang dapat digunakan untuk menganalisis permasalahan keterlambatan proyek dan juga penjadwalan ulang. Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis keterlambatan proyek pembangunan dalam penelitian ini adalah *Fault Tree Analysis* (FTA). FTA adalah metode yang digunakan untuk menganalisis penyebab utama dari suatu kejadian atau masalah yang tidak diinginkan dalam suatu sistem (Il, 2005). Sedangkan untuk penjadwalan ulang (*rescheduling*) dalam penelitian ini digunakan metode *Critical Path Method* (CPM). CPM adalah metode analisis jadwal proyek yang digunakan untuk menentukan jalur kritis dalam proyek. Jalur kritis yaitu jalur yang memiliki rangkaian komponen-komponen kegiatan dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek yang tercepat (Soeharto, 1999).

Berdasarkan data perusahaan, proyek pembangunan *Deck Cargo Barge* 250x80x14 ft pada PT. XYZ direncanakan selesai dalam kurun waktu 5 bulan. Namun yang terjadi

di lapangan, kegiatan proyek pembangunan mengalami keterlambatan sehingga proyek tersebut *delay* dan rampung dalam waktu kurang lebih 7 bulan 25 hari. Untuk meminimalisir terjadinya keterlambatan proyek, diperlukan analisis faktor-faktor penyebab keterlambatan proyek pembangunan *deck cargo barge*. Disamping itu, perlu dilakukan penjadwalan ulang sehingga nantinya didapatkan alternatif yang digunakan untuk mempercepat proyek pembangunan *deck cargo barge* 250x80x14 ft.

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul “ Analisis Keterlambatan dan Penjadwalan Ulang Proyek Pembangunan *Deck Cargo Barge* 250x80x14 ft”.

1.2 Tahapan Pembangunan Kapal

Membangun sebuah kapal bukanlah hal yang mudah, dibutuhkan perencanaan dalam pembuatannya baik dari segi biaya, waktu, dan pekerja (*man*). Menurut (Jahidin, 2014) agar waktu pembuatan kapal dapat berjalan sesuai dengan kontrak bahkan kurang dari waktu kontrak yang disepakati maka sebuah kapal dibangun dengan mengikuti standar dalam proses pembuatan kapal. Berikut gambaran umum standar dalam tahapan pembuatan sebuah kapal seperti terlihat pada Gambar (1) sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan pembangunan kapal
Sumber: <https://cyberships.files.wordpress.com/>

1. Tender

Proses ini merupakan kegiatan awal dimana pemilik kapal (*owner*) membuka penawaran umum kepada perusahaan galangan yang akan mengerjakan proyek pembangunan kapal. Dimana perusahaan galangan yang dianggap mampu untuk melaksanakan proyek pembangunan akan dipilih oleh pemilik kapal. Proses tender ini penting untuk memastikan bahwa pembangunan kapal dilakukan dengan efisien, transparan, dan memberikan hasil yang berkualitas sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan.

2. Kontrak

Setelah tender dipilih, kontrak pembangunan kapal akan dibuat. Kontrak kerjasama yang berisi perjanjian yang telah dibuat dan disepakati antara perusahaan galangan kapal (*builder*) dan pemilik kapal (*owner*).

3. Persiapan galangan

Pihak galangan yang telah menandatangani kontrak akan membuat perencanaan kerja berdasarkan kontrak, menentukan waktu puncak penyelesaian, lalu dihitung mundur untuk mendapatkan waktu ideal untuk segera memulai proses produksi. Persiapan galangan merupakan langkah yang menentukan kelancaran seluruh proses pembangunan kapal.

4. Desain

Selanjutnya dilakukan desain awal (*preliminary design*) yang merupakan pekerjaan pengulangan dari kapal sejenis yang pernah dibangun (*repeated order*). Rancangan pengulangan ini tidak sepenuhnya mengikuti rancangan lama, namun dilakukan perubahan dan penambahan sehingga dapat memenuhi seluruh kriteria yang ditetapkan oleh pemilik kapal (*owner*). Pekerjaan utama pada tahap ini adalah pembuatan *key plan*, *detail plan*, dan *production drawing plan*.

5. Fabrikasi

Fabrikasi adalah tahap awal dalam proses produksi pembangunan kapal (*steel construction*) dengan memproduksi komponen penyusun struktur kapal. Proses fabrikasi memerlukan ketelitian yang tinggi dan dilakukan oleh tim profesional seperti pekerja fabrikasi kapal, insinyur, teknisi untuk memastikan kapal dibangun sesuai standar dengan kualitas yang baik.

6. Assembly

Proses selanjutnya yaitu *assembly*, semua material yang telah difabrikasi selanjutnya dirakit menjadi blok yang lebih besar yang kemudian akan disatukan untuk membentuk struktur kapal. Proses *assembly* kapal merupakan tahap krusial dalam pembangunan kapal dan memerlukan koordinasi dari berbagai tim dalam proses pembangunan kapal karena akan berdampak pada kualitas dan keselamatan kapal.

7. Peletakan lunas (*keel laying*)

Keel laying merupakan kegiatan *ceremonial* yang dilakukan pada setiap proyek pembangunan kapal sesuai dengan ketentuan *owner* dan kesepakatan kontrak yang telah ditandatangani. *Keel laying* merupakan kegiatan peletakan lunas dalam proses pembangunan kapal.

8. Erection

Erection adalah proses penggabungan antar blok yang telah dirakit sampai menjadi bentuk badan kapal pada *building berth* dengan posisi tegak dengan menggunakan *crane*.

9. Peluncuran (*launching*)

Proses peluncuran dilakukan setelah *erection* dan struktur fisik kapal tercapai, termasuk lambung kapal dan bangunan atas (*superstructure*), telah dilakukan pemeriksaan *Radiographic Test* (RT) atau *x-ray* dan pemeriksaan kebocoran (*leak test*) telah selesai dilakukan sesuai dengan ketentuan badan kalsifikasi. Pekerjaan konstruksi yang tersisa kemudian diselesaikan dalam keadaan terapung di atas permukaan air.

10. *Outfitting finishing*

Setelah kapal berhasil diluncurkan, selanjutnya pemasangan alat-alat perlengkapan yang belum sempat terpasang ketika kapal masih berada di darat antara lain pemasangan sistem navigasi dan komunikasi, pemasangan sistem kelistrikan, pemasangan sistem perpipaan dan lain-lain.

11. Pengujian (test)

Pengujian (*test*) ini dikenal dengan *Inspection Test Plan* (ITP) dibuat dan disetujui oleh badan klasifikasi (*class*) beserta pemilik kapal (*owner*). ITP terdiri dari *material inspection*, *dock trial*, *sea trial*, *inclining test* dimana hasil dari pengujian ini akan digunakan untuk menentukan apakah kapal siap untuk dioperasikan atau masih perlu perbaikan atau penyesuaian tambahan.

12. Persetujuan Kelas dan Sertifikasi (class approval and certification)

Setelah melakukan pengujian dan kapal dinyatakan telah memenuhi semua persyaratan yang ditetapkan dan disetujui oleh badan klasifikasi (*class*), selanjutnya dibuatkan penggambaran akhir sesuai pembangunan (*as built drawings*) untuk memperoleh sertifikat class dan sebagainya serta memperoleh persetujuan badan klasifikasi tersebut.

13. Delivery

Delivery merupakan tahap akhir dalam pembangunan kapal, Proses ini melibatkan penandatanganan dokumen serah terima dan biasanya diikuti dengan upacara penyerahan kapal. Serah terima kapal dilakukan ditempat sesuai yang ditetapkan dalam kontrak. Serah terima dilaksanakan sesuai rencana dalam jadwal pelaksanaan pekerjaan (*time schedule*).

1.3 Manajemen Proyek

Manajemen adalah proses perencanaan, pengorganisasian, pengkoordinasian, dan pengontrolan sumber daya untuk mencapai tujuan secara efektif dan efisien. Sedangkan proyek adalah usaha atau bisnis yang sifatnya sementara dari waktu awal pekerjaan ditetapkan. Manajemen proyek adalah proses menggabungkan alat, sumber daya, dan teknik untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Kegiatan manajemen proyek meliputi perencanaan, organisasi, implementasi dan kontrol. Manajemen proyek mencakup berbagai proses, teknik, dan alat yang digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meminimalkan risiko dalam proyek. Tujuan dari manajemen proyek adalah untuk mencapai hasil yang optimal dalam hal waktu, biaya, dan kualitas (Ronald Belferik, et al., 2023).

Dalam manajemen proyek terdapat batasan-batasan mengenai tugas, wewenang, dan tanggung jawab dari berbagai pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam suatu proyek, serta tugas dan tanggung jawab tidak terjadi secara bersamaan (tumpang tindih). Diperlukan koordinasi yang baik dari berbagai tim agar dapat mencapai tujuan akhir proyek sesuai jadwal yang telah direncanakan.

1.4 Keterlambatan Proyek

Dalam pelaksanaan proyek konstruksi banyak hal yang dapat menyebabkan bertambahnya waktu pelaksanaan dan penyelesaian proyek menjadi terlambat.

Penyebab keterlambatan yang sering terjadi adalah akibat terjadinya perbedaan kondisi lokasi, perubahan desain, pengaruh cuaca, kurang terpenuhinya kebutuhan pekerja/karyawan, material atau peralatan, kesalahan perencanaan atau spesifikasi, dan pengaruh keterlibatan pemilik proyek (*owner*) (Frederika, 2010).

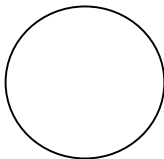
1.5 Fault Tree Analysis (FTA)

Untuk menganalisis penyebab keterlambatan dari proyek pembangunan *deck cargo barge* 250x80x14 ft dapat digunakan beberapa metode yakni *fault tree analysis*, *fishbone*, atau dengan *event tree analysis*. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode *fault tree analysis* dalam menentukan akar penyebab keterlambatan proyek.

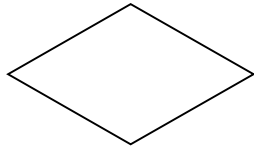
Fault Tree Analysis adalah teknik analisis yang digunakan untuk menentukan akar penyebab permasalahan dan kemungkinan terjadinya kejadian tertentu yang tidak diinginkan (Il, 2005). Menurut (Kurniawan, 2015) *fault tree analysis* mengembangkan jalan kesalahan logis dari kejadian yang tidak diinginkan yang berada di atas (*top event*) untuk semua akar penyebab yang mungkin terjadi pada bagian bawahnya (*basic event*). Kelebihan dari FTA adalah mudah dilakukan, mudah dimengerti, memberikan sistem wawasan yang bermanfaat, dan menunjukkan semua kemungkinan penyebab masalah yang diselidiki (Padaga, et al., 2018).

Menurut (Dr. Antonius Alijoyo, et al., 2021) analisis pohon kesalahan merupakan metode yang tepat dalam memahami bagaimana sebuah sistem dapat gagal atau dalam konteks manajemen risiko, bagaimana sebuah risiko dapat terjadi dan apa saja penyebabnya. Teknik ini dapat mengidentifikasi cara terbaik untuk mengurangi tingkat risiko dan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi suatu peristiwa risiko. Dalam penerapannya, teknik FTA yang digunakan secara kualitatif memiliki 2 (dua) tipe notasi dasar:

Tabel 1. Notasi peristiwa (events)

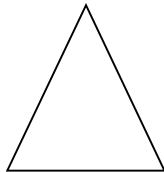
Simbol	Keterangan
Lingkaran (<i>basic event</i>) 	simbol yang menyatakan penyebab risiko. Dengan kata lain simbol lingkaran merepresentasikan akar / sumber penyebab dari suatu peristiwa risiko di mana simbol ini tidak memerlukan analisis lanjutan.
Persegi (<i>intermediate event</i>) 	simbol dari peristiwa yang masih memerlukan analisis lanjutan, biasanya setelah simbol ini akan diikuti <i>logic gates</i> untuk menggambarkan peristiwa selanjutnya.

Segi 4 wajik (*undeveloped event*)



simbol yang menyatakan bahwa peristiwa tersebut tidak dapat dianalisis lebih lanjut karena ketidakcukupan data atau informasi.

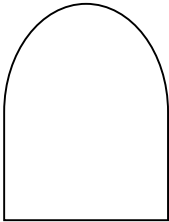
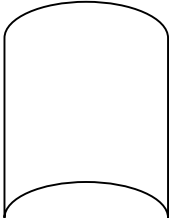
Segitiga (*transfer symbol*)



simbol dari peristiwa yang masih memerlukan analisis lanjutan, di luar dari peristiwa risiko utama pada analisis yang sedang dikerjakan.

Sumber: (Dr. Antonius Alijoyo, et al., 2021)

Tabel 2. Notasi gerbang logika (*logic gates*)

Simbol	Keterangan
<i>AND Gate</i> 	sebuah peristiwa risiko dapat terjadi apabila seluruh input peristiwa di bawahnya terjadi.
<i>OR Gate</i> 	sebuah peristiwa risiko dapat terjadi apabila salah satu atau lebih dari input peristiwa di bawahnya terjadi.

Sumber: (Dr. Antonius Alijoyo, et al., 2021)

Dalam penerapannya, teknik FTA yang digunakan secara kuantitatif menggunakan hukum *logic gate* yang terdapat hukum probabilitas penjumlahan untuk (*OR Gate*) dan hukum probabilitas perkalian untuk (*AND Gate*). Analisa ini bertujuan untuk mendapatkan nilai *minimal cut set*. *Minimal cut set* merupakan kombinasi terkecil peristiwa *basic event* penyebab terjadinya *top event*.

Kombinasi *Minimal Cut Set* pada *OR Gate* :

$$T = C_1 + C_2 + C_n \quad (1)$$

$$P(T) = P(C_1 \cup C_2 \cup C_n) \\ = (P(C_1) + P(C_2) + P(C_n)) - (P(C_1 \cup C_2 \cup C_n)) \quad (2)$$

Kombinasi *Minimal Cut Set* pada *AND Gate* :

$$T = C_1 \times C_2 \times C_n \quad (3)$$

$$P(T) = P(C_1 \cap C_2 \cap C_n) \\ = (P(C_1) \times P(C_2) \times P(C_n)) \quad (4)$$

Probabilitas Total Kombinasi *Minimal Cut Set*

$$TE = T_1 + T_2 + T_n \quad (5)$$

Dimana ; T = jumlah probabilitas *intermediate event*

P(T) = hasil kombinasi *minimal cut set*

C_n = probabilitas *basic event*

T_n = probabilitas *intermediate event*

TE = total probabilitas kombinasi *minimal cut set top event*

$$\text{Probabilitas} = \frac{\text{Jumlah Kejadian yang Diinginkan}}{\text{Jumlah Kejadian yang Mungkin}} \quad (6)$$

Menurut (Wahyuningsih, et al., 2023) terdapat 4 (empat) langkah utama dalam menyusun *Fault Tree Analysis* antara lain:

1. Mengidentifikasi masalah dan menentukan batasan dari permasalahan utama yang di amati.
2. Membuat model FTA dengan menetapkan *top event* (kegiatan puncak), menentukan *intermediate event* dan hubungan terdapat *top event* menggunakan *logic gate* (gerbang logika), dilanjutkan sampai kegiatan *basic event* (kegiatan paling dasar).
3. Menghitung *minimal cut set* berdasarkan analisa diagram FTA untuk menentukan kombinasi kesalahan yang menyebabkan kegiatan *top event* terjadi.
4. Menganalisis FTA dengan *direct numerical approach* (pendekatan perhitungan langsung) yang bersifat *bottom-up approach* (dari *basic event* ke *top event*) dengan menggunakan probabilitas tiap kegiatan. Perhitungan gabungan probabilitas tiap kegiatan dasar akan menghasilkan nilai probabilitas *intermediate event* hingga dicapainya *top event*.

Menganalisis FTA dengan hukum *logic gate* yang terdapat hukum probabilitas penjumlahan untuk (*OR Gate*) dan hukum probabilitas perkalian untuk (*AND Gate*). Analisa ini bertujuan untuk mendapatkan nilai *minimal cut set*. *Minimal cut set* adalah kombinasi kegagalan pada kejadian dasar (*basic event*) atau kombinasi pembentuk pohon kesalahan yang jika semua terjadi maka dapat menyebabkan peristiwa puncak terjadi (Padaga, et al., 2018).



Gambar 2. Contoh *Fault Tree Analysis*
Sumber: (Redana, 2016)

1.6 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan adalah mengalokasikan waktu yang tersedia untuk menyelesaikan pekerjaan, dengan mempertimbangkan kendala untuk mencapai hasil optimal. Aktivitas pekerjaan yang terstruktur dapat membuat pekerjaan berjalan sesuai yang direncanakan. Dengan bantuan *software Microsoft Project* untuk penjadwalan ulang pekerjaan pembangunan kapal, setelah mengidentifikasi jenis pekerjaan kemudian menentukan *predecessor* untuk diinput sehingga akan diketahui pekerjaan yang memiliki jalur kritis. (Wahyuningsih, et al., 2023). Perencanaan sebuah proyek selalu mengacu pada *master schedule*. *Master schedule* merupakan jadwal yang mencakup semua pekerjaan pada proyek, mulai dari desain hingga peluncuran kapal dengan mempertimbangkan sumber daya, kapasitas produksi, peralatan galangan dan lainnya, serta memastikan bahwa setiap bagian dari proses pembangunan kapal terkoordinasi dengan baik untuk efisiensi dan efektivitas.

1.7 Critical Path Method (CPM)

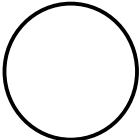
Critical Path Method adalah metode berbentuk jaringan kerja yang digunakan untuk menjadwalkan pekerjaan dalam suatu proyek yang menjadi bagian kritis dalam proyek. Jalur kritis adalah jalur yang memiliki rangkaian komponen-komponen kegiatan, dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek tercepat. Jadi, jalur kritis penting bagi pelaksana proyek, karena pada jalur ini terletak kegiatan-kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan (Soeharto, 1999). Selain jalur kritis juga terdapat jalur hampir kritis dan juga jalur kurang kritis yang memiliki arti sebagai berikut:

- Jalur kritis; jalur yang memerlukan perhatian maksimal dari pengelola proyek, terutama pada periode perencanaan dan implementasi pekerjaan/kegiatan.
- Jalur hampir kritis; jalur yang memerlukan prioritas perhatian dari pengelola yang tidak sebesar pada kegiatan jalur kritis. Meskipun demikian, bila tidak cukup diperhatikan bisa berubah menjadi kritis karena memiliki float yang tidak besar.

- c. Jalur kurang kritis; kegiatan pada jalur ini kurang memerlukan perhatian dari pimpinan proyek terutama dalam aspek jadwal.

Menurut (Wahyuningsih, et al., 2023), metode jalur kritis digunakan untuk menentukan jalur tercepat dalam menjalankan suatu proyek, jalur ini tidak diberikan jeda waktu istirahat dalam pengerjaannya dengan mempertimbangkan durasi dan jumlah fleksibilitas jadwal. Untuk menentukan jalur kritis dan menghitung *float* total, terlebih dahulu membentuk suatu jaringan kerja (*network planning*). Jaringan kerja adalah hubungan ketergantungan antara pekerjaan yang digambarkan dalam *network diagram*. Jaringan kerja mempermudah dalam mengidentifikasi jalur kritis. Untuk memudahkan dalam pembuatan jaringan kerja terdapat beberapa simbol yang digunakan pada metode CPM, sebagai berikut:

Tabel 3. Simbol pada metode *Critical Path Method* (CPM)

Simbol	Keterangan
	Menyatakan sebuah aktifitas yang dibutuhkan oleh proyek. Aktifitas ini diartikan sebagai hal yang memerlukan <i>duration</i> (jangka waktu tertentu). Tidak ada skala waktu, tanda panah hanya menunjukkan awal dan akhir suatu aktifitas.
	Simbol peristiwa/kejadian (<i>event</i>). Menunjukkan titik waktu mulai/berakhir suatu kegiatan dan tidak mempunyai jangka waktu.
	Menyatakan aktifitas semu (<i>dummy activity</i>). <i>Dummy</i> tidak mempunyai durasi waktu, karena tidak menghabiskan <i>resource</i> (hanya membatasi mulainya aktifitas).
	Menyatakan aktifitas pada lintasan kritis.

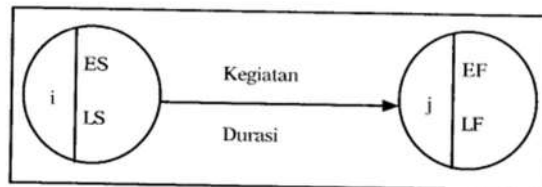
Sumber: (Zahro, 2023)

Jaringan kerja terbagi menjadi 2 (dua) yaitu AOA (*Activity On Arrow*) dan AON (*Activity On Node*), metode CPM sendiri termasuk dalam jaringan kerja AOA (*Activity On Arrow*). Pada metode CPM selain terdapat simbol juga terdapat istilah yang memudahkan untuk mengidentifikasi jalur kritis antara lain:

- Early Start (ES):** waktu paling awal sebuah kegiatan dapat dimulai setelah kegiatan sebelumnya selesai. Bila waktu kegiatan dinyatakan atau berlangsung dalam jam, maka waktu ini adalah jam paling awal kegiatan dimulai.
- Late Start (LS):** waktu paling akhir sebuah kegiatan dapat dimulai tanpa memperlambat penyelesaian jadwal proyek.
- Early Finish (EF):** waktu paling awal sebuah kegiatan dapat diselesaikan jika dimulai pada waktu paling awalnya dan diselesaikan sesuai dengan durasinya. Bila hanya

ada satu kegiatan terdahulu, maka EF suatu kegiatan terdahulu merupakan ES kegiatan berikutnya.

- d. *Late Finish* (LF): waktu paling akhir sebuah kegiatan dapat selesai tanpa memperlambat penyelesaian proyek.



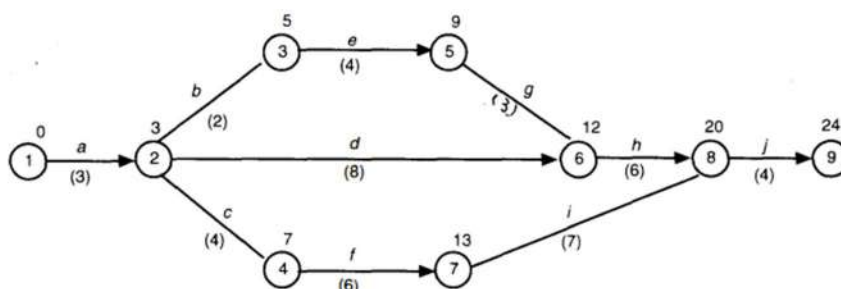
Gambar 3. Jaringan kerja *activity on arrow*
Sumber: (Ir.Irika Wideasanti & Lenggogeni, 2013)

Untuk mencari suatu jalur kritis harus terlebih dahulu menghitung *float* total. *Float* total adalah jumlah waktu yang diperkenankan suatu kegiatan boleh ditunda, tanpa mempengaruhi jadwal penyelesaian proyek secara keseluruhan. Jumlah waktu tersebut sama dengan waktu yang didapat bila semua kegiatan terdahulu dimulai seawal mungkin, sedangkan semua kegiatan berikutnya dimulai selambat mungkin (Soeharto, 1999). *Float* total dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan maju dan perhitungan mundur.

1. Perhitungan Maju digunakan untuk mengidentifikasi jalur kritis, dengan cara menghitung dan menentukan waktu paling awal dimulainya kegiatan dan waktu paling awal selesainya kegiatan (*Early Start* dan *Early Finish*) mulai dari awal pengerjaan proyek sampai proyek selesai. Perhitungan maju dimulai dari sisi kiri pada jaringan kerja (kegiatan paling awal) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$EF = ES + D$$

(7)

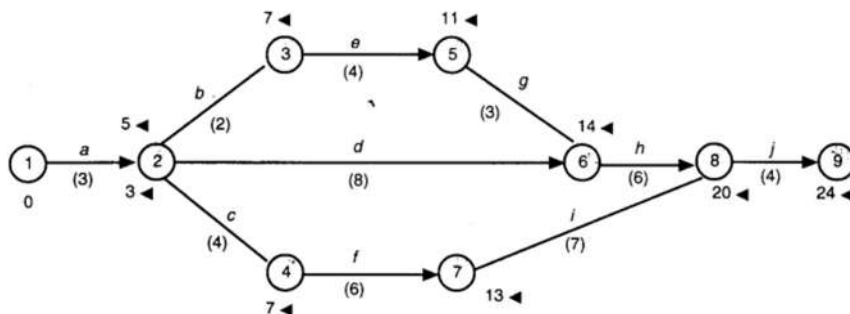


Gambar 4. Perhitungan maju pada jaringan kerja
Sumber: (Soeharto, 1999)

2. Perhitungan mundur digunakan untuk menghitung dan menentukan waktu paling awal berakhirnya kegiatan dan waktu paling lambat berakhirnya kegiatan (*Late Start*

dan *Late Finish*). Perhitungan mundur dimulai dari sisi kanan pada jaringan kerja (kegiatan paling akhir) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$LS = LF - D \quad (8)$$



Gambar 5. Perhitungan mundur pada jaringan kerja
Sumber: (Soeharto, 1999)

Suatu kegiatan dapat dikatakan kegiatan jalur kritis apabila hasil perhitungan *float* total sama dengan 0. *Float* total dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$TF = LF - EF = 0 \text{ atau } LS - ES = 0 \quad (9)$$

Dimana: TF = *Float* Total

LF = *Late Finish*

EF = *Early Finish*

LS = *Late Start*

ES = *Early Start*

1.8 Percepatan Proyek

Menurut (Anggraeni, et al., 2017) percepatan proyek merupakan upaya yang dilakukan untuk mengurangi atau mempercepat penyelesaian proyek. Upaya percepatan proyek akan berdampak pada perubahan waktu penyelesaian proyek dan biaya yang dibutuhkan. Percepatan proyek perlu dilakukan karena terjadinya keterlambatan atau proyek tersebut harus segera diselesaikan sesuai kontrak yang telah disepakati. Berikut cara-cara untuk mempercepat proyek, yaitu:

- menambah jam kerja (lembur)
- menambah jumlah pekerja
- menggunakan shift
- menggunakan peralatan yang lebih produktif
- menggunakan material yang lebih cepat pemasangannya
- menggunakan metode konstruksi lain yang lebih cepat

1.9 Produktivitas

Menurut (Zahro, 2023) produktivitas merupakan perbandingan hasil produksi dengan total sumber daya yang diperlukan. Perhitungan ini dilakukan pada kegiatan di lintasan kritis. Sebelum menghitung produktivitas kegiatan, terlebih dahulu harus mengetahui bobot atau volume tiap kegiatan. Pada penelitian ini bobot atau volume kegiatan diasumsikan dengan rumus berikut:

$$\text{Bobot Kegiatan (Grup)} = \frac{\text{LWT}}{\text{Durasi Kegiatan (Grup)}} \quad (10)$$

$$\text{Bobot Kegiatan} = \text{Bobot Kegiatan (Grup)} \times \text{Durasi Kegiatan} \quad (11)$$

$$\text{Produktivitas Harian Normal Perhari (PHN)} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi}} \quad (12)$$

$$\text{Produktivitas Harian Normal Perjam (PHN)} = \frac{\text{Produktivitas Normal}}{\text{Jam Kerja Perhari}} \quad (13)$$

1.10 Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Jam lembur merupakan waktu kerja yang dilakukan di luar jam kerja normal. Mengacu pada Surat Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor KEP.102/MEN/VI/2004 tentang waktu kerja lembur dan upah kerja lembur pasal 11, upah kerja lembur dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\text{Upah Karyawan Perbulan} = \text{Upah Karyawan Perjam} \times \text{Jam Kerja Perbulan} \quad (14)$$

$$\text{Upah Jam Lembur Pertama} = 1,5 \times \frac{1}{173} \times \text{Upah Per Bulan} \quad (15)$$

$$\text{Upah Jam Lembur Kedua dst.} = 2 \times \frac{1}{173} \times \text{Upah Per Bulan} \quad (16)$$

Untuk produktivitas percepatan dengan penambahan jam kerja didapatkan dari rumus perhitungan berikut:

Prod. Perc. Penambahan Jam Kerja

$$= \text{Prod. Normal} + (\text{Prod. Perjam} \times \text{Koef. Pengurangan Prod.} \times \text{Jam Lembur}) \quad (17)$$

1.11 Penambahan Tenaga Kerja

Menurut (Anggraeni, et al., 2017) penambahan jumlah tenaga kerja akan mempengaruhi efisiensi proyek jika direncanakan dengan realistis dan memperhatikan beberapa faktor, yaitu daya tampung lokasi pekerjaan, kemudahan dan keleluasaan untuk melakukan pekerjaan, pengawasan terhadap tenaga kerja, dan keamanan kerja. Penentuan jumlah tenaga kerja mengacu pada peningkatan produktivitas harian akibat penambahan jam kerja. Produktivitas penambahan tenaga kerja dapat dihitung dengan rumus berikut:

Peningkatan Prod. Harian Akibat Penambahan Jam Kerja

$$= \frac{\text{Prod. Perc. Penambahan Jam Kerja} - \text{Prod. Normal}}{\text{Prod. Normal}} \times 100\% \quad (18)$$

Penambahan Tenaga Kerja

$$= \text{Peningkatan Prod. Harian Akibat Penambahan Jam Kerja} \times \text{Tenaga Kerja Awal} \quad (19)$$

Prod. Perc. Penambahan Tenaga Kerja

$$= \text{Prod. Normal} + \frac{(\text{Prod. Normal} \times \text{Penambahan Tenaga Kerja})}{\text{Tenaga Kerja Awal}} \quad (20)$$

1.12 Perhitungan *Crash Duration*, *Normal Cost*, dan *Crash Cost*

Crash duration adalah waktu tersingkat untuk menyelesaikan suatu kegiatan yang secara teknis masih mungkin. *Crash duration* merupakan istilah dalam manajemen proyek yang mengacu pada pengurangan waktu yang direncanakan untuk menyelesaikan suatu proyek. *Crash duration* biasanya digunakan untuk mempercepat proyek agar selesai lebih singkat dengan memaksimalkan sumber daya, seperti tenaga kerja atau peralatan, untuk mempercepat penyelesaian proyek. Hal ini sering dilakukan ketika ada urgensi untuk menyelesaikan proyek lebih cepat dari jadwal semula, misalnya karena keterlambatan yang tidak terduga. Menurut (Wahyuningsih, et al., 2023), *crash duration* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Crash Duration Penambahan Jam Kerja} = \frac{\text{Volume}}{\text{Prod. Percepatan Penambahan Jam Kerja}} \quad (21)$$

$$\text{Crash Duration Penambahan Tenaga Kerja} = \frac{\text{Volume}}{\text{Prod. Percepatan Penambahan Tenaga Kerja}} \quad (22)$$

Menurut (Wahyuningsih, et al., 2023) *normal cost* atau biaya normal adalah biaya yang dikeluarkan untuk menyelesaikan proyek pekerjaan sesuai dengan waktu normal yang meliputi biaya tenaga kerja dan biaya material yang digunakan. *Normal cost* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Biaya Tenaga Kerja Normal} = \text{Gaji Karyawan Perjam} \times \text{Jam Kerja Normal} \quad (23)$$

$$\text{Normal Cost} = \text{Biaya Normal Harian} \times \text{Tenaga Kerja Awal} \times \text{Durasi Awal} \quad (24)$$

Menurut (Wahyuningsih, et al., 2023) *crash cost* adalah total biaya yang dikeluarkan setelah melakukan percepatan suatu proyek pekerjaan. Salah satu penyebab *crash cost* yaitu adanya penambahan jam kerja (lembur), sumber daya, seperti tenaga kerja atau peralatan. *Crash cost* penambahan jam kerja (lembur) dan tenaga kerja dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Crash Cost (Lembur)} = \text{Cost Lembur} \times \text{Crash Duration} \times \text{Jumlah TK Awal} \quad (25)$$

Crash Cost (Tenaga Kerja)

$$= \text{Upah Normal} \times \text{Penambahan TK} \times \text{Crash Duration Penambahan TK Awal} \quad (26)$$

1.13 Tujuan dan Manfaat

1. Mengetahui faktor – faktor penyebab keterlambatan proyek pembangunan *Deck Cargo Barge 250x80x14 ft* dengan metode *Fault Tree Analysis (FTA)*.
2. Mengetahui hasil penjadwalan ulang proyek pembangunan *Deck Cargo Barge 250x80x14 ft* dengan metode *Critical Path Method (CPM)*.

3. Menentukan alternatif untuk mengatasi keterlambatan proyek pembangunan *Deck Cargo Barge* 250x80x14 ft agar lebih optimal.

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi mengenai faktor utama penyebab terjadinya keterlambatan proyek pembangunan *deck cargo barge*, menambah pengetahuan bagi pembaca terkait metode *fault tree analysis* dan *critical path method* sebagai metode penjadwalan ulang untuk memperoleh jalur kritis dari sebuah proyek, memberikan informasi mengenai alternatif untuk mengatasi keterlambatan proyek, serta hasil dari penelitian ini dapat menjadi acuan dan perbandingan untuk penjadwalan pembangunan proyek.

belakang masalah kemudian ditentukan tujuan penelitian, sehingga penelitian menjadi jelas dan terarah.

2. Studi Literatur

Setelah mengetahui permasalahan yang akan di teliti tahap selanjutnya dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur. Pada tahap ini penulis mencari referensi yang bersumber dari buku, jurnal, tugas akhir dan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan keterlambatan proyek pembangunan *Deck Cargo Barge*, penjadwalan ulang serta metode *Fault Tree Analysis* dan *Critical Path Method*.

2.4 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu wawancara dan kuesioner. Wawancara merupakan metode dimana peneliti berinteraksi langsung dengan responden untuk mengumpulkan informasi melalui tanya jawab. Sedangkan kuesioner merupakan metode yang dilakukan dengan cara menyajikan daftar pertanyaan kepada responden.

1. Data Kapal

Penelitian tugas akhir ini dilakukan pada proyek pembangunan *Deck Cargo Barge* 250x80x14 ft di galangan PT. XYZ Batam, Kepulauan Riau dengan data kapal sebagai berikut:

Tabel 4. Ukuran Utama

Dimensi	Ukuran
LOA	76,2 m
Breadth	24,38 m
Depth	4,27 m
LWT	881,28 ton

Sumber: (Perusahaan XYZ, 2023)



Gambar 7. Deck Cargo Barge 250x80x14 ft

Sumber: (Perusahaan XYZ, 2023)

Setelah melakukan pengumpulan data dan pemahaman data yang dikumpulkan, dilanjutkan dengan pengolahan data dengan melakukan analisis faktor penyebab keterlambatan proyek pembangunan *deck cargo barge* dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Setelah memperoleh diagram FTA selanjutnya melakukan analisis

jaringan kerja pada proyek pembangunan *deck cargo barge* dengan Metode *Critical Path Method* (CPM) untuk menemukan jalur kritis.

2. Data *Man Power*

Berikut merupakan data *man power* pada proyek pembangunan *deck cargo barge* 250x80x14 ft di galangan PT. XYZ Batam, Kepulauan Riau.

Tabel 5. Data *Man Power*

No.	Work Grup	Pekerjaan	Man Power
1		<i>General</i>	2
2	<i>Engineering</i>	<i>Hull</i>	2
3		<i>Outfitting</i>	7
4		<i>Production Hull</i>	22
5	<i>Purchasing</i>	<i>Procurement</i>	3
6		<i>Incoming Material & Equipment</i>	20
7		<i>1st Steel Cutting</i>	7
8	<i>Construction</i>	<i>Pre-Fabrication</i>	24
9		<i>Transv. BHD (Center)</i>	15
10		<i>Transv. BHD (Portside & Starboard)</i>	15
11	<i>Panel Fabrication</i>	<i>Bottom Shell</i>	33
12		<i>Long BHD (Portside & Starboard)</i>	42
13		<i>Main Deck (Center)</i>	35
14		<i>HeadLog Block</i>	41
15		<i>Side Shell (Portside & Starboard)</i>	39
16		<i>Main Deck (Portside & Starboard)</i>	36
17		<i>Log Stanchion</i>	35
18		<i>Skeg</i>	31
19		<i>Transv. BHD (Center)</i>	19
20		<i>Long BHD (Portside & Starboard)</i>	28
21	<i>Visual Inspection</i>	<i>Bottom Shell</i>	32
22		<i>Main Deck (Center)</i>	39
23		<i>HeadLog Block</i>	43
24		<i>Transv. BHD (Portside & Starboard)</i>	19
25		<i>Side Shell (Portside & Starboard)</i>	32
26		<i>Main Deck (Portside & Starboard)</i>	35
27		<i>Log Stanchion</i>	33
28		<i>Skeg</i>	29

29		<i>Bottom Shell</i>	37
30		<i>Transv. BHD (Center)</i>	39
31		<i>Keel Laying (Bottom Laying)</i>	33
32		<i>Long BHD (Portside & Starboard)</i>	42
33		<i>Main Deck (Center)</i>	36
34	<i>Erection</i>	<i>Transv. BHD' (Portside & Starboard)</i>	34
35		<i>HeadLog Block</i>	34
36		<i>Side Shell (Portside & Starboard)</i>	36
37		<i>SKEG</i>	32
38		<i>Main Deck (Portside & Starboard)</i>	30
39		<i>Chain Plate</i>	30
40		<i>Log Stanchion</i>	30
41	<i>Tank Welding Completion</i>	<i>Tank Welding Completion</i>	33
42	<i>Tank Visual Inspection & Air</i>	<i>Visual Inspection</i>	30
43	<i>Test</i>	<i>Air Test</i>	29
44		<i>Fabrication</i>	35
45	<i>Outfitting</i>	<i>Installation</i>	33
46		<i>Barge Equipment Installation</i>	31
47	<i>Painting</i>	<i>Painting</i>	30
48	<i>Launching Preparation</i>	<i>Launching Preparation</i>	19
49	<i>Launching</i>	<i>Launching</i>	19
50	<i>Final Tank Inspection</i>	<i>Final Tank Inspection</i>	13
51	<i>Delivery</i>	<i>Delivery</i>	9
Total			1,411

Sumber: (Perusahaan XYZ, 2023)

2.5 Analisis Data

2.5.1 Fault Tree Analysis (FTA)

Adapun langkah - langkah pengolahan data analisis faktor penyebab keterlambatan proyek pembangunan *Deck Cargo Barge* dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) antara lain:

- Dari data hasil wawancara yang diperoleh dilakukan analisis terkait faktor-faktor apa saja yang menyebabkan keterlambatan proyek beserta akar penyebabnya.
- Setelah didapatkan faktor-faktor penyebab dan akar penyebab (*basic event*) dari permasalahan tersebut, selanjutnya membuat diagram *fault tree analysis* dengan menggunakan *software* DPL 9 *Fault Tree*. Dalam proses penggunaannya input dari *software* ini adalah data *basic event* dari hasil wawancara, kemudian didapatkan *output* yaitu diagram FTA yang telah tersusun dengan rapi.

- c) Selanjutnya menghitung nilai minimal cut set masing-masing probabilitas basic event. Probabilitas masing-masing basic event ini didapatkan dari hasil kuesioner yang disesuaikan dengan frequency index standar DNV pada Tabel (6) sebagai berikut:

Tabel 6. Frequency Index

FI	Rating	Kualitatif	Kuantitatif
5	<i>Frequent</i> (Sering)	Kejadian terjadi tiap produksi <i>barge</i> baru	10^{-1}
4	<i>Reasonably Probable</i> (Kemungkinan Besar)	Kejadian terjadi tiap produksi dalam rentang 5 kali produksi <i>barge</i> baru	10^{-2}
3	<i>Remote</i> (Kecil)	Kejadian terjadi tiap produksi dalam rentang 25 kali produksi <i>barge</i> baru	10^{-3}
2	<i>Extremely Remote</i> (Sangat Kecil)	Kejadian terjadi tiap produksi dalam rentang 75 kali produksi <i>barge</i> baru	10^{-4}
1	<i>Extremely Improbable</i> (Sangat Tidak Mungkin)	Kejadian terjadi tiap produksi dalam rentang 100 kali produksi <i>barge</i> baru	10^{-5}

Sumber: (DNV/Marine Risk Assessment, 2002)

2.5.2 Critical Path Method (CPM)

Adapun langkah-langkah pengolahan data analisis jaringan kerja dengan menggunakan metode CPM (*Critical Path Method*) dalam penelitian ini sebagai berikut:

- Penyusunan urutan aktivitas dengan *microsoft project*, jadwal berasal dari data asli diaplikasikan di dalam aplikasi tersebut, sehingga tersusun sesuai dengan jadwal yang ada.
- Setelah melakukan penyesuaian pada tahap awal dilakukanlah perancangan *network diagram*, sehingga dihasilkan jalur kritis dan *float* total. *Float* total dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan maju dan perhitungan mundur.
- Setelah itu, melakukan perhitungan produktivitas kegiatan di jalur kritis. Kemudian, menghitung produktivitas percepatan untuk penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja.

- d) Selanjutnya, menghitung *crash duration* atau waktu tersingkat untuk menyelesaikan suatu kegiatan/pekerjaan dari perhitungan ini nantinya akan didapatkan hasil berupa durasi baru pada kegiatan di jalur kritis. Kemudian, menghitung *normal cost* atau biaya normal yang dikeluarkan untuk menyelesaikan proyek pekerjaan sesuai dengan waktu normal dan menghitung *crash cost* atau total biaya yang dikeluarkan setelah melakukan percepatan suatu proyek pekerjaan.
- e) Berdasarkan perhitungan *crash duration*, *normal cost*, dan *crash cost* ditentukan alternatif apa yang paling optimal yang dipilih untuk percepatan proyek.

2.6 Kerangka Pikir

