

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proyek Reparasi Kapal *Tugboat*

Tabel 2. 1 *Principal Dimension*

<i>Name of Ship</i>	<i>Tugboat Karya Pacific 37</i>
<i>Length Overall</i>	27 m
<i>Length</i>	24,97 m
<i>Breadth</i>	8,20 m
<i>Depth</i>	4 m
<i>GT/NT</i>	207 T/63 T



Gambar 2.1 *Tugboat Karya Pacific 37*

Proyek reparasi kapal *tugboat* merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi teknis kapal agar memenuhi persyaratan sesuai regulasi dalam berlayar. Reparasi umumnya dilakukan pada periode *docking* digalangan, dengan ruang lingkup pekerjaan yang meliputi perbaikan lambung, sistem propulsi, mesin utama, mesin bantu, sistem kemudi dan pekerjaan penunjang kapal lainnya (Mandaku Hanok et al., 2024).

Karakteristik utama proyek reparasi kapal *tugboat* adalah tingginya ketidakpastian lingkup dan durasi pekerjaan. Berbeda dengan proyek pembangunan kapal baru yang memiliki spesifikasi teknis jelas sejak awal, proyek reparasi sering kali menemukan kerusakan tambahan setelah kapal dilakukan pembongkaran. Kondisi ini menyebabkan perubahan durasi aktivitas, penambahan pekerjaan, serta kebutuhan sumber daya tambahan. Proyek reparasi kapal *tugboat* memiliki keterbatasan waktu *docking* yang ketat. Setiap keterlambatan penyelesaian akan berdampak langsung terhadap waktu operasi kapal dan biaya operasional. Dalam konteks manajemen proyek, kapal *tugboat* harus dikelola dengan memperhatikan tiga kendala utama yaitu, waktu, biaya, dan mutu (Wibawa et al., 2023).

Dalam studi kasus di galangan, penelitian empiris melaporkan bahwa keterlambatan proyek reparasi sering disebabkan oleh penemuan kerusakan tambahan, keterlambatan pengadaan suku cadang, dan konflik alokasi tenaga ahli yang menyebabkan efek berantai pada jadwal penyelesaian (Baroroh et al., n.d.). Sumber-sumber akademik juga menunjukkan bahwa dampak keterlambatan pada proyek repair tidak hanya bersifat teknis tetapi juga ekonomi. Keterlambatan memperbesar biaya tidak langsung seperti, penalti kontrak, dan

opportunity cost operasional pelabuhan. Beberapa penelitian kasus di Indonesia menunjukkan bahwa praktik penjadwalan di banyak galangan masih mengandalkan metode deterministik sederhana dan pengalaman manajerial sehingga rentan terhadap deviasi ketika variabilitas lapangan tinggi (Wibawa et al., 2023).

Dengan demikian, proyek reparasi *tugboat* memerlukan model penjadwalan yang mempertimbangkan keterbatasan *resource*, dinamika *scope*, dan ketidakpastian durasi untuk meningkatkan reliabilitas jadwal dan menurunkan risiko keterlambatan. Pada industri galangan memperlihatkan tekanan meningkatnya kebutuhan perawatan dan reparasi seiring intensifikasi aktivitas pelabuhan dan umur armada, sehingga kapasitas galangan dan efisiensi proses reparasi menjadi isu strategis yang perlu diatasi. Laporan-laporan teknis dan studi akademik menyatakan bahwa pada beberapa negara dan armada besar, persentase *availabilities/maintenance events* yang gagal selesai tepat waktu dapat mencapai proporsi yang signifikan, menegaskan kebutuhan solusi penjadwalan yang lebih tepat waktu. Secara operasional, galangan yang mampu menerapkan penjadwalan adaptif dan berbasis risiko akan mendapatkan keuntungan kompetitif melalui penurunan makespan reparasi dan peningkatan throughput *docking*. Penelitian yang memfokuskan pada optimasi penjadwalan reparasi *tugboat* memiliki relevansi praktis tinggi bagi manajer *shipyard*, operator pelabuhan, dan pemilik kapal (Cullum et al., 2018).

2.2 Manajemen Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek adalah proses sistematis yang mengatur urutan aktivitas, estimasi durasi, dan alokasi sumber daya agar tujuan waktu proyek tercapai, dan merupakan alat sentral dalam manajemen proyek untuk monitoring dan kontrol kemajuan (Manik et al., 2023). Metode-metode klasik seperti Critical Path Method dan PERT masih banyak dipakai di industri perkapalan untuk menyusun baseline schedule, namun kedua metode ini bersifat deterministik (CPM) atau hanya mengakomodasi ketidakpastian terbatas (PERT), sehingga kurang efektif saat variabilitas durasi aktivitas tinggi. Dalam konteks resource-constrained environments seperti galangan, masalah Resource-Constrained Project Scheduling Problem muncul ketika keterbatasan dermaga, peralatan berat, dan tenaga ahli menyebabkan konflik penggunaan resource yang memperpanjang makespan jika tidak dioptimalkan (Skibińska & Iwańkiewicz, 2026).

Studi empiris pada proyek reparasi menunjukkan bahwa konflik resource dan ketidaksesuaian alokasi keterampilan sering menjadi pemicu keterlambatan, sehingga penjadwalan yang mengabaikan constraint resource cenderung menghasilkan jadwal non-realisitis. Literatur manajemen proyek kontemporer menganjurkan pendekatan yang menggabungkan kontrol aktivitas, manajemen resource, dan analisis risiko untuk meningkatkan akurasi estimasi waktu penyelesaian (Wibawa et al., 2023b). Analisis data industri konstruksi dan perbaikan kapal menunjukkan rata-rata keterlambatan proyek berkisar puluhan persen terhadap durasi rencana dalam banyak kasus, yang menandakan perlunya model prediktif dan preskriptif pada penjadwalan (Alobadi & Naimi, 2023). Dalam praktik, peralatan lunak penjadwalan (mis. Microsoft Project, Primavera) digunakan untuk menyusun jaringan aktivitas, tetapi tanpa integrasi probabilistik atau mekanisme buffer yang cerdas, hasilnya tetap rentan terhadap deviasi nyata di lapangan. Karena itu, metode penjadwalan yang mempertimbangkan secara eksplisit constraint resource dan ketidakpastian durasi seperti CCPM dan Monte Carlo layak diteliti dan diuji pada domain reparasi kapal. Data empiris tentang keterlambatan proyek juga menunjukkan bahwa penyebab yang paling sering muncul adalah: (1) estimasi durasi yang tidak realistis, (2) masalah rantai pasok suku cadang, dan (3) alokasi tenaga ahli yang tidak konsisten, yang semuanya dapat dimodelkan dan dianalisis menggunakan pendekatan probabilitas (Japan gov, 2023). Oleh karenanya, penelitian yang menerapkan teknik optimasi penjadwalan berbasis risiko pada ship repair

dapat memberikan kontribusi praktis dalam mengurangi variasi performance dan memperbaiki kepastian penyelesaian proyek (Hassi et al., 2025).

2.3 Critical Chain Project Management (CCPM)

Critical Chain Project Management merupakan pendekatan penjadwalan yang lahir dari Theory of Constraints dan menempatkan keterbatasan sumber daya sebagai variabel utama yang menentukan critical chain (rantai kritis) proyek, berbeda dengan fokus jalur kritis pada CPM tradisional. Konsep utama CCPM adalah penghapusan waktu tambahan pada tiap aktivitas dan pengumpulan waktu cadangan menjadi buffer terpusat, yaitu project buffer di akhir chain, feeding buffers pada titik masuk non-kritis, dan resource buffers untuk memastikan kesiapan sumber daya, sehingga pengendalian waktu menjadi lebih terfokus dan sederhana (Andiyan et al., 2021). Beberapa studi kasus di ship repair melaporkan bahwa penerapan CCPM menghasilkan pengurangan durasi pekerjaan yang nyata dan penghematan biaya tenaga kerja karena berkurangnya multitasking dan penundaan akibat konflik resource, meskipun sebagian besar penelitian tersebut bersifat studi kasus deterministik. Kelebihan CCPM dalam konteks galangan adalah kemampuannya merancang jadwal yang mempertimbangkan availability dock dan tenaga khusus sehingga aliran pekerjaan dapat dioptimumkan, namun kekurangan utama dalam literatur adalah kurangnya analisis probabilistik terhadap reliabilitas jadwal CCPM ketika durasi aktivitas memiliki distribusi acak (Basuki & Hildawan Mahendra, 2021).

Lebih lanjut, penelitian empiris di Indonesia yang menerapkan CCPM pada proyek reparasi (mis. Geomarin-III) menemukan percepatan durasi hingga beberapa hari dan pengurangan biaya tenaga kerja, yang menunjukkan relevansi CCPM untuk kasus repair shipyards. Meski demikian, bukti tersebut belum cukup untuk generalisasi karena skala contoh kecil dan minimnya analisis probabilitas, misalnya tidak semua studi menguji bagaimana feeding buffer bereaksi terhadap variasi durasi input (Puji et al., 2025). Oleh karena itu, menguji CCPM bersamaan dengan teknik kuantitatif yang mengukur ketidakpastian seperti Monte Carlo diperlukan untuk menilai keandalan jadwal di bawah kondisi nyata galangan. Dalam praktik manajemen galangan, penerapan CCPM menuntut perubahan budaya kerja (pengurangan multitasking, fokus pada finish-to-start yang ketat, respon cepat terhadap buffer consumption) sehingga aspek implementasi manajerial juga menjadi objek kajian penting di samping perhitungan teknis (Jie & Wei, 2022).

2.4 Ketidakpastian dan Risiko Dalam Penjadwalan Proyek

Sumber ketidakpastian durasi di proyek reparasi kapal meliputi temuan kerusakan tersembunyi saat inspeksi, lead time suku cadang yang berubah-ubah, variasi produktivitas tenaga ahli, dan kondisi cuaca yang memengaruhi pekerjaan eksternal, yang dapat menyebabkan deviasi signifikan terhadap jadwal rencana. Ketidakpastian ini seringkali menghasilkan cascading delays di mana satu keterlambatan mengakibatkan penundaan beruntun pada aktivitas berikutnya, sehingga efek pada penyelesaian proyek bisa jauh melebihi durasi gangguan awal. Analisis risiko proyek modern merekomendasikan kombinasi metode kualitatif (mis. FMEA, Delphi) untuk identifikasi dan prioritasasi risiko serta metode kuantitatif (mis. Monte Carlo, Bayesian networks) untuk menilai dampak probabilistik terhadap tanggal penyelesaian, sehingga mitigasi dapat dirancang berbasis bukti. Di bidang shipbuilding/repair, studi menunjukkan bahwa supply-chain issues (keterlambatan material dan spare parts) dan workforce shortages termasuk among the top risk drivers yang perlu diintegrasikan ke dalam perencanaan jadwal agar estimasi waktu lebih realistis (Asdi & Basuki, 2021).

Penelitian yang menggunakan Bayesian network untuk menganalisis faktor penyebab delay pada repairing projects menemukan hubungan kompleks antar faktor teknis, manajerial, dan supply-chain sehingga menyarankan pendekatan terintegrasi untuk mitigasi

risiko jadwal. Beberapa review pada industri konstruksi menunjukkan bahwa rata-rata keterlambatan berkisar antara 10%–30% dari durasi rencana dalam banyak proyek, yang merefleksikan besarnya tantangan mengelola ketidakpastian jadwal di sektor padat karya seperti ship repair. Karena sifat ketidakpastian yang multidimensional, penjadwalan yang hanya bergantung pada estimasi deterministik akan terus mengalami gap kinerja tanpa adanya mekanisme probabilistik dan buffer manajemen yang tepat (Baroroh et al., n.d.).

2.5 Simulasi *Monte Carlo*

Simulasi Monte Carlo adalah teknik numerik yang melakukan sampling acak dari distribusi input durasi aktivitas dan menghitung hasil berulang-ulang untuk menghasilkan distribusi output seperti tanggal penyelesaian proyek dan probabilitas pencapaian target. Dalam penjadwalan proyek, Monte Carlo memungkinkan penghitungan metrik keandalan seperti probabilitas proyek selesai pada atau sebelum tanggal tertentu, serta identifikasi aktivitas yang paling banyak menyumbang varians (risk drivers) sehingga mitigasi bisa difokuskan. Studi-studi di bidang konstruksi dan infrastruktur menunjukkan bahwa penggunaan Monte Carlo dapat meningkatkan akurasi forecast penyelesaian dan membantu merancang buffer yang lebih informatif dibandingkan aturan praktis, namun penerapan pada ship repair masih relatif sedikit di literatur internasional (Ichsan et al., 2025).

Beberapa karya terbaru juga menggabungkan Monte Carlo dengan teknik Bayesian atau heuristik optimasi untuk menangani ketergantungan antaraktivitas dan keterbatasan resource, sehingga metode ini fleksibel untuk diadaptasi pada konteks CCPM di shipyards. Secara praktis, untuk data galangan yang tersedia, distribusi durasi aktivitas dapat difit dari historis atau diperkirakan menggunakan three-point estimates (optimis–most likely–pessimis), lalu disimulasikan ribuan kali untuk memperoleh probabilitas penyelesaian dan percentiles (mis. P50, P80) yang berguna dalam pengambilan keputusan manajerial (Ebid et al., 2025).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian Berdasarkan penelitian terdahulu, metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) telah banyak diterapkan sebagai pendekatan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi penjadwalan proyek. Penelitian yang dilakukan oleh Samodra (2025) menunjukkan bahwa penerapan CCPM dan perencanaan buffer pada proyek pembangunan kapal mampu menurunkan durasi proyek hingga sekitar 14,5%. Hasil serupa juga diperoleh oleh Tamalika dkk. (2024), yang menunjukkan bahwa penggunaan CCPM pada proyek konstruksi rumah tipe 36 berhasil mengurangi durasi proyek dari 18 hari menjadi 15 hari. Selain itu, penelitian Tampubolon, Rahman, dan Haryanto (2021) membuktikan bahwa metode CCPM mampu mempercepat penyelesaian proyek konstruksi dengan mengurangi durasi dari 219 hari menjadi 206 hari. Pengembangan metode CCPM juga terus dilakukan, seperti yang ditunjukkan oleh Peng dkk. (2024) melalui pengembangan algoritma heuristik untuk penjadwalan buffer dan penyelesaian konflik sumber daya. Di sisi lain, simulasi Monte Carlo telah banyak digunakan untuk menganalisis ketidakpastian durasi proyek dan risiko keterlambatan jadwal. Nazaruddin (2024) menunjukkan bahwa simulasi Monte Carlo mampu menggambarkan variasi durasi proyek secara probabilistik sehingga memberikan estimasi jadwal yang lebih realistis. Penelitian Ibrahim (2025) yang mengombinasikan simulasi Monte Carlo dengan metode PERT/CPM juga menunjukkan peningkatan akurasi dalam perencanaan jadwal proyek. Sementara itu, penelitian de Oliveira Martins dkk. (2025) mengusulkan model prediksi buffer berbasis CCPM yang dipadukan dengan simulasi Monte Carlo untuk meningkatkan keandalan penjadwalan proyek. Penelitian Ehnaish dan Badi (2025) turut membuktikan bahwa pendekatan hibrida Monte Carlo dapat digunakan untuk menganalisis berbagai skenario ketidakpastian dan mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap keterlambatan proyek. Pada sektor maritim, penelitian Diswantoro, Mulyatno, dan Rindo (2024) menerapkan metode *Critical Path Method* (CPM) untuk mengoptimalkan

penjadwalan pembangunan kapal tugboat. Selain itu, Ubyani dkk. (2023) menggabungkan metode CPM dan *Fuzzy Logic* dalam menyusun strategi percepatan proyek reparasi kapal setelah proses docking. Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus mengintegrasikan metode CCPM dan simulasi Monte Carlo pada proyek reparasi kapal masih relatif terbatas. Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode CCPM terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi penjadwalan serta mengurangi durasi proyek, sedangkan simulasi Monte Carlo mampu memodelkan ketidakpastian durasi dan risiko jadwal secara probabilistik. Namun, sebagian besar penelitian masih menerapkan kedua metode tersebut secara terpisah atau berfokus pada proyek konstruksi umum. Oleh karena itu, penerapan dan integrasi metode CCPM serta simulasi Monte Carlo pada proyek reparasi kapal tugboat masih memiliki peluang yang besar untuk dikembangkan guna menghasilkan penjadwalan yang lebih realistis, akurat, dan andal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”