

ANALISIS OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA PROYEK KONSTRUKSI MENGGUNAKAN METODE *TIME COST TRADE OFF*

Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kantor XYZ, Jakarta

*(Time and Cost Optimization Analysis Of Construction Projects Using The Time Cost Trade Off Method
Case Study : XYZ Office Building Construction Project, Jakarta)*

Ita Wahyu Lina Ewinda¹, Akhmad Dofir¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Email: ita.wahyulina98@gmail.com

Diterima 31 Februari 2024, Disetujui 25 Mei 2024

ABSTRAK

Proyek Pembangunan Gedung Kantor XYZ yang berlokasi di Kedoya, Jakarta Barat mengalami keterlambatan pekerjaan dengan deviasi keterlambatan pekerjaan pada minggu ke 12 mencapai -20.13%. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis optimasi biaya dan waktu. Identifikasi faktor keterlambatan dilakukan dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan untuk pengendalian keterlambatan pekerjaan akan dilakukan *crashing* (percepatan) dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Kegiatan *crashing* yang dilakukan berupa penambahan jam kerja (lembur) atau penambahan tenaga kerja. Hasil penelitian ini, terdapat 3 *intermediate event* utama sebagai faktor penyebab keterlambatan diantaranya oleh *Owner*, oleh Kontraktor dan oleh kondisi lingkungan dan sekitar dengan nilai probabilitas 0.699. Waktu percepatan kegiatan *crashing* sebanyak 15 hari. Biaya percepatan untuk penambahan jam kerja sebesar Rp. 5.386.610.968,00 dan biaya percepatan untuk penambahan tenaga kerja sebesar Rp. 5.281.875.288,00.

Kata kunci: *optimasi biaya dan waktu, Time Cost Trade Off, faktor keterlambatan*

ABSTRACT

The XYZ Office Building Construction Project located in Kedoya, West Jakarta experienced work delays with a deviation in work delays in the 12th week reaching -20.13%. The aim of this research is to analyze cost and time optimization. Identification of delay factors is carried out using the Fault Tree Analysis (FTA) method and to control work delays, crashing (acceleration) will be carried out using the Time Cost Trade Off (TCTO) method. Crash activities are carried out in the form of additional working hours (overtime) or additional workforce. The results of this research show that there are 3 main intermediate events as factors causing delays, including the Owner, the Contractor and environmental and surrounding conditions with a probability value of 0.699. Acceleration time for crashing activities is 15 days. The acceleration fee for additional working hours is IDR. 5.386.610.968,00 and the acceleration cost for additional labor is IDR. 5.281.875.288,00.

Keywords: *cost and time optimization, Time Cost Trade Off, delay factor*

PENDAHULUAN

Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor XYZ yang berlokasi di Kedoya, Jakarta Barat mengalami keterlambatan pekerjaan sehingga pekerjaan yang berlangsung tidak sesuai dengan jadwal yang sudah direncanakan. Maka perlu dilakukan identifikasi terhadap permasalahan tersebut, dan dilakukan pengendalian baik pada biaya, waktu ataupun mutu pekerjaan. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi faktor keterlambatan serta menganalisis biaya dan waktu optimum pekerjaan proyek. Keterlambatan adalah sebagian waktu pelaksanaan yang tidak digunakan sesuai rencana kegiatan sehingga mengakibatkan satu atau lebih kegiatan berikut ini tertunda atau tidak selesai sesuai jadwal yang direncanakan [1].

Fault Tree Analysis (FTA)

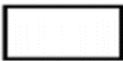
Fault Tree Analysis adalah metode untuk mengidentifikasi semua kemungkinan penyebab kegagalan sistem dan memberikan dasar untuk menghitung kemungkinan terjadinya kegagalan [2].

Definisi dasar dalam FTA, diantaranya [3]:

1. *Event* adalah sesuatu yang terjadi dalam sistem.
2. *Fault event* adalah sebuah *event* dimana satu dari dua modulusnya adalah kejadian yang tidak normal, sehingga mengakibatkan kegagalan atau kesalahan.
3. *Normal event* adalah sebuah *event* yang kedua modulusnya diharapkan dan cenderung terjadi pada waktu tertentu.
4. *Basic event* adalah sebuah *event* yang kedua modulusnya diharapkan dan cenderung terjadi pada waktu tertentu.
5. *Event primer* adalah sebuah *event* yang disebabkan oleh sifat di dalam komponen itu sendiri.
6. *Event sekunder* adalah *event* yang disebabkan oleh sumber dari luar.
7. *Head event* adalah *event* pada *puncak fault tree* yang dianalisa, mengakibatkan terjadinya kegagalan.

Tabel 1. Simbol – Simbol *fault tree* [4].

Primary Event Symbol	Keterangan
Basic Event 	Menggambarkan suatu <i>basic initiating fault</i> yang tidak memerlukan pengembangan atau uraian lebih lanjut
Conditioning Event 	Kondisi spesifik atau batasan yang digunakan untuk <i>logic gate</i> apapun (biasanya diutamakan digunakan pada ' <i>priority and</i> ' dan ' <i>inhibit gate</i> ')
Undeveloped Event 	Suatu ' <i>fault event</i> ' yang tidak diperiksa lebih lanjut karena keterbatasan informasi / karena dianggap kurang penting
External Event 	Suatu <i>event</i> yang sudah ada/ <i>exist</i> terlebih dahulu yang mendukung terjadinya kegagalan
Gate Symbol	Keterangan

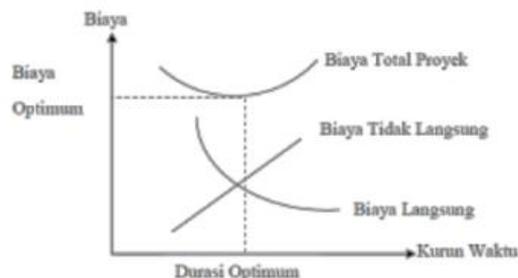
And Gate 	Menunjukkan bahwa <i>output event</i> akan terjadi jika dan hanya jika semua <i>input event</i> ada / terjadi (<i>exist</i>)
Or Gate 	Menunjukkan bahwa <i>output event</i> akan terjadi jika satu atau lebih <i>input event</i> ada / terjadi (<i>exist</i>)
Inhibit Gate 	Menunjukkan bahwa <i>output event</i> akan terjadi jika <i>input events</i> ada dan <i>inhibit condition</i> terpenuhi
Priority And 	<i>Fault output</i> akan terjadi jika semua <i>fault input</i> terjadi dengan berurutan
Intermediate Event Symbol	Keterangan
Intermediate Event 	Suatu <i>fault tree</i> yang dihasilkan dari interaksi kejadian kegagalan lainnya yang disusun menggunakan ' <i>logic gate</i> '
Transfer Symbol	Keterangan
Transfer Symbol 	Menunjukkan bahwa <i>fault tree</i> berhubungan lebih lanjut dengan <i>fault tree</i> di lembaran halaman lain

Time Cost Trade Off (TCTO)

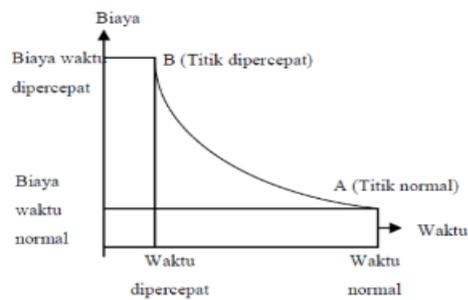
TCTO adalah proses pengujian semua pekerjaan dalam suatu proyek yang disengaja, sistematis, dan analitis, dengan fokus pada pekerjaan di jalur kritis [1]. *Crashing program* dapat dilakukan terhadap kegiatan-kegiatan yang berada dalam lintasan kritis [5].

Hubungan Waktu dan Biaya

Biaya langsung dan tidak langsung dari suatu proyek berubah sesuai dengan waktu dan kemajuan proyek. Meskipun tidak dapat diperhitungkan dengan rumus tertentu, tapi pada umumnya makin cepat proyek berjalan, maka semakin rendah kumulatif biaya tak langsung yang diperlukan [6]. Hubungan biaya total, langsung dan tidak langsung dapat dilihat pada Gambar 1 dan hubungan antara waktu dan biaya normal dan dipersingkat untuk satu kegiatan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Hubungan biaya total, biaya langsung dan biaya tidak langsung [7].



Gambar 2. Hubungan antara waktu dan biaya normal dan dipersingkat untuk satu kegiatan [7].

METODE

Metode penelitian yang akan dilakukan berupa metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan dan metode TCTO untuk analisis percepatan pekerjaan dengan menggunakan alternatif penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja. Tahapan pengerjaan metode FTA sebagai berikut [8]:

1. Mendefinisikan *problem* dan kondisi batas dari sistem. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dengan wawancara dan kuesioner.
2. Pengkonstruksian *Fault Tree*
3. Mencari *minimal cut set* dari analisa *Fault Tree* menggunakan Aljabar Boolean dan MOCUS (*Method of Obtaining Cut Sets*). Aljabar Boolean menggunakan notasi pada *logic gate* "or" dan *logic gate* "and", dimana *logic gate* "or" menggunakan tanda (+) sedangkan *logic gate* "and" menggunakan tanda (*).
4. Melakukan analisa kualitatif dari *Fault Tree* dengan menentukan faktor keterlambatan dan melakukan penjelasan secara deskriptif.
5. Melakukan analisa kuantitatif dari *Fault Tree* menggunakan teori reliabilitas. Keandalan/*reliability* dapat didefinisikan sebagai nilai probabilitas bahwa suatu komponen atau suatu sistem akan sukses menjalani fungsinya, dalam jangka waktu dan kondisi operasi tertentu. Keandalan bernilai antara angka 0 – 1, dimana nilai 0 menunjukkan sistem gagal menjalankan fungsi dan 1 menunjukkan sistem 100 % berfungsi.

Tahapan analisis TCTO dengan alternatif penambahan jam kerja sebagai berikut [9]:

1. Perhitungan Produktivitas Jam Normal

$$\text{Produktivitas jam normal} = \text{volume} / \text{durasi}$$

.....(1)
2. Perhitungan *crashing*

$$\text{Crashing} = \text{volume} / ((\text{produktivitas jam normal} \times 8) + (1 \times \text{produktivitas jam normal}))$$

.....(2)
3. Perhitungan durasi percepatan

$$\text{Durasi percepatan (jam)} = \text{hari} - (\text{hari} - \text{crashing}) \times 8$$

.....(3)
4. Produktivitas jam dipercepat

$$\text{Produktivitas jam dipercepat} = (\text{volume}) / (\text{durasi}$$

dipercepat)(4)

5. Waktu lembur

$$\text{Waktu lembur perhari} = (\text{produktivitas jam dipercepat} - \text{produktivitas jam normal}) / (\text{produktivitas jam normal}) \times 8 \times \text{koef. Penurunan}$$

.....(5)
6. Upah lembur

$$\text{Upah lembur} = \text{jumlah tenaga kerja} \times \text{tambahan jam lembur} \times \text{upah biaya lembur per jam}$$

.....(6)
7. Biaya percepatan

$$\text{Biaya percepatan} = \text{biaya normal} + \text{total upah lembur}$$

.....(7)
8. Slope biaya

$$\text{Slope biaya perhari} = ((\text{Biaya dipercepat} - \text{Biaya Normal}) / ((\text{durasi normal} - \text{durasi percepatan})))$$

.....(8)
9. Slope biaya setelah *crashing*

$$\text{Slope biaya setelah crashing} = \text{slope biaya perhari} \times \text{durasi percepatan (durasi dilihat tiap item pekerjaan)}$$

.....(9)

Tahapan analisis TCTO dengan alternatif penambahan tenaga kerja sebagai berikut [9]:

1. Menghitung jumlah dan upah tenaga kerja normal

$$\text{Jumlah tenaga kerja} = (\text{koef.tenaga kerja} \times \text{volume}) / (\text{durasi normal})$$

.....(10)
2. Menghitung jumlah dan upah tenaga kerja dipercepat

$$\text{Jumlah tenaga kerja} = (\text{koef.tenaga kerja} \times \text{volume}) / (\text{durasi dipercepat})$$

.....(11)
3. Slope biaya akibat percepatan (*crashing*)

$$\text{Slope biaya akibat crashing} = ((\text{Biaya dipercepat} - \text{Biaya Normal}) / ((\text{Waktu Normal} - \text{Waktu dipercepat})) \times \text{waktu dipercepat}$$

.....(12)
4. Biaya Percepatan

$$\text{Biaya percepatan} = \text{slope biaya} \times \text{durasi percepatan}$$

.....(13)

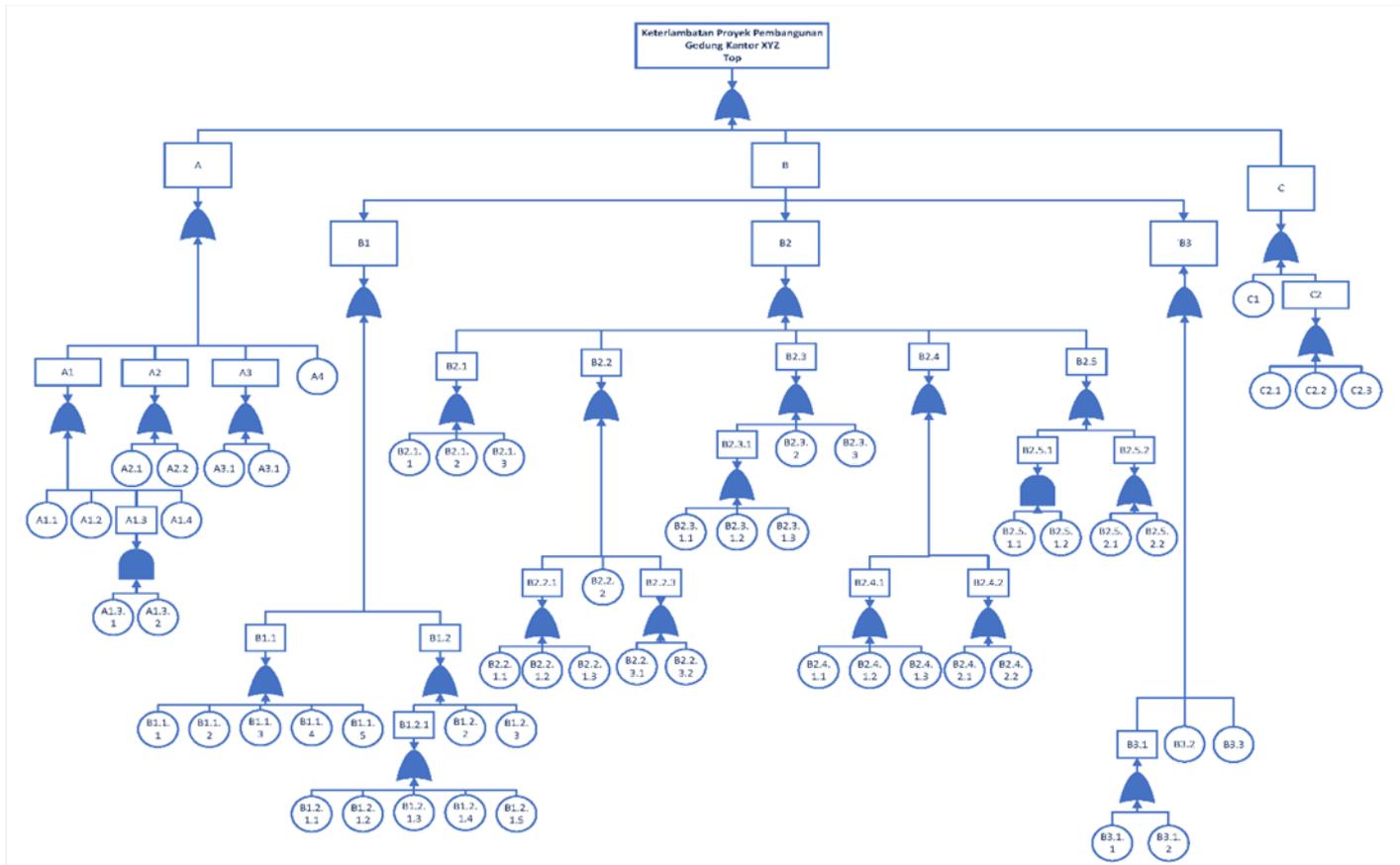
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan faktor penyebab keterlambatan berdasarkan hasil wawancara dengan tenaga ahli yang terlibat dalam pembangunan proyek. Setelah penentuan faktor penyebab keterlambatan, selanjutnya faktor-faktor tersebut disusun berdasarkan detail peristiwa (Lihat Tabel 2. – Tabel 4.) sehingga dapat dibentuk *fault tree* (Lihat Gambar 3.) dengan menggunakan simbol-simbol *fault tree* dan *logic gate* yang sesuai untuk mempermudah perhitungan *minimal cut set*.

Tabel 2. Detail Peristiwa sebagai faktor penyebab keterlambatan.

Kode Kejadian	Nama Kejadian
A	Terlambatnya pengambilan tindakan oleh owner
A1	Terlambatnya owner dalam mengambil keputusan
A1.1	Terlambatnya merevisi dan menyetujui perubahan desain
A1.2	Terlambatnya menyetujui approval material
A1.3	Adanya modifikasi pada kontrak
A1.3.1	Penambahan atau pengurangan pekerjaan
A1.3.2	Penggantian pekerjaan
A1.4	Penerapan standar yang terlalu tinggi pada setiap pekerjaan
A2	Terlambatnya owner dalam melakukan pembayaran
A2.1	Terlambatnya angsuran pembayaran kontraktor
A2.2	Kesalahan dalam pengelolaan keuangan proyek
A3	Terkendala komunikasi kepada pihak terkait
A3.1	Kurang koordinasi dan komunikasi oleh owner kepada manajemen konstruksi dan Kontraktor
A3.2	Terlambat pemilik memberikan instruksi
A4	Pekerjaan yang terhambat akibat kurangnya kesiapan lahan
B	Pelaksanaan pekerjaan oleh kontraktor tidak berjalan lancar
B1	Kurang matangnya perencanaan dan pengontrolan oleh kontraktor
B1.1	Kurangnya perencanaan kerja kontraktor
B1.1.1	Tidak lengkapnya identifikasi permasalahan pada setiap pekerjaan
B1.1.2	Rencana kerja yang tidak tersusun dengan baik
B1.1.3	Penentuan durasi waktu yang tidak sesuai
B1.1.4	Metode pelaksanaan pekerjaan yang tidak tepat
B1.1.5	Action plan mingguan yang tidak berjalan
B1.2	Kurangnya sistem pengontrolan
B1.2.1	Kurangnya pengawasan dan kontrol terhadap pekerjaan
B1.2.1.1	Kontrol target pekerjaan tidak sesuai dari rencana
B1.2.1.2	kurangnya kontrol terhadap kualitas pekerjaan
B1.2.1.3	Kurangnya kontrol terhadap desain dan perubahannya
B1.2.1.4	kurangnya kontrol perhitungan material
B1.2.1.5	Buruknya pengarahan kepada tenaga kerja
B1.2.2	Perbedaan jadwal main kontraktor dengan vendor lain dalam penyelesaian pekerjaan
B1.2.3	Monitoring dan evaluasi tidak berjalan
B2	Sistem produksi tidak berjalan dengan baik
B2.1	Terjadinya kesalahan pada desain
B2.1.1	kurang memadai dan jelasnya penjelasan gambar detail pada desain
B2.1.2	Timbulnya perbedaan gambar dalam dokumen desain
B2.1.3	Terlambatnya penyampaian perubahan desain terbaru ke lapangan
B2.2	Kurang optimalnya tenaga kerja
B2.2.1	Kurangnya tingkat produktivitas tenaga kerja
B2.2.1.1	Terlambatnya pekerja memasuki lahan kerjanya
B2.2.1.2	Banyaknya pekerja usia kurang produktif dalam proyek

Kode Kejadian	Nama Kejadian
B2.2.1.3	Terjadinya pekerjaan rework dan repair
B2.2.2	Ketersediaan tenaga kerja yang kurang memadai terhadap lahan
B2.2.3	Terjadinya mogok kerja
B2.2.3.1	Terlambatnya pembayaran kepada mandor
B2.2.3.2	Pekerja menginginkan kenaikan upah kerja
B2.3	Ketersediaan dan kualitas material kurang memadai
B2.3.1	ketersediaan material
B2.3.1.1	Terlambatnya kedatangan material
B2.3.1.2	Tidak adanya supplier terhadap spek material
B2.3.1.3	jumlah material yang dikirim tidak tepat
B2.3.2	Adanya perubahan spesifikasi dan tipe material
B2.3.3	banyaknya kualitas material yg tidak sesuai standar
B2.4	Ketersediaan dan optimalisasi peralatan kurang memadai
B2.4.1	Ketersediaan peralatan kurang memadai
B2.4.1.1	Terlambatnya pengadaan alat kerja
B2.4.1.2	Bergantinya pemakaian alat kerja
B2.4.1.3	Mudah rusaknya peralatan yang digunakan
B2.4.2	Kurangnya optimalisasi dan kapasitas peralatan
B2.4.2.1	Penggunaan alat pada pekerja yang bukan ahlinya
B2.4.2.2	Kurang produktif dan efisien dalam penggunaan alat
B2.5	Kurang mendukungnya karakteristik lahan proyek
B2.5.1	Sempitnya kebutuhan ruang kerja
B2.5.1.1	Banyaknya keluhan mandor atau subkon terhadap tempat penyimpanan material yang sempit
B2.5.1.2	Banyaknya keluhan terhadap ruang kerja dan kesiapan lahan di lapangan
B2.5.2	Lokasi proyek yang kurang mendukung
B2.5.2.1	Seringnya komplain dan demo oleh warga sekitar proyek
B2.5.2.2	Banyaknya keluhan vendor material terhadap akses keluar masuk material
B3	Kurangnya sistem manajemen pada kontraktor
B3.1	Komunikasi dan koordinasi tidak berjalan
B3.1.1	Kurangnya koordinasi antar staf di lapangan
B3.1.2	Kurangnya komunikasi kontraktor dengan konsultan dan owner
B3.2	Kesalahan pengarahan staf teknik dalam pekerjaan
B3.3	seringnya perubahan job description pada pelaksana di lapangan
C	Terhambatnya pekerjaan oleh kondisi lingkungan dan sekitarnya
C1	Intensitas cuaca atau tingginya curah hujan/panas
C2	Adanya permasalahan dengan warga sekitar
C2.1	kesulitan sosialisasi dan negosiasi amdal terhadap warga
C2.2	Terganggunya warga karena proyek terlalu berdekatan
C2.3	Banyaknya kerusakan pada bangunan warga sekitar

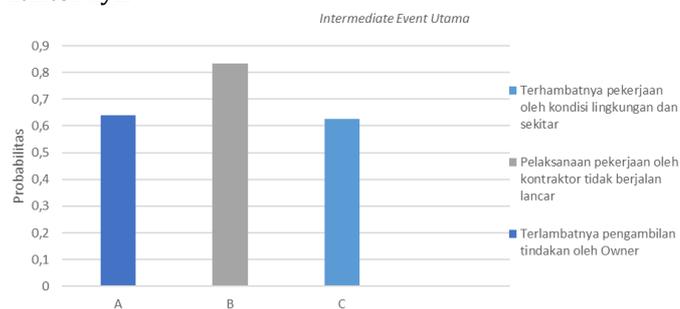


Gambar 3. Hubungan biaya total, biaya langsung dan biaya tidak langsung.

Terdapat 3 kategori *intermediate event*, diantaranya keterlambatan akibat owner, keterlambatan akibat kontraktor dan keterlambatan akibat kondisi lingkungan (Lihat Tabel 2., Tabel 3. Tabel 4. Dan Gambar 3.). Item *base event* yang selanjutnya dapat digunakan sebagai data kuesioner dengan menggunakan kriteria rating probabilitas (Lihat Tabel 5.). pada hasil kuesioner dapat diketahui *basic event* dominan yang menjadi faktor penyebab keterlambatan pada tiap *intermediate event*.

Nilai probabilitas yang didapatkan dari hasil pengisian kuesioner kemudian digunakan untuk perhitungan kombinasi *Cut Set pada OR Gate* (dengan rumus penjumlahan) dan *AND Gate* (dengan rumus perkalian).

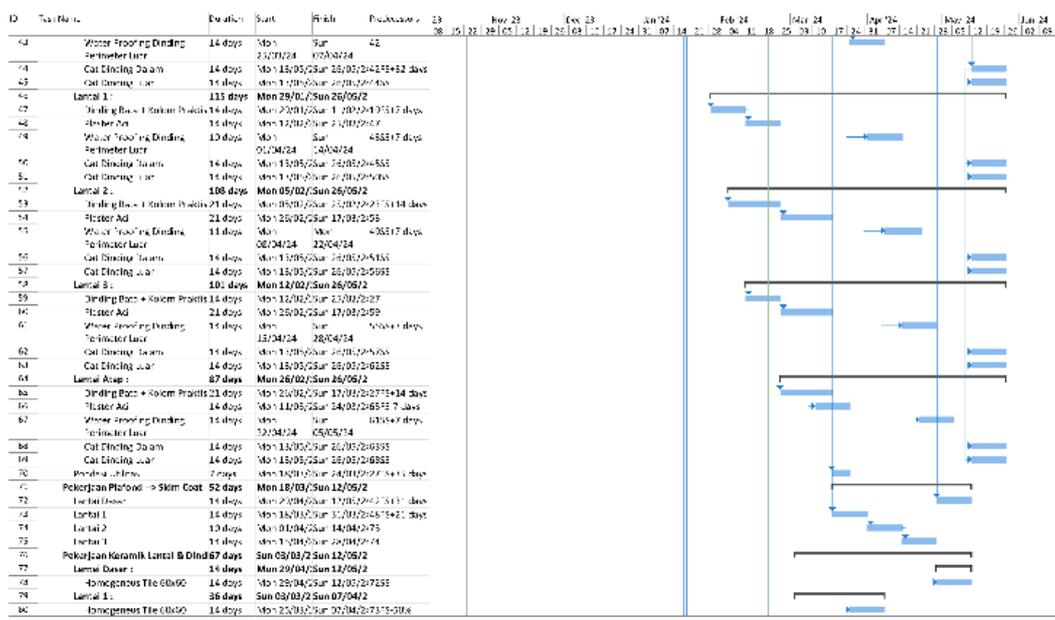
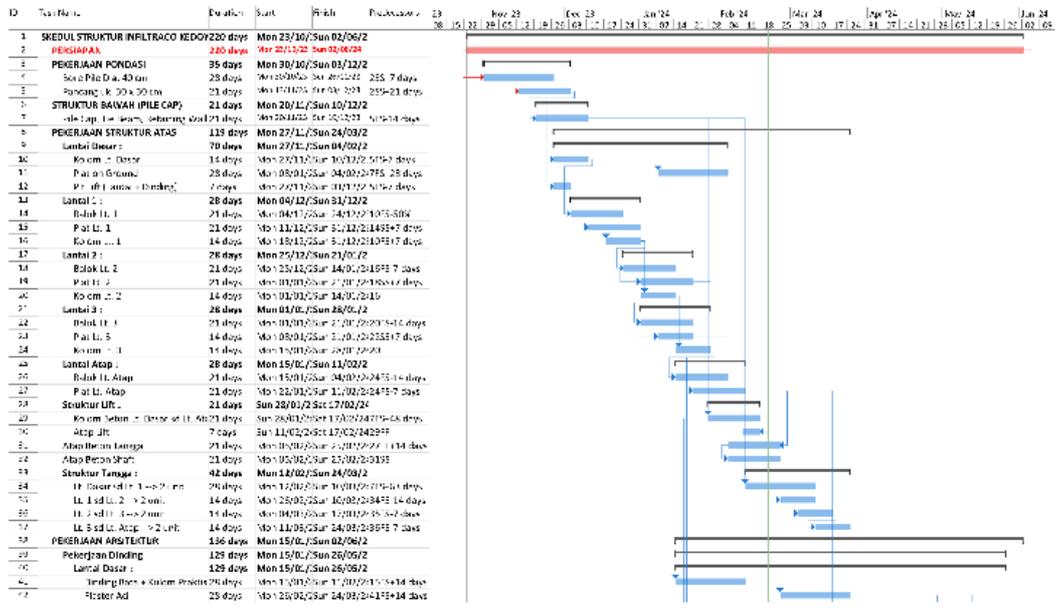
Perhitungan kombinasi *cut set* dilakukan untuk mendapatkan nilai probabilitas pada setiap *intermediate event* utama dan probabilitas dari keseluruhan peristiwa penyebab keterlambatan pembangunan proyek gedung kantor xyz.

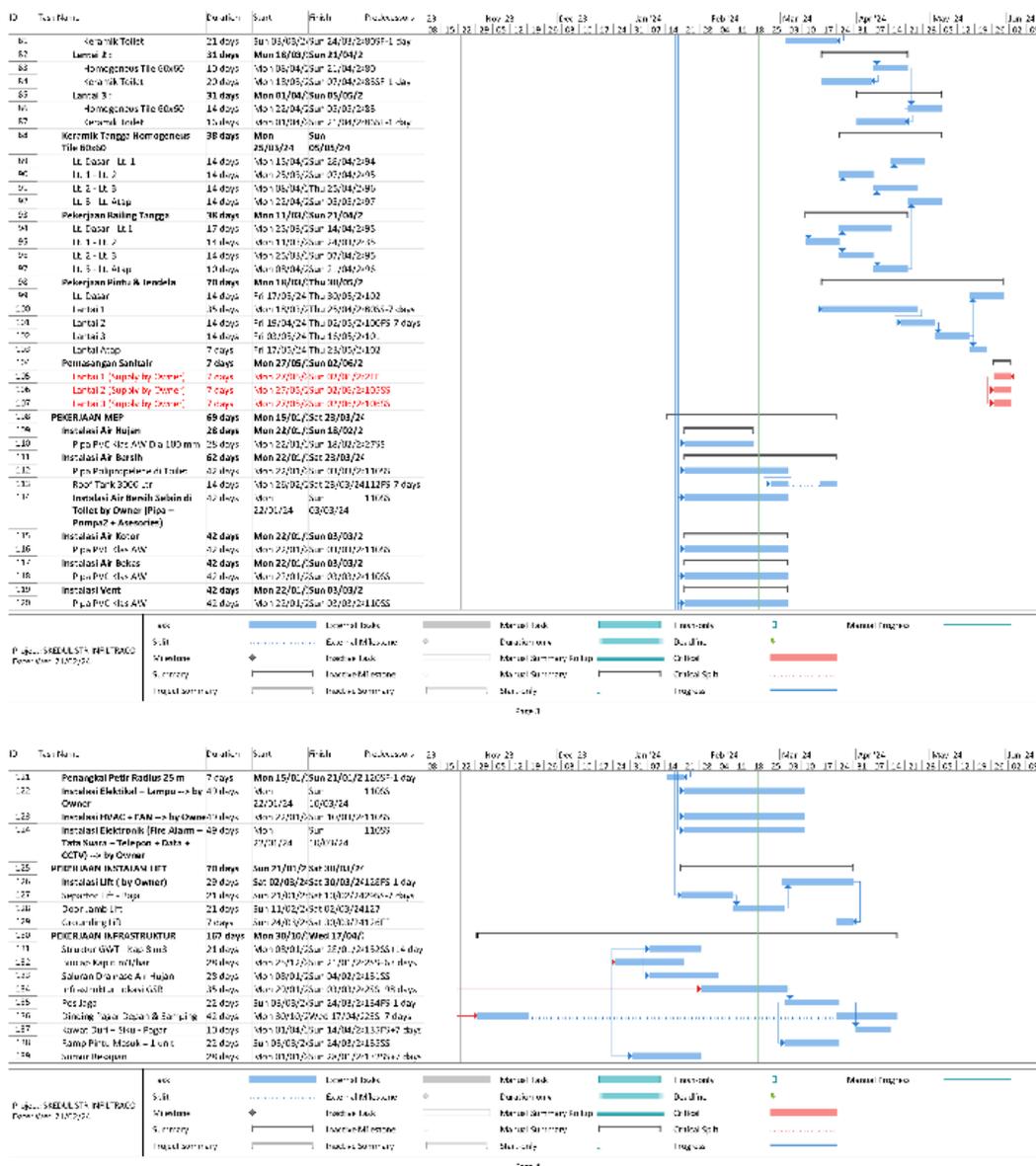


Gambar 4. Grafik perbandingan probabilitas *minimal cut set* dari tiap *intermediate event* utama.

Pada Gambar 4. dapat diketahui bahwa peristiwa kejadian dari terlambatnya pengambilan tindakan oleh *owner* memiliki probabilitas 0,639 (Bar 'A'). Sedangkan peristiwa kejadian dari pelaksanaan pekerjaan oleh Kontraktor tidak berjalan lancar memiliki probabilitas tertinggi sebesar 0.833 (Bar 'B'). Peristiwa kejadian dari terhambatnya pekerjaan oleh kondisi lingkungan dan sekitar memiliki probabilitas 0.625 (Bar 'C'). Probabilitas dari keseluruhan peristiwa penyebab "Keterlambatan pembangunan proyek Gedung Kantor XYZ" adalah 0.699.

Pada Analisa dengan metode TCTO perlu dilakukan penyusunan jaringan kerja yang berisi lintasan-lintasan kegiatan dan urutan peristiwa yang ada selama pelaksanaan proyek. Untuk memudahkan dalam Penyusunan jaringan kerja maka dibantu dengan *Microsoft Project* dengan tetap mengacu pada *schedule* rencana Kurva S (Lihat Gambar 5., Gambar 6., Gambar 7., dan Gambar 8.). Pada jaringan kerja ini terdapat lintas jalur kritis. Hasil pembuatan jaringan kerja dengan *Microsoft Project* tidak sama dengan hasil di lapangan. Sehingga pekerjaan yang digunakan sebagai analisa percepatan (*crashing*) merupakan pekerjaan Struktur Atas.





Gambar 5. Jaringan Kerja dengan bantuan Microsoft Project (Lanjutan)

Pada Gambar 5. dapat diketahui pekerjaan struktur atas memiliki durasi pekerjaan normal 119 hari. Pada Tabel 3. berikut dapat diketahui pekerjaan struktur atas memiliki biaya normal Rp. 5.191.731.026,00.

Tabel 3. Crash Cost Total Kondisi Normal pada Pekerjaan Struktur Atas.

Uraian Pekerjaan	Vol.	Sat	HSP (Rp)	Total (Rp)
Lt. Dasar				
Kolom	50.77	m3	7,337,855	72,553,910
Plat on Ground	126.90	m3	2,383,294	302,444,722
Pit Lift	4.79	m3	6,815,731	32,613,545
Lantai 1				
Balok	50.72	m3	7,183,577	364,336,677
Plat Lt.	69.54	m3	5,378,867	374,029,961
Kolom	29.39	m3	7,665,155	225,301,133
Lantai 2				
Balok	51.38	m3	7,386,840	379,546,191
Plat Lt.	72.37	m3	5,523,755	399,746,856
Kolom	21.26	m3	8,176,978	173,849,909
Lantai 3				
Balok	51.97	m3	7,590,797	394,492,977
Plat Lt.	72.07	m3	5,683,132	409,602,428
Kolom	22.96	m3	8,399,905	192,880,287
Lantai Atap				

Uraian Pekerjaan	Vol.	Sat	HSP (Rp)	Total (Rp)
Balok	67.81	m3	7,533,758	510,849,335
Plat Lt.	76.39	m3	7,957,081	607,826,400
Struktur Lift				
Kolom Beton	11.56	m3	10,805,599	116,351,670
Atap Lift	4.32	m3	6,505,104	28,120,263
Atap Beton Tangga	7.05	m3	7,328,099	51,594,217
Atap Beton Shaft	3.25	m3	8,955,530	29,130,547
Struktur Tangga				
Lt. Dasar sd Lt. 1	10.00	m3	8,450,000	84,500,000
Lt. 1 sd Lt. 2	7.00	m3	5,571,429	39,000,000
Lt. 2 sd Lt. 3	7.00	m3	6,685,714	46,800,000
Lt. 3 sd Lt. Atap	7.00	m3	8,022,857	56,160,000
TOTAL				5,191,731,026

Penambahan Jam Kerja

Pada percepatan dengan penambahan jam kerja (lembur) dilakukan perhitungan menggunakan rumus pada persamaan 1 sampai 9. Dengan dilakukan perhitungan

menggunakan rumus tersebut, maka dapat diketahui durasi percepatan, biaya percepatan dan *cost slope* setelah *crashing*.

Tabel 4. *Crash Cost* Penambahan Jam Kerja (Lembur 4 Jam) pada Pekerjaan Struktur Atas.

Uraian Pekerjaan	Durasi <i>Crashing</i> (hari)	Total Upah lembur 4 jam (Rp)	<i>Cost Slope</i> setelah <i>Crashing</i> (Rp)
Lantai Dasar :			
Kolom	11	3,296,072	29,230,870
Plat on Ground	22	862,602	23,745,662
Pit Lift	5	4,457,319	-5,745,369
Lantai 1 :			
Balok	16	3,823,924	-11,058,057
Plat Lt.	16	2,897,767	-11,346,942
Kolom	11	3,950,084	17,618,979
Lantai 2 :			
Balok	16	4,215,639	-11,599,900
Plat Lt.	16	3,187,543	-12,159,644
Kolom	11	4,587,950	13,632,073
Lantai 3 :			
Balok	16	4,631,618	-12,020,237
Plat Lt.	11	3,506,298	32,111,540
Kolom	11	5,041,450	15,085,669
Lantai Atap :			
Balok	16	4,845,195	-15,521,940
Plat Lt.	16	4,880,417	-18,476,648
Struktur Lift :			
Kolom Beton	16	7,138,926	- 3,418,306
Atap Lift	5	14,378,727	149,330,237
Atap Beton Tangga	16	4,218,532	-1,354,065
Atap Beton Shaft	16	5,449,664	-967,265
Struktur Tangga :			
Lt. Dasar sd Lt. 1	22	1,300,000	6,639,286
Lt. 1 sd Lt. 2	11	857,143	3,064,286
Lt. 2 sd Lt. 3	11	1,028,571	3,677,143
Lt. 3 sd Lt. Ata	11	1,234,286	4,412,571
TOTAL			194,879,941

Berdasarkan Tabel 4 diketahui total *cost slope* setelah *crashing* Rp. 194.879.941,00, sehingga total *crash cost* untuk pekerjaan struktur atas dengan penambahan jam kerja (lembur 4 jam) adalah:

Total *Crash Cost* = *Normal Cost*+*Slope Cost* setelah *Crashing*
 Total *Crash Cost* = Rp. 5.191.731.026,00 + Rp. 194.879.941,00 = Rp 5.386.610.968,00.

Penambahan Tenaga Kerja

Pada percepatan dengan penambahan tenaga kerja dilakukan perhitungan menggunakan rumus pada persamaan 10 sampai 13. Dengan dilakukan perhitungan menggunakan rumus tersebut, maka dapat diketahui durasi percepatan, jumlah tenaga kerja waktu normal, jumlah

tenaga kerja waktu dipercepat dan biaya percepatan.

Tabel 5. *Crash Cost* Penambahan Tenaga Kerja pada Pekerjaan Struktur Atas

Uraian Pekerjaan	Jumlah Tenaga Kerja Waktu Normal (OH)				Jumlah Tenaga Kerja Waktu Crashing (OH)			
	P	T	KT	M	P	T	KT	M
Lantai Dasar :								
Kolom	4	1	1	1	5	1	1	1
Plat on Ground	5	1	1	1	6	1	1	1
Pit Lift	1	1	1	1	1	1	1	1
Lantai 1 :								
Balok	3	1	1	1	4	1	1	1
Plat Lt.	4	1	1	1	5	1	1	1
Kolom	3	1	1	1	3	1	1	1
Lantai 2 :								
Balok	3	1	1	1	4	1	1	1
Plat Lt.	4	1	1	1	5	1	1	1
Kolom	2	1	1	1	2	1	1	1
Lantai 3 :								
Balok	3	1	1	1	4	1	1	1
Plat Lt.	6	1	1	1	7	1	1	1
Kolom	2	1	1	1	3	1	1	1
Lantai Atap :								
Balok Lt. Atap	4	1	1	1	5	1	1	1
Plat Lt. Atap	4	1	1	1	5	1	1	1
Struktur Lift :								
Kolom Beton	1	1	1	1	1	1	1	1
Atap Lift	1	1	1	1	1	1	1	1
Atap Beton Tangga	1	1	1	1	1	1	1	1
Atap Beton Shaft	1	1	1	1	1	1	1	1
Struktur Tangga :								
Lt. Dasar sd Lt. 1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lt. 1 sd Lt. 2	1	1	1	1	1	1	1	1
Lt. 2 sd Lt. 3	1	1	1	1	1	1	1	1
Lt. 3 sd Lt. Atap	1	1	1	1	1	1	1	1

Pada Tabel 5, dapat diketahui jumlah penambahan tenaga kerja untuk percepatan. Pada Tabel 6. dapat diketahui biaya percepatan dengan penambahan tenaga kerja Rp. 90.144.261,00, sehingga sehingga total *crash cost* untuk pekerjaan struktur atas dengan penambahan tenaga kerja adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total Crash Cost} &= \text{Normal Cost} + \text{Slope Cost setelah Crashing} \\ \text{Total Crash Cost} &= \text{Rp. 5.191.731.026,00} + \text{Rp. 90.144.261,00} \\ &= \text{Rp 5.281.875.288,00.} \end{aligned}$$

Tabel 6. *Crash Cost* Penambahan Tenaga Kerja pada Pekerjaan Struktur Atas (Lanjutan).

Uraian Pekerjaan	Durasi Crashing (hari)	Cost Slope Akibat Crashing (Rp)	Biaya Percepatan (Rp)
Lantai Dasar :			
Kolom	11	548,727	1,646,182
Plat on Ground	22	1,390,364	8,342,182
Pit Lift	5	632,000	1,264,000
Lantai 1 :			
Balok Lt. 1	16	898,750	4,493,750
Plat Lt. 1	16	1,178,438	5,892,188
Kolom Lt. 1	11	939,273	2,817,818
Lantai 2 :			
Balok Lt. 2	16	898,750	4,493,750
Plat Lt. 2	16	1,178,438	5,892,188
Kolom Lt. 2	11	792,818	2,378,455
Lantai 3 :			
Balok Lt. 3	16	898,750	4,493,750
Plat Lt. 3	11	841,636	2,524,909
Kolom Lt. 3	11	255,818	767,455
Lantai Atap :			
Balok Lt. Atap	16	1,178,438	5,892,188

Uraian Pekerjaan	Durasi Crashing (hari)	Cost Slope Akibat Crashing (Rp)	Biaya Percepatan (Rp)
Plat Lt. Atap	16	1,178,438	5,892,188
Struktur Lift :			
Kolom Beton	16	1,234,375	6,171,875
Atap Lift	5	632,000	1,264,000
Atap Beton Tangga	16	1,234,375	6,171,875
Atap Beton Shaft	16	1,234,375	6,171,875
Struktur Tangga :			
Lt. Dasar sd Lt. 1	22	1,292,727	7,756,364
Lt. 1 sd Lt. 2	11	646,364	1,939,091
Lt. 2 sd Lt. 3	11	646,364	1,939,091
Lt. 3 sd Lt. Atap	11	646,364	1,939,091
TOTAL			90,144,261

Berdasarkan analisis percepatan dengan penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja pada struktur atas dapat diketahui:

1. Durasi normal pekerjaan: 119 hari.
2. Durasi pekerjaan dipercepat: 104 hari.
3. Total Biaya Normal: Rp. 5.191.731.026,00.
4. Total Biaya dengan Penambahan Jam Kerja: Rp 5.386.610.968,00.
5. Total Biaya dengan Penambahan Tenaga Kerja: Rp 5.281.875.288,00.

- [7] I. I. Soeharto, Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional), Jakarta: Erlangga, 1995.
- [8] D. Priyanta, Keandalan dan Perawatan, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2000.
- [9] B. I. Laksana, "Aplikasi Metode Time Cost Trade Off Untuk Mengoptimalkan Waktu dan Biaya Pekerjaan Proyek Pada Pembangunan Gedung Pengairan Universitas Brawijaya," Universitas Brawijaya, Malang, 2017.

KESIMPULAN

Penyebab keterlambatan pada proyek gedung kantor XYZ terdiri dari 3 *Intermediate Event* Utama, diantaranya yaitu terlambatnya pengambilan tindakan oleh *Owner*, pelaksanaan pekerjaan oleh Kontraktor tidak berjalan lancar dan terhambatnya pekerjaan oleh kondisi lingkungan dan sekitar. Nilai probabilitas dari keseluruhan peristiwa penyebab keterlambatan adalah 0.699.

Optimasi pekerjaan Konstruksi Pembangunan Gedung Kantor XYZ menggunakan metode TCTO lebih efektif dan efisien dengan menggunakan alternatif penambahan tenaga kerja dibandingkan dengan penambahan jam kerja. Hal ini dibuktikan dengan biaya percepatan untuk penambahan jam kerja sebesar Rp. 5.386.610.968,00. Sedangkan biaya percepatan untuk penambahan tenaga kerja sebesar Rp. 5.281.875.288,00 dengan kondisi kedua kegiatan tersebut memiliki waktu percepatan yang sama yaitu 15 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. I. Ervianto, Teori - Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi, Yogyakarta: Andi, 2004.
- [2] D. M. Rosyid, Pengantar Rekayasa Keandalan, Surabaya: Airlangga University Press, 2007.
- [3] D. B. Brown, Systems Analysis & Design for Safety, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1976.
- [4] D. Kececioglu, Reliability Engineering Handbook (Vol. 1), Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1991.
- [5] A. Husen, Manajemen Proyek, Yogyakarta: Andi, 2009.
- [6] R. Saputro, "Analisa Percepatan Dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Pembangunan Hotel Ijen Pajajaran Malang," Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, 2015.