

ANALISIS FAKTOR KETERLAMBATAN PROYEK MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) DAN PENJADWALAN ULANG DENGAN CRITICAL PATH METHOD (CPM) PADA PROYEK MANUFAKTUR REPLACE 54IN SEA WATER LINE DI PT. SRK

Putri Ayu Permatasari¹⁾, Elly Ismiyah²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatera 101 GKB Randuagung, Gresik, Indonesia
Corresponding Author: putriayupermatasari41@gmail.com

ABSTRAK

Proyek manufaktur Replace 54in Sea Water Line di PT. SRK semula direncanakan selesai dalam 49 hari, tetapi terlambat 26 hari menjadi 75 hari. Penelitian ini menerapkan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi penyebab utama keterlambatan, yaitu pekerjaan drawing engineering, dan menghasilkan 4 langkah perbaikan bagi kontraktor. Penjadwalan ulang dengan *Critical Path Method* (CPM) menunjukkan bahwa penambahan jam kerja lembur 4 jam selama durasi proyek dapat mempercepat penyelesaian menjadi 32 hari dengan biaya tambahan sebesar Rp 16.000.000. Alternatif penambahan tenaga kerja mempercepat proyek menjadi 32 hari dengan biaya tambahan Rp 13.500.000. Kesimpulannya, penambahan tenaga kerja lebih efektif dari segi biaya untuk mencegah keterlambatan pada proyek Replace 54in Sea Water Line berikutnya.

Kata kunci : *Critical Path Method, Fault Tree Analysis, Keterlambatan proyek, Penjadwalan ulang.*

ABSTRACT

The manufacturing project to Replace the 54-inch Sea Water Line at PT. SRK was originally planned to be completed in 49 days but was delayed by 26 days, extending the duration to 75 days. This study used Fault Tree Analysis (FTA) to identify the main cause of the delay, which was the drawing engineering work, and resulted in 4 corrective steps for the contractor. Rescheduling with the Critical Path Method (CPM) showed that adding 4 hours of overtime work during the project duration could accelerate completion to 32 days with an additional cost of IDR 16,000,000. The alternative of adding labor accelerated the project to 32 days with an additional cost of IDR 13,500,000. In conclusion, adding labor is more cost-effective in preventing delays in the next Replace 54-inch Sea Water Line project.

Keyword : Critical Path Method, Fault Tree Analysis, Project delay, Rescheduling.

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi didefinisikan sebagai rangkaian kegiatan yang bersifat kompleks, dinamis, dan melibatkan banyak pihak, baik dari segi perencanaan, pelaksanaan, hingga pengawasan. Proyek ini mencakup berbagai sektor, salah satunya adalah konstruksi di

lingkungan industri manufaktur yang sering kali melibatkan pekerjaan berskala besar dan teknis tinggi. Proyek konstruksi tidak hanya terbatas pada pembangunan gedung atau infrastruktur, tetapi juga mencakup pekerjaan rekayasa seperti instalasi pipa, peralatan, dan sistem utilitas di lingkungan pabrik[1]. Kegiatan konstruksi pada

sektor manufaktur memerlukan perencanaan yang terperinci karena berdampak langsung terhadap jalannya proses produksi. Namun, dalam pelaksanaannya, proyek konstruksi sangat rentan mengalami keterlambatan. Keterlambatan proyek didefinisikan sebagai kondisi ketika aktivitas atau keseluruhan proyek tersebut gagal diselesaikan sesuai dengan waktu target yang ditetapkan dalam rencana. Penyebab keterlambatan dapat bersumber dari kurangnya koordinasi antar tim, keterlambatan pengadaan material, perubahan desain, hingga faktor manajemen yang tidak optimal[2]. Manajemen proyek bertujuan untuk melaksanakan proyek dengan baik untuk meminimalisir masalah selama pelaksanaan proyek, sehingga diperlukan sistem manajemen proyek yang akurat untuk penjadwalan yang efektif dan efisien[2]. PT. SRK adalah perusahaan manufaktur dan jasa fabrikasi baja berbasis proyek yang berorientasi pada peningkatan efektivitas dan efisiensi proses produksi [3]. Perusahaan ini bergerak di bidang manufaktur baja, pengoperasian alat berat dan pemeliharaan[4]. Setiap proyek memiliki desain dan fungsi yang berbeda untuk mengolah bahan baku yang dirakit untuk dibentuk menjadi material baru agar memiliki fungsi dan nilai tambah. Permasalahan yang terjadi pada PT. SRK adalah keterlambatan proyek Replace 54in Sea Water Line yang dilakukan oleh pemilik proyek PT. MDF. Setiap proyek memiliki jadwal yang telah direncanakan, namun jadwal dan hasil kerja di lapangan menunjukkan waktu penyelesaian proyek yang berbeda.

Proyek replace 54in sea water line direncanakan selesai dalam 49 hari, tetapi dilaksanakan dalam 75 hari dan terlambat 26 hari. Mengingat berbagai faktor yang berkontribusi terhadap keterlambatan dalam proyek, penerapan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dipandang perlu untuk mengidentifikasi penyebab utama keterlambatan, serta metode *Critical Path Method* (CPM) untuk merestrukturisasi jadwal proyek, dengan mempertimbangkan variasi jam kerja dan penambahan sumber daya tenaga kerja. *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah metode analisis dengan menampilkan gambar dan mengevaluasi jalur dalam sebuah sistem untuk meminimalkan biaya [5]. *Fault Tree Analysis* (FTA) berfungsi untuk menemukan akar dari pohon kesalahan[6]. FTA juga digunakan untuk mengidentifikasi penyebab

kegagalan dalam diagram visual dan model logika[7]. *Critical Path Method* (CPM) merupakan salah satu metode manajemen proyek dengan fokus pada waktu aktivitas pekerjaan dan durasi proyek jalur kritis yang ditentukan[8]. *Critical Path Method* merinci setiap kegiatan, aktivitas pekerjaan, waktu normal dan data biaya untuk jaringan kerja[9]. Berdasarkan pembahasan sebelumnya, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian, kelebihan dari kedua metode tersebut adalah dapat mengetahui pekerjaan dan faktor penyebab keterlambatan serta menentukan langkah baru bagi kontraktor proyek dan menghasilkan penjadwalan ulang berupa berupa alternatif penambahan jam kerja atau penambahan jumlah tenaga kerja pada proyek berikutnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi didefinisikan sebagai rangkaian kegiatan yang terdiri dari berbagai tahapan mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga pengawasan untuk menghasilkan suatu produk fisik seperti bangunan, instalasi, maupun infrastruktur. Dalam konteks industri manufaktur, proyek konstruksi tidak hanya mencakup pembangunan gedung, tetapi juga pekerjaan teknis seperti instalasi perpipaan, peralatan, hingga sistem pendukung produksi lainnya[10]. Proyek di lingkungan industri memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan proyek umum karena sering kali berlangsung di area terbatas dan beroperasi bersamaan dengan aktivitas produksi, sehingga manajemen waktu dan risiko menjadi lebih krusial.

2.2 Keterlambatan Proyek

Keterlambatan proyek merupakan keterlambatan proses pekerjaan jika dibandingkan dengan rencana *time schedule*. Keterlambatan merupakan perpanjangan waktu yang tidak memenuhi tanggal penyelesaian proyek yang disepakati semua pihak. *Delay* adalah keadaan dimana pemilik proyek dan kontraktor memberikan kontribusi saat proyek tidak selesai dalam waktu kontrak yang telah disepakati[11].

Keterlambatan disebabkan oleh seluruh pihak yang berperan dalam proyek, termasuk pemilik, kontraktor pelaksana serta konsultan pengawas. Keterlambatan proyek merupakan penundaan penyelesaian pekerjaan yang terikat kontrak kerja,

sehingga berpotensi memicu tuntutan ganti rugi secara hukum. Keterlambatan proyek terjadi jika kontraktor gagal merampungkan proyek dengan batas waktu yang tertera pada kontrak. Kondisi ini terjadi ketika proyek gagal dirampungkan sesuai dengan durasi waktu yang ditetapkan, dan masalah ini menimbulkan dampak negatif seperti, peningkatan biaya proyek, penurunan efisiensi, peningkatan resiko di pasar, peningkatan waktu kerja untuk mengejar terlambatnya produksi dan mengejar keterlambatan proyek[1].

Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah metode yang diterapkan guna mengkaji serta menggambarkan jalur aktivitas dalam suatu sistem secara visual, yang bertujuan untuk menilai tingkat risiko atau bahaya yang mungkin terjadi. FTA juga merupakan teknik yang dimanfaatkan untuk mengenali dan menganalisis kemungkinan terjadinya kegagalan dalam sebuah sistem secara sistematis. FTA memvisualisasikan hubungan sebab akibat antara kegagalan komponen dengan kegagalan sistem secara keseluruhan dalam bentuk diagram logika. Keunggulan FTA adalah kemampuannya dalam menemukan akar penyebab masalah, sehingga memudahkan pemahaman dan penanganan potensi kegagalan proyek.[12]. Beberapa istilah umum dalam metode *Fault Tree Analysis* (FTA):

1. *Event*: Ketidaksesuaian secara tak terduga dari kondisi normal sistem.
2. *Top Event*: Peristiwa utama yang dianalisis untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan.
3. *Logic Gate*: Simbol logika "AND" dan "OR" yang menunjukkan hubungan antar kejadian.
4. *Transferred Event*: Simbol segitiga yang menunjukkan kelanjutan kejadian ke bagian lain.
5. *Undeveloped Event*: Peristiwa awal yang tidak dianalisis secara detail karena keterbatasan data
6. *Basic Event*: Kejadian dasar yang dipandang sebagai penyebab utama tanpa memerlukan penjabaran lebih detail.

Simbol	Keterangan
	Top Event
	Logic Event OR
	Logic Event AND
	Transferred Event
	Undeveloped Event
	Basic Event

Gambar 1. Simbol dalam FTA

2.3 Critical Path Method (CPM)

Critical Path Method (CPM) didefinisikan sebagai metode penjadwalan proyek yang diterapkan guna menetapkan jalur kritis, yaitu serangkaian aktivitas yang tidak memiliki kelonggaran waktu dan sangat menentukan durasi penyelesaian proyek secara keseluruhan. CPM membantu manajer proyek untuk memfokuskan perhatian pada pekerjaan-pekerjaan yang memiliki dampak langsung terhadap terhadap keterlambatan proyek[13]. Dalam proyek-proyek manufaktur, penerapan CPM memungkinkan pengalokasian sumber daya secara lebih efisien dan mendukung perencanaan ulang jika terjadi deviasi jadwal.

3. METODE PENELITIAN

Dalam studi ini, metode penelitian yang dipilih adalah kualitatif dan kuantitatif untuk memperoleh informasi tentang keterlambatan dalam proyek, menentukan faktor keterlambatan, dan memberikan penjelasan deskriptif tentang faktor-faktor ini dapat terjadi[14]. Subjek studi ini menganalisis faktor-faktor penyebab keterlambatan yang dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan hasil kuesioner yang dibagikan kepada responden pekerja *planning production control* (ppc)[15]. Data kuesioner diolah menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) guna menentukan nilai probabilitas guna menghitung nilai *minimum cut set*. Proyek Replace 54in Sea Water Line di PT SRK menjadi objek penelitian yang mengandung data jadwal waktu dan data penjadwalan ulang untuk memperoleh jadwal dan pelaksanaan proyek sebagaimana hasilnya dapat diamati pada Gambar 2 dan Gambar 3.

No	Uraian Pekerjaan	Jadwal Rencana Pelaksanaan Pekerjaan Fabrication (Minggu)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	Pekerjaan drawing engineering	■	■	■								
II	Pekerjaan pengadaan material	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
A	Pekerjaan produksi cutting marking	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
B	Pekerjaan produksi fit-up	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
C	Pekerjaan produksi welding	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
D	Pekerjaan finishing	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
E	Pekerjaan UT & painting	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
F	Pekerjaan packing delivery	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Gambar 2. Jadwal rencana pelaksanaan pekerjaan

No	Uraian Pekerjaan	Jadwal Aktual Pelaksanaan Pekerjaan Platform Fabrication (Minggu)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	Pekerjaan drawing engineering	■	■	■								
II	Pekerjaan pengadaan material	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
A	Pekerjaan produksi cutting marking	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
B	Pekerjaan produksi fit-up	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
C	Pekerjaan produksi welding	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
D	Pekerjaan finishing	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
E	Pekerjaan UT & painting	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
F	Pekerjaan packing delivery	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Gambar 3. Jadwal aktual pelaksanaan pekerjaan

3.1 Metode Pengumpulan

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan wawancara[16] dengan dua responden, yaitu supervisor produksi yang terlibat langsung dalam proyek Replace 54in Sea Water Line PT. SRK. Proyek tersebut direncanakan selesai dalam 49 hari, namun terlambat hingga 75 hari. Wawancara dilakukan untuk mengidentifikasi pekerjaan penyebab keterlambatan dengan supervisor produksi proyek Replace 54in Sea Water Line di PT SRK.

Batasan penelitian ini difokuskan pada analisis Fault Tree Analysis (FTA) yang hanya mencakup dua peristiwa utama, yaitu Pekerjaan Drawing Engineering dan Pekerjaan Pengadaan Material.

3.2 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data melibatkan analisis mendalam terhadap faktor-faktor yang menyebabkan keterlambatan proyek, dengan menerapkan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi kombinasi penyebab utama yang mendasari. Selanjutnya dilakukan penjadwalan ulang durasi aktivitas proyek melalui metode jalur kritis (*Critical Path Method*), mencakup analisis waktu mulai awal, selesai awal, mulai terlambat, dan selesai terlambat setiap pekerjaan, serta penentuan *Critical Path Method*[17]. Alternatif penjadwalan ulang mempertimbangkan peningkatan jam kerja dan tenaga kerja untuk memperoleh waktu

penyelesaian proyek optimal. Hasil analisis FTA dibandingkan dengan metode jalur kritis untuk memastikan efektivitas penjadwalan baru.

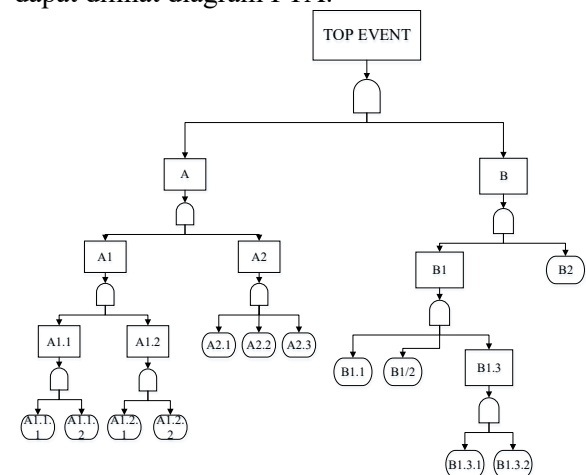
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Fault Tree Analysis (FTA)

Manajemen data dilakukan menggunakan metode FTA yang meliputi langkah-langkah berikut.

4.1.1 Langkah-langkah FTA

Analisis Pohon Kesalahan terdiri dari kombinasi kesalahan beruntun yang menyebabkan *failure event*[18]. Langkah pertama adalah mendefinisikan peristiwa dalam sistem, membuat pohon kesalahan dari peristiwa puncak ke peristiwa antara dan hubungan gerbang logika peristiwa puncak. Langkah berikutnya adalah menghitung set pemotongan minimum dan menganalisis FTA menggunakan nilai probabilitas dari peristiwa antara ke peristiwa puncak. Di sini dapat dilihat diagram FTA.



Gambar 4. Diagram FTA penyebab keterlambatan Replace 54in Sea Water Line

4.1.2 Analisis kualitatif FTA

Analisis penyebab keterlambatan dalam proyek Replace 54in Sea Water Line di PT. SRK memiliki dua kejadian antara dari hasil wawancara, yaitu pekerjaan rekayasa gambar dan pekerjaan pengadaan material. Dalam pekerjaan rekayasa gambar, masalah terkait dengan kesepakatan pemilik, kontraktor utama dan subkontraktor tidak dapat disepakati secara sepihak ketika di lapangan, karena mereka masih memproses gambar dengan permintaan pemilik untuk ditinjau kembali mengenai umpan balik mereka. Dalam pekerjaan pengadaan material, masih menunggu persetujuan pemilik dan gambar

rekayasa gambar, setelah gambar diperoleh, pengiriman material tidak segera dilakukan sebab perusahaan memilih material yang mengajukan harga sesuai dengan anggaran proyek.

4.1.3 Analisis kuantitatif minimal cut set

Analisis ini dilakukan dengan analisis mocus untuk mengetahui *root cause* dalam *fault tree*[19]. Para peneliti menyebarkan kuesioner kepada satu responden yaitu supervisor produksi untuk mengetahui nilai probabilitas dan memperoleh 7 mocus kejadian dasar dalam menggambar pekerjaan teknik yaitu A1.1.1; A1.1.2; A1.2.1; A1.2.2; A2.1; A2.2; A2.3 dengan nilai $0,4 \times 0,4 \times 0,4 \times 0,4 \times 0,3 \times 0,4 \times 0,3 = 0,0009216$. Dalam pekerjaan pengadaan material, diperoleh 5 kejadian dasar yaitu B1.1; B1.2; B1.3.1; B1.3.2; dan B2 dengan nilai $0,3 \times 0,3 \times 0,3 \times 0,4 \times 0,3 = 0,00324$. Setelah melakukan analisis Fault Tree Analysis (FTA), teridentifikasi faktor-faktor kejadian yang menjadi penyebab penundaan proyek Replace 54in Sea Water Line dan diperoleh 2 set pemotongan minimum, yaitu A = 0,0009216 dan B = 0,00324 di PT. SRK dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Event fault tree (Sumber PT SRK)

Event	Keterangan
A	Pekerjaan drawing engineering
A1	Faktor owner
A2	Faktor maincont dan subcont
A1.1	Terlambatnya owner dalam pengambilan keputusan
A1.2	Kurangnya koordinasi yang baik
A.1.1.1	Menunggu persetujuan owner terkait proses pengolahan drawing
A1.1.2	Pengajuan rilis shop drawing
A1.2.1	Koordinasi dari owner pada maincont dan subcont kurang optimal
A1.2.2	Instruksi pengolahan drawing terlambat
A.2.1	Kurangnya koordinasi dari subcont dan maincont
A.2.2	Dilakukan proses pengolahan drawing ulang
A2.3	Misinterpretasi dalam menafsirkan kode warna
B	Pekerjaan pengadaan material
B1	Faktor pemilihan material
B2	Faktor owner
B1.1	Pengajuan harga sesuai anggaran proyek
B1.2	Terlambatnya PO fender list material yang masuk
B1.3.1	Material yang dipesan hanya datang sebagian
B1.3.2	Ketidaksesuaian dengan schedule yang telah direncanakan

4.1.4 Analisis Menetapkan Langkah Baru

Peneliti akan menentukan langkah tabel 1 *event fault tree* dan nilai probabilitas tinggi dalam pekerjaan *engineering drawing* sebesar 0,0009216 dan pekerjaan pengadaan material sebesar 0,00324 untuk digabungkan, yang awalnya faktor penyebab keterlambatan akan menjadi faktor langkah baru, cara ini dapat mengoptimalkan dan akan berguna dalam pelaksanaan proyek Replace 54in Sea Water Line di perusahaan, kemudian 4 langkah baru akan diperoleh[20]. Langkah pertama adalah perencanaan yang hati-hati dengan membuat jadwal proyek yang realistis sesuai dengan rencana proyek dan mengidentifikasi risiko hambatan yang potensial. Langkah kedua adalah memantau kemajuan proyek untuk melacak kemajuan dan perubahan guna mengidentifikasi keterlambatan proyek lebih awal. Langkah ketiga adalah komunikasi yang efektif antara perusahaan dan pemilik untuk memberikan pembaruan berkala, memantau standar kualitas kerja dan langkah keempat adalah merencanakan perubahan jadwal untuk mengantisipasi jika proyek yang telah direncanakan tiba-tiba berubah dengan mengkomunikasikan semua pihak dalam proyek.

4.2 Critical Path Method (CPM)

Metode Jalur Kritis dapat memperkirakan durasi dalam pelaksanaan aktivitas proyek yang mendapatkan pengawasan secara efisien sehingga diselesaikan sesuai perencanaan[21]. Jalur kritis dalam proyek Replace 54in Sea Water Line adalah pekerjaan drawing engineering. Jalur kritis dari aktivitas kerja gambar teknik dengan Penyelesaian Awal (EF) = 49 hari dan Penyelesaian Terakhir (LF) = 75 hari terjadi slack 26 hari. Sedangkan EF pengadaan material = 2 hari dan LF = 4 hari terdapat slack 2 hari. Perhitungan produktivitas harian untuk membandingkan hasil produksi dengan sumber daya yang diperoleh nilai volume kerja gambar teknik = $14481,28 \text{ kg} / 75 \text{ hari} = 193,084 \text{ kg} / \text{hari}$.

4.2.1 Percepatan kerja alternatif dengan jam kerja tambahan (Lembur)

Alternatif untuk mempercepat penyelesaian proyek adalah pendekatan alternatif pengujian dan penerapan peningkatan jam kerja lembur[22]. Jam kerja normal pada proyek yaitu 08.00 hingga 16.00 atau 7 jam kerja dan 1 jam istirahat pada 12.00-13.00, jam kerja tambahan untuk proyek

Replace 54in Sea Water Line adalah 4 jam kerja pada 16.00-20.00. Perhitungan produktivitas tambahan dari jam kerja teknik gambar dengan produktivitas harian = 193,084 kg x 0.6 koefisien pengurangan produk x 4 durasi jam lembur = 463,401 kg. Perhitungan percepatan melalui penambahan jam kerja ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan percepatan tambahan jam kerja

No	Uraian Pekerjaan	Indeks(%)	Koeff(-) Production	Overtime Hours	Prod. Planning
1	Pekerjaan drawing engineering	193,084	0,6	4	463,401
2	Pekerjaan pengadaan material	135,393	0,6	4	324,942
3	Pekerjaan produksi cutting marking	123,666	0,6	4	296,799
4	Pekerjaan produksi fit-up	121,393	0,6	4	291,342
5	Pekerjaan produksi welding	113,569	0,6	4	272,564
6	Pekerjaan finishing	122,114	0,6	4	293,074
7	Pekerjaan UT & painting	125,197	0,6	4	300,474
8	Pekerjaan packing delivery	108,615	0,6	4	260,676

Perhitungan durasi percepatan digunakan dengan tujuan mempercepat proyek dengan memaksimalkan sumber daya dan waktu pada proyek dengan volume = 14481,28 kg / percepatan produktivitas jam kerja = 463,401 kg = 32 hari durasi percepatan.

4.2.2 Kecepatan Pekerjaan Alternatif Dengan Peningkatan Tenaga Kerja

Opsi percepatan penyelesaian proyek melalui penambahan tenaga kerja pada proyek Replace 54in Sea Water Line diasumsikan sejumlah 60% dihasilkan melalui kenaikan produktivitas harian karena tambahan jam kerja = 463,401 kg – Produktivitas harian normal = 193,084 kg / 193,084 kg x 100% = 60% atau 0.6. Perhitungan penambahan tenaga kerja = 60% x 3 orang = 2 orang. Perhitungan produktivitas harian normal = 193,084 kg + $\left(\frac{193,084 \text{ kg} \times 2 \text{ orang}}{3 \text{ orang}}\right)$ = 321,806 kg.

Berikut merupakan tabel 3.

Tabel 3. akselerasi produktivitas penambahan tenaga kerja

No	Uraian Pekerjaan	Indeks(%)	Early Workforce	Labor Addition	Prod. Perc.
1	Pekerjaan drawing engineering	193,084	3	2	321,806
2	Pekerjaan pengadaan material	135,393	2	2	270,785
3	Pekerjaan produksi cutting marking	123,666	4	3	216,416
4	Pekerjaan produksi fit-up	121,393	3	2	202,321
5	Pekerjaan produksi welding	113,569	4	3	198,745
6	Pekerjaan finishing	122,114	6	4	203,524
7	Pekerjaan UT & painting	125,197	4	3	219,095
8	Pekerjaan packing delivery	108,615	4	3	190,076

Perhitungan *crash duration* yang menggunakan opsi penambahan tenaga kerja didasarkan pada volume pekerjaan sebesar

14481,28 kg dibagi dengan produktivitas percepatan tenaga kerja sebesar 406,943 kg sehingga didapat *crash duration* selama 45 hari.

4.2.3 Biaya Normal dan Biaya Crash Alternatif Penambahan Jam Kerja dan Tenaga Kerja

Biaya normal adalah biaya langsung yang dialokasikan guna merampungkan setiap pekerjaan proyek[23]. Dalam waktu normal, biaya tenaga kerja normal per hari diasumsikan sebesar Rp. 150.000 x 3 tenaga kerja awal x 14 hari = Rp. 6.300.000. Biaya *crash* dengan menambah 4 jam kerja untuk setiap pekerjaan diasumsikan sebesar Rp. 100.000 + Rp. 150.000 biaya harian normal = Rp. 250.000. Perhitungan biaya lembur *crash* adalah Rp. 250.000 x 32 hari durasi lembur x 2 pekerja = Rp. 16.000.000. Sedangkan biaya *crash* dengan menambah tenaga kerja dengan biaya normal adalah Rp. 150.000 x 2 orang tenaga tambahan x 45 hari *crash duration* = Rp. 13.500.000.

4.2.4 Hubungan hasil *Fault Tree Analysis* dengan *Critical Path Method*

Merujuk pada hasil analisis FTA (*Fault Tree Analysis*), aspek utama pemicu keterlambatan proyek Replace 54in Sea Water Line terdapat pada pekerjaan gambar teknik yang bermasalah terkait kesepakatan antara pemilik, kontraktor utama, dan subkontraktor. Proses gambar tidak dapat disetujui secara sepihak di lapangan karena kontraktor utama dan subkontraktor masih mengerjakan gambar sesuai permintaan pemilik. Hal ini berhubungan dengan analisis CPM (*Critical Path Method*), di mana terdapat 8 pekerjaan kritis yang bergantung pada pekerjaan gambar teknik yang menyebabkan waktu pelaksanaan proyek bertambah karena pekerjaan gambar teknik berada pada lintasan kritis dan pekerjaan terpanjang yang tertunda dalam proyek Replace 54in Sea Water Line.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian proyek Replace 54in Sea Water Line, PT. SRK menggunakan metode FTA, terdapat nilai probabilitas tertinggi pada peristiwa dasar berdasarkan perhitungan minimum set cut pada pekerjaan gambar teknik sebesar 0,0009216 dan menghasilkan 4 langkah baru untuk kontraktor proyek. Sementara itu, dengan menggunakan metode CPM, diperoleh alternatif untuk mempercepat penambahan 4 jam kerja (lembur), durasi proyek dipercepat 43 hari dan durasi normal dari 75 hari menjadi 32 hari serta biaya tambahan sebesar yaitu Rp. 16.000.000. Sementara itu, untuk percepatan penambahan pekerja alternatif, percepatan durasi

sebesar atau 43 hari lebih cepat dari durasi normal 75 hari menjadi 32 hari dan biaya tambahan sebesar yaitu Rp. 13.500.000[24].

Studi ini menunjukkan bahwa alternatif penambahan tenaga kerja lebih efisien dalam mempercepat waktu penyelesaian serta memberikan hasil biaya yang lebih optimal dibandingkan opsi penambahan jam kerja lembur, dengan beban biaya tambahan yang juga tidak terlalu tinggi. Namun, penelitian lanjutan tetap diperlukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang menyebabkan keterlambatan derajat pertama agar penelitian lebih spesifik dan melakukan penelitian dari sudut pandang pemilik untuk memperoleh informasi yang lebih detail tentang data biaya proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Dany Fauzi and S. Salim Dahda, "Implementasi Metode House of Risk Pada Evaluasi Keterlambatan Proyek Cable Tray Support di PT. SSS," vol. VIII, no. 4, pp. 6890–6899, 2023.
- [2] S. Wahyuningsih, I. I. P. Mulyatno, and I. S. J. Sisworo, "Analisa Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Reparasi dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Penjadwalan Ulang dengan Critical Path Method (CPM) pada Kapal MT. Alice XXV di Galangan Semarang," Tek. Perkapalan, vol. 11, no. 1, pp. 14–22, 2023.
- [3] Y. M. Fitriani, D. Andesta, and H. Hidayat, "Analisis Risiko Kerusakan Pada Mesin Las FCAW Dengan Pendekatan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Studi Kasus : PT. Swadaya Graha)," J. Serambi Eng., vol. 7, no. 4, 2022, doi: 10.32672/jse.v7i4.4663.
- [4] F. D. Yanti and S. S. Dahda, "Penataan Layout Gudang Penyimpanan Material dan Peralatan Pendukung di PT . Swadaya Graha," vol. 20, no. 1, pp. 225–230, 2022.
- [5] N. S. br Ginting and R. Kristiana, "Analisis Efektivitas Pengendalian Risiko Kecelakaan Kerja Pada Pekerja Proyek Konstruksi Menggunakan Metode Fine dan Fault Tree Analysis," Teknik, vol. 41, no. 2, pp. 192–200, 2020, doi:10.14710/teknik.v39i3.20265.
- [6] A. D. Pradiani and N. Nurhasanah, "Analisis Faktor Keterlambatan COD Proyek PLN UIP Kalbagtim dengan Metode Analytical Hierarchy Process dan Fault Tree Analysis," J. Al-AZHAR Indones. SERI SAINS DAN Teknol., vol. 6, no. 1, p. 34, 2021, doi: 10.36722/sst.v6i1.639.
- [7] H. D. Z. Putri, I. P. Mulyatno, and P. Manik, "Studi Manajemen Risiko dengan Metode FTA dan FMEA akibat Keterlambatan Proyek Pembangunan Kapal Perintis KM. Sabuk Nusantara 72," Tek. Perkapalan, vol. 8, no. 3, pp. 368–374, 2020.
- [8] T. Iluk, A. Ridwan, and S. Winarto, "Penerapan Metode CPM Dan PERT Pada Gedung Parkir 3 Lantai Grand Panglima Polim Kediri," J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil, vol. 3, no. 2, p. 162, 2020, doi: 10.30737/jurmateks.v3i2.1054.
- [9] N. M. Astari, A. M. Subagyo, and K. Kusnadi, "Perencanaan Manajemen Proyek Dengan Metode Cpm (Critical Path Method) Dan Pert (Program Evaluation and Review Technique)," Konstruksia, vol. 13, no. 1, p. 164, 2022, doi: 10.24853/jk.13.1.164-180.
- [10] Y. Eko, "Analisis Tingkat Produktivitas Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Baja," Universitas Islam Indonesia, 2020.
- [11] D. Analysa, S. Suhudi, dan P. D. Rahma, "Evaluasi Keterlambatan Proyek Pembangunan Graha Mojokerto Service City (GMSC) dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)," Reka Buana, vol. 4, no. 2, hlm. 112–119, 2019.
- [12] A. M. T. Ginting, G. N. Riswinanda, R. T. N. Hutabarat, dan R. Wikansari, "Analisis persaingan ekspor tekstil Indonesia dengan Vietnam," Jurnal Manajemen dan Ekonomi Kreatif, vol. 2, no. 1, hlm. 205–213, 2024.
- [13] S. Sugiyarto, S. Qomariyah, dan F. Hamzah, "Analisis network planning dengan CPM (Critical Path Method) dalam rangka efisiensi waktu dan biaya proyek," Matrik Teknik Sipil, vol. 1, no. 4, hal. 408, 2013.
- [14] B. Khrisdamara and D. Andesta, "Analisis Penyebab Kerusakan Head Truck-B44 Menggunakan Metode FMEA dan FTA (Studi Kasus : PT. Bima, Site Pelabuhan Berlian)," J. Serambi Eng., vol. 7, no. 3, 2022, doi: 10.32672/jse.v7i3.4255.
- [15] A. Lestari and N. A. Mahbubah, "Analisis Defect Proses Produksi Songkok Berbasis Metode FMEA Dan FTA di Home - Industri

- Songkok GSA Lamongan,” J. Serambi Eng., vol. 6, no. 3, 2021, doi: 10.32672/jse.v6i3.3254.
- [16] A. Syarifudin and J. T. Putra, “Analisa Risiko Kegagalan Komponen pada Excavator Komatsu 150LC dengan Metode FTA DAN FMEA DI PT. XY,” J. InTent, vol. 4, no. 2, pp. 1–10, 2021.
- [17] R. Duyo, “Analisis Penyebab Gangguan Jaringan pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis,” J. Tek. Elektro UNISMUH, vol. 12, no. 2, pp. 1–12, 2020, [Online]. Available: <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/vertex/article/view/4017>
- [18] M. F. Perdana, B. Man, A. Hermawan, and H. S. Yudha, “Penerapan Keselamatan Kerja Dengan Metode Fault Tree Analysis Untuk Meningkatkan Produktivitas Kerja Di Pd . Sinar Mekar Application of Work Safety Using the Fault Tree Analysis (FTA) Method to Increase Work Productivity at UD . Blooming Light,” vol. 13, no. 2, 2020.
- [19] S. N. Trisaid, “Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Kegiatan Rig Service Menggunakan Metode Hirarc Dengan Pendekatan Fta,” J. Ilm. Tek. Ind., vol. 8, no. 1, pp. 25–33, 2020, doi: 10.24912/jitiuntar.v8i1.6343.
- [20] A. T. Rahman, “Analysis of Inventory Control of Perishable Goods with Capital Constraints and Warehouse Capacity Using the Lagrange EOQ Method (Case Study UD. XYZ),” Adv. Sustain. Sci. Eng. Technol., vol. 5, no. 3, p. 02303014, 2023, doi: 10.26877/asset.v5i3.17225.
- [21] N. Sa’adah, E. Iqrammah, and T. Rijanto, “Evaluasi Proyek Pembangunan Gedung Stroke Center (Paviliun Flamboyan) Menggunakan Metode Critical Path Method (CPM) Dan Crashing,” Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil, vol. 3, no. 2, pp. 55–62, 2022, doi: 10.26740/proteksi.v3n2.p55-62.
- [22] W. Hermawan, “Single Sign On Using Keycloak Integrated Public Key Infrastructure for User Authentication In Indonesia’s Electronic Based Government System,” Adv. Sustain. Sci. Eng. Technol., vol. 5, no. 2, p. 0230204, 2023, doi: 10.26877/asset.v5i2.15795.
- [23] P. F. Dewi and Z. R. Kamandang, “Optimizing Project Performance by Applying the Crashing Method to Road Construction Project,” Adv. Sustain. Sci. Eng. Technol., vol. 5, no. 2, p. 0230203, 2023, doi: 10.26877/asset.v5i2.15944.
- [24] S. H. Ali and D. Widyaningrum, “Quality Control Analysis With Statistical Quality Control (Sqc) and Failure Methodsmode Effect Analysis (Fmea) on the Production of Za Plus Fertilizer,” Adv. Sustain. Sci. Eng. Technol., vol. 6, no. 1, p. 0240104, 2023, doi: 10.26877/asset.v6i1.17358.