

**PERANCANGAN DASHBOARD AKSI MITIGASI
PENCEGAHAN KETERLAMBATAN PROYEK PERAKITAN
REAR CONE NC212i MENGGUNAKAN FAULT TREE
ANALYSIS DI PT. ABC**

**MITIGATION ACTION DASHBOARD DESIGN
PREVENTION OF ASSEMBLY PROJECT DELAYS
REAR CONE NC212i USING FAULT TREE
ANALYSIS AT PT. ABC**

Reanatami Irawan¹, Wawan Tripiawan², Devi Pratami³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹reanatami@telkomuniversity.ac.id, ²wawantripiawan@telkomuniversity.ac.id,

³devipratami@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

PT. ABC telah melaksanakan proyek perakitan *rear cone* NC212i yang mengalami masalah berupa keterlambatan di lima operasi dan banyaknya material issue semenjak tahun 2017 meskipun proyek baru dilaksanakan tahun 2020. Proses evaluasi keterlambatan proyek pun dilakukan dengan metode *Fault tree analysis* dan *method of obtaining cut sets* (MOCUS) yang bertujuan mengetahui sumber masalah.

Proses evaluasi keterlambatan dimulai dari identifikasi pekerjaan yang terlambat berdasarkan data laporan kemajuan proyek dan data keterlambatan proyek. Tahapan evaluasi berikutnya adalah melakukan identifikasi prasyarat dan menyusun kombinasi faktor-faktor keterlambatan. Penyusunan kombinasi faktor ini terbagi jadi empat jenis yaitu kejadian, agen, faktor, dan sub-faktor keterlambatan. Proses evaluasi selanjutnya adalah penggambaran pohon kesalahan atau *Fault tree analysis* (FTA) dilanjutkan dengan analisis MOCUS yang bertujuan mencari minimal cut set.

Ketiga faktor keterlambatan tersebut diberikan solusi pencegahan masing-masing. Penentuan solusi tersebut dikaitkan dengan aspek-aspek yang ada berupa manusia (man), metode (method), dan informasi (information). Solusi aksi mitigasi pencegahan keterlambatan berupa rancangan sistem yang mengintegrasikan ketiga aspek tersebut. Proses evaluasi keterlambatan ini disusun ke dalam sebuah *dashboard* berbasis *spreadsheet* untuk mempermudah pemahaman dan visualisasi pihak perusahaan. Proyek ini telah selesai dilaksanakan sehingga hasil penelitian akan digunakan sebagai *lesson learned* untuk proyek selanjutnya.

Kata Kunci: keterlambatan, evaluasi keterlambatan proyek, *fault tree analysis*, MOCUS, dan faktor keterlambatan

Abstract

PT. ABC has carried out the NC212i rear cone assembly project which experienced problems in the form of delays in five operations and many material issues since 2017 even though the project was only implemented in 2020. The evaluation process for project delays is also carried out using the *Fault tree analysis* method and the *method of obtaining cut sets* (MOCUS). aims to identify the source of the problem.

The delay evaluation process starts from the identification of late work based on project progress report data and project delay data. The next evaluation stage is to identify prerequisites and develop a combination of factors for delay. The preparation of this combination of factors is divided into four types, namely events, agents, factors, and delay sub-factors. The next evaluation process is *Fault tree analysis* (FTA) followed by MOCUS analysis which aims to find the minimum cut set.

The three delay factors are given their respective preventive solutions. Determination of the solution is associated with aspects that exist in the form of man, methods, and information. The solution for the delay mitigation action is in the form of a system design that integrates these three aspects. This delay evaluation process is compiled into a spreadsheet-based dashboard to make it easier for the company to understand and visualize. This project has been completed so that the results of the research will be used as lessons learned for the next project.

Keywords— *delay, evaluation of project delay, fault tree analysis, MOCUS, and delay factors*

I. Pendahuluan

PT. ABC adalah perusahaan yang melakukan produksi pesawat terbang demi memenuhi kebutuhan industri penerbangan sipil, operasi militer, dan misi khusus. PT. ABC melakukan tanda tangan kontrak dengan TNI AU pada tahun 2017. Kontrak tersebut berupa proyek pembuatan pesawat NC212i sebanyak sembilan pesawat dalam jangka waktu 22 bulan. Kesembilan pesawat tersebut harus dikirimkan ke Bandara Abdul Rachman Saleh di Kabupaten Malang, Jawa Timur. Masalah pun timbul dalam proyek ini yang menyebabkan hingga awal tahun 2021 baru satu pesawat yang selesai diproduksi.

Pesawat NC212i ini sendiri adalah versi terbaru dari pesawat tipe sebelumnya yaitu NC212-200 dan NC212-400. Kedua tipe tersebut awalnya diproduksi di San Pablo, Spanyol. Tahun 2004-2008, produksi NC212 dipindahkan ke Bandung dan PT. ABC menjadi satu-satunya perusahaan yang memproduksi jenis NC212. Berikut adalah gambar dari pesawat NC212i:



Gambar I. 1 Pesawat NC212i (PT. ABC, 2021)

Pesawat terdiri dari beberapa bagian atau dapat disebut *sub-assembly* yang salah satunya adalah bagian *rear cone*. Proyek perakitan *rear cone* pesawat NC212i yang pertama dengan nomor program NC212i-400 MOAC dan nomor perakitan 212-24150-5A03 terdiri dari lima operasi utama yang terlambat. Proyek *sub assembly* tersebut telah selesai dan berdasarkan laporan data yang dimiliki terdapat *behind schedule* dengan *delay* yang cukup jauh. Maksimal *delay* yang terjadi adalah 384 hari untuk fabrikasi material *forward frame*. Berikut adalah beberapa data *delay* dari fabrikasi material:

Tabel I. 1 Data *Delay* Fabrikasi Material (PT. ABC, 2021)

	Max of Basic start date	Max of Basic finish date	Max of Actual start time	Max of Actual finish date	Delay (FP-FA)	Unit	LT
ANGLE	21/01/2019	13/02/2019	21/01/2019	19/02/2019	6	Days	29
BUMPER	18/04/2018	04/06/2018	18/04/2018	31/05/2018	-4	Days	43
CENTER FORMER	04/06/2020	17/09/2020	04/06/2020	16/09/2020	-1	Days	104
CENTRAL FORMER	13/05/2020	20/05/2020	15/07/2020	30/09/2020	133	Days	77
CENTRAL WALL	19/02/2018	26/02/2018	22/05/2018	15/08/2018	170	Days	85
CENTER WALL	16/01/2018	23/01/2018	23/05/2018	15/08/2018	204	Days	84
FORWARD FRAME	05/11/2018	14/11/2018	05/11/2018	03/12/2019	384	Days	393

Berdasarkan tabel I.1 adalah data fabrikasi material yang didapat dari PT. ABC. Material pada tabel tersebut bukanlah material baku akan tetapi *standard part* yang diperlukan untuk keperluan fabrikasi *rear cone*. Data LT (*Lead Time*) berasal dari PT. ABC. FP dan FA pada kolom *delay* adalah singkatan dari finish plan dan finish actual. Oleh karena itu, rumus menghitung *delay* pada tabel 1.2 adalah:

$$\text{Fabrication Delay} = \text{Max of actual finish date} - \text{Max of basic finish date}$$

Beberapa fabrikasi material yang berjalan sesuai rencana jadwal namun ada beberapa yang *delay* atau ditunda hingga ratusan hari. Contohnya material *forward frame* menurut rencana seharusnya selesai maksimal tanggal 5 November 2018 namun pada kenyataannya baru selesai tanggal 3 Desember 2019 yang mana dapat disimpulkan terjadi *delay* selama 384 hari. Selain itu, untuk beberapa material baku terdapat masalah berupa keterlambatan. Berikut adalah beberapa data keterlambatan untuk pemesanan dan fabrikasi material baku:

Tabel I. 2 Data *Material Ticket* (PT. ABC, 2021)

Part Number	Mat_Spec	Material Description	Issue_MT	Start_DM	Finish_DM	Terlambat_DM (+) Terlambat MT (-)	LT_DM
212-2350-0-01.1	2024-T3-QQ-A-250/5-0.8X1220X36 60MM	ALUMINUM SHEET	04/06/2020	02/06/2020	09/09/2020	-2	99
212-2350-0-01.2	2024-T3-QQ-A-250/5-0.8X1220X36 60MM	ALUMINUM SHEET	10/08/2020	10/08/2020	23/09/2020	0	44
212-2350-0-02.1	2024-T3-QQ-A-250/5-0.8X1220X36 60MM	ALUMINUM SHEET	06/11/2017	07/11/2017	22/12/2017	1	45

Tabel I.2 menyajikan informasi jadwal pemesanan material baku dengan disertai nomor spesifikasi dan part nya. MT adalah singkatan dari *material ticket* dan DM adalah singkat dari *detailed manufacturing*. *Issue_MT* adalah data tanggal material tertentu telah sampai dari vendor. *Start_DM* adalah data jadwal mulainya fabrikasi material tertentu dan *finish_DM* adalah data selesainya fabrikasi material tertentu.

Kolom terlambat_DM (+) terlambat MT (-) berisi informasi jika material baku telat fabrikasi ditandai dengan nilai positif dan material baku yang datang terlambat ditandai dengan nilai negatif. Nilai pada kolom terlambat_DM (+) terlambat MT (-) diperoleh dari pengurangan *start_DM* dengan *issue_MT*. LT_DM adalah *lead time* untuk fabrikasi material baku dan data pada kolom tersebut

berasal dari PT. ABC. Berikutnya masalah pada aktualisasi jadwal proyek. Berikut laporan jadwal proyek untuk *sub-assembly rear cone*:

Tabel I. 3 Laporan Keterlambatan Proyek Perakitan *Rear cone* (PT. ABC, 2021)

MATERIAL SUB ASSY	Material & Operation	Plan_Start	Plan_Finish	Act. Start	Act. Finish	Delay (FP- FA)	Unit
212- 24150- 5A03020- 001.00	SUB ASSY REAR CONE					ON	
212- 24150- 5A03020- 003.00	INSTALL PARTITION WALL, COVER AND ANGLES	16/10/2019	23/10/2019	04/06/2020	22/07/2020	273	Days
212- 24150- 5A03020- 004.00	INSTALL LH AND RH SIDE FROM FRAME 27 TO	21/10/2019	25/10/2019	20/05/2020	22/07/2020	271	Days
212- 24150- 5A03020- 005.00	INSTALL LH AND RH SIDE STRINGERS AND ANG	22/10/2019	29/10/2019	18/06/2020	28/07/2020	273	Days
212- 24150- 5A03020- 006.00	INSTALL THE UPPER SKINS	28/10/2019	01/11/2019	25/06/2020	24/07/2020	266	Days
212- 24150- 5A03020- 007.00	INSTALL LH AND RH OF SIDE SKINS	31/10/2019	06/11/2019	08/07/2020	20/07/2020	257	Days

Berdasarkan tabel I.3, banyak terjadi ketidak sesuaian antara rencana jadwal dengan realisasinya. Data pada baris pertama adalah produk akhir atau tujuan akhir berupa perakitan *rear cone*. Lima operasi di bawahnya adalah daftar operasi dalam perakitan *rear cone* yang terlambat. Data pada kolom *delay* diperoleh dari rumus:

$$\text{Operation Delay} = \text{Actual Finish} - \text{Plan Finish}$$

Rencana menyatakan kelima operasi tersebut seharusnya dimulai dan selesai pada tahun 2019 namun realisasinya baru dapat dimulai dan selesai tahun 2020. Data di atas juga menyebutkan terjadi *delay* atau penundaan pada lima operasi dengan rata-rata 268 hari. Maka kesimpulan permasalahan yang terjadi adalah proyek ini mengalami keterlambatan atau *delay* yang sangat besar. Penelitian ini akan berfokus pada evaluasi keterlambatan jadwal proyek perakitan *rear cone* pesawat NC212i di PT. ABC.

Keterlambatan suatu proyek memang sering terjadi. Banyak ahli telah melakukan penelitian penyebab umum suatu keterlambatan proyek. Ervianto (2005) menyatakan bahwa keterlambatan adalah waktu pengerjaan suatu kegiatan yang tidak dimanfaatkan sesuai rencana yang telah dibuat sehingga menimbulkan dampak berupa satu atau lebih kegiatan lain ikut tertunda atau tidak selesai tepat waktu. Penyebab keterlambatan itu sendiri dipengaruhi banyak faktor contohnya faktor penjadwalan, material, komunikasi antar *stakeholder*, tenaga kerja, dan lain-lain.

Pernyataan ini didukung oleh Assaf (1995) yang menyebutkan jika terdapat sebelas hal yang menyebabkan proyek terlambat. Hal-hal tersebut adalah material, tenaga kerja, peralatan, biaya, perubahan desain, hubungan dengan instansi terkait, penjadwalan dan pengendalian, lambatnya prosedur pengawasan dan pengujian, lingkungan, kontrak, dan tidak ada konsultan manajer profesional. Hasil penelitian Haseeb (2011) menggunakan metode relative importance index (RII)

menyimpulkan jika terdapat lima faktor utama terlambatnya proyek yaitu *time overrun*, *cost overrun*, pengabaian (*abandonment*), negosiasi dan kasus pengadilan, dan *disputes*.

Disputes adalah masalah yang terjadi antara para 8 pemangku kepentingan (*stakeholder*) atau tiap *stakeholder* memiliki masalah berbeda dan perlu waktu yang lama untuk mengetahui penyebabnya lalu menentukan solusi yang tepat (Saputra, 2017). Ada banyak pilihan metode untuk mencari tahu bahkan menyelesaikan masalah keterlambatan proyek, salah satunya adalah metode *Fault tree analysis* (FTA). *Fault tree analysis* (FTA) memiliki fungsi untuk mengidentifikasi kegagalan suatu sistem dengan pendekatan *top-down* yang artinya adalah menganalisis dari kondisi keterlambatan atau secara umum lalu meneruskan ke bawah sehingga ditemukan penyebabnya (Analysa, 2019).

Yinan (2016) menyatakan bahwa FTA dipertimbangkan sebagai cara paling sederhana, efektif, dan prospektif untuk analisis sistem yang kompleks. Alasannya karena *Fault tree analysis* (FTA) mengandalkan hubungan logis sistem antara kecelakaan yang mungkin terjadi dan penyebabnya. FTA menyediakan dasar yang andal untuk penentuan beberapa tindakan keamanan dan bertujuan untuk memprediksi dan mencegah kecelakaan atau kejadian yang tidak diinginkan. Cara kerja metode *Fault tree analysis* (FTA) dapat disimpulkan menjadi empat tahapan utama yaitu identifikasi pekerjaan yang terlambat, identifikasi faktor keterlambatan, penggambaran konstruksi *Fault tree analysis* (FTA), dan analisa konstruksi *Fault tree analysis* (FTA) dengan metode analisa MOCUS (Analysa, 2019).

MOCUS adalah metode untuk menghitung *cut set* dan minimalnya berapa. Selain MOCUS juga terdapat metode penyederhanaan aljabar Boolean untuk menyimpulkan set potongan minimal (Hu Yinan, 2016). Berdasarkan permasalahan yang terjadi berupa *delay* atau keterlambatan pada beberapa operasi perakitan *sub assembly rear cone* NC212i, penulis memutuskan untuk melakukan evaluasi keterlambatan proyek perakitan *rear cone* pesawat NC212i menggunakan metode *Fault tree analysis* (FTA) yang kemudian dibuat rencana aksi mitigasi agar mencegah terjadinya keterlambatan di proyek berikutnya.

Konsepnya melakukan analisis dari atas atau masalah umum hingga ke bawah untuk mencari tahu penyebabnya. Setelah penyebab permasalahan diketahui maka 9 penulis akan menyusun solusi untuk mencegah atau mengatasi keterlambatan lainnya di proyek selanjutnya. Alasan di proyek selanjutnya adalah karena proyek perakitan *rear cone* pesawat NC212i telah selesai dilaksanakan sehingga solusi ini akan menjadi *lesson learned* bagi proyek selanjutnya.

II. Metode Penelitian

FTA pertama kali diciptakan oleh H. A. Watson dan M. A. Mearns di Laboratorium Bell pada tahun 1961. Awalnya ditujukan untuk membantu desain sistem rudal *minuteman* Angkatan Udara Amerika Serikat. FTA telah banyak digunakan di berbagai bidang seperti otomotif, *aerospace*, dan industri nuklir (Kabir, 2018). *Fault tree analysis* (FTA) memiliki fungsi untuk mengidentifikasi kegagalan suatu sistem dengan pendekatan *top-down* yang artinya adalah menganalisis dari kondisi keterlambatan atau secara umum lalu meneruskan ke bawah sehingga ditemukan penyebabnya (Analysa, 2019).

Yinan (2016) menyatakan bahwa FTA dipertimbangkan sebagai cara paling sederhana, efektif, dan prospektif untuk analisis sistem yang kompleks. Alasannya karena *Fault tree analysis* (FTA) mengandalkan hubungan logis sistem antara kecelakaan yang mungkin terjadi dan 25 penyebabnya. FTA menyediakan dasar yang andal untuk penentuan beberapa tindakan keamanan dan bertujuan untuk memprediksi dan mencegah kecelakaan atau kejadian yang tidak diinginkan

Cara kerja metode *Fault tree analysis* (FTA) dapat disimpulkan menjadi empat tahapan utama yaitu identifikasi pekerjaan yang terlambat, identifikasi faktor keterlambatan, penggambaran konstruksi *Fault tree analysis* (FTA), dan Analisa konstruksi *Fault tree analysis* (FTA) dengan metode analisis

MOCUS (Analysa, 2019). MOCUS adalah metode untuk menghitung *cut set* dan *minimalnya* berapa. Selain MOCUS juga terdapat metode penyederhanaan aljabar Boolean untuk menyimpulkan set potongan *minimal* (Hu Yinan, 2016).

Kabir (2018) menyebutkan terdapat dua level analisis yang dilakukan setelah pembuatan konstruksi *Fault tree analysis* (FTA). Pertama adalah level kualitatif yang biasa dilakukan untuk mengurangi pohon kesalahan ke *minimal cut sets*, yang merupakan jumlah terpisah dari produk yang terdiri dari kombinasi terkecil peristiwa dasar yang diperlukan dan cukup untuk menyebabkan peristiwa puncak. Kedua adalah level kuantitatif yang mana pada level ini peluang munculnya *top event* dan indeks reliabilitas kuantitatif lain seperti pengukuran penting dihitung secara matematis. Hasil dari level kuantitatif yaitu analisis indikasi keandalan sistem dan penentuan komponen sistem yang lebih kritis.

II.1 Simbol-Simbol *Fault tree*

Fault tree terdiri dari tiga nodes yaitu *events*, *gates*, dan transfer (Kabir, 2018). Berikut simbol-simbol untuk *nodes event*:

Tabel II. 1 Simbol-Simbol *Nodes Event*

Gambar Simbol	Nama Simbol	Keterangan
	<i>Basic event</i>	Kesalahan awal atau dasar yang tidak perlu pengembangan atau perluasan lebih lanjut.
	<i>Undeveloped event</i>	Kejadian yang kontribusinya tidak dipertimbangkan di analisis karena tidak penting atau keterbatasan informasi.
	<i>Intermediate event</i>	Kesalahan yang disebabkan kombinasi logis kejadian lain yang sedang terjadi di bagian bawah pohon.
	<i>Normal event</i>	Tidak melambangkan kesalahan dan merupakan bagian dari nominalnya perilaku sistem.
	<i>Conditioning Event</i>	Tidak melambangkan kesalahan namun sebagai kondisi spesial atau batasan untuk tipe <i>gates</i> tertentu.

Berikut simbol-simbol untuk *gates event*:

Tabel II. 2 Simbol-Simbol *Gates Event*

Gambar Simbol	Nama Simbol	Keterangan
	<i>OR gate</i>	<i>output event</i> terjadi jika setidaknya salah satu <i>input event</i> terjadi
	<i>AND gate</i>	<i>output event</i> terjadi jika seluruh <i>input event</i> terjadi
	<i>XOR gate</i>	<i>Output event</i> terjadi jika satu dan hanya satu dari <i>input event</i> terjadi.
	<i>INHIBIT gate</i>	<i>Output event</i> terjadi jika satu-satunya <i>input event</i> terjadi dengan adanya <i>conditioning event</i>

Berikut simbol-simbol untuk transfer event:

Tabel II. 3 Simbol-Simbol *Transfer Event*

Gambar Simbol	Nama Simbol	Keterangan
	<i>Transfer in</i>	Ketika pohon dikembangkan lebih lanjut dan cabang yang terhubung ke simbol ini ditampilkan di halaman lain pada
		simbol <i>transfer out</i> yang sesuai.
	<i>Transfer out</i>	Menunjukkan cabang pohon ini sesuai dengan simbol <i>transfer in</i> yang ditentukan sebelumnya dan harus dilampirkan dengan simbol <i>transfer in</i> .

III.2 Method of Obtaining Cut sets (MOCUS)

MOCUS adalah pendekatan *top-down* dan merupakan salah satu algoritma analisis *Fault tree analysis* utama. Algoritma ini dimulai dari kejadian puncak *fault tree* dan secara rekursif menjelajah *fault tree* dengan memperluas intermediate event ke *basic event* yang berkontribusi (Kabir, 2018). Sederhananya MOCUS adalah kumpulan *basic event* yang menjadi faktor terjadinya suatu kesalahan.

Berikut adalah tahapan algoritma MOCUS:

1. Membuat tabel yang mana setiap baris merepresentasikan sebuah *cut set* dan setiap kolom merepresentasikan sebuah *basic event*.
2. Memasukkan *top event* dari *fault tree* di kolom pertama pada baris pertama.
3. Amati seluruh tabel dan untuk setiap gerbang *fault tree*:
 - a. Jika AND gate maka masukkan masing-masing ke kolom baru
 - b. Jika OR gate maka masukkan masing-masing ke baris baru
4. Ulangi tahap 3 hingga semua gerbang *fault tree* diperiksa dan tabel hanya terdiri dari *basic event*
5. Gunakan hukum Boolean untuk menghilangkan seluruh redundansi di dalam tabel.
6. Jika terdapat dua kejadian sama di baris yang sama maka hilangkan satu (Hukum Idempotent)
7. Sebuah baris dapat dihilangkan jika mengandung semua elemen di baris lainnya (Hukum Absorption)

III. Hasil dan Pembahasan

III.1 Identifikasi Pekerjaan Yang Terlambat

Tahap pertama untuk proses evaluasi keterlambatan ialah melakukan identifikasi pekerjaan mana saja yang mengalami keterlambatan (*delay*). Identifikasi ini bertujuan mengetahui sisi mana saja yang bermasalah sehingga bisa dilanjutkan analisis lebih detail. Tahap pertama ini membutuhkan data dari laporan kemajuan proyek dan data keterlambatan. Berikut adalah daftar pekerjaan yang terlambat:

Tabel III. 1 Pekerjaan yang Terlambat

Material Sub Assy	Nama Operasi	Deskripsi Pekerjaan	Plan Start	Plan Finish	Act Start	Act Finish
212-24150-5A03020-003.00	INSTALL PARTITION WALL, COVER AND ANGLES	Pemasangan partition wall, cover dan angles	16/10/2019	23/10/2019	04/06/2020	22/07/2020
212-24150-5A03020-004.00	INSTALL LH AND RH SIDE FROM FRAME 27 TO	Pemasangan sisi LH dan RH dari frame 27	21/10/2019	25/10/2019	20/05/2020	22/07/2020
212-24150-5A03020-005.00	INSTALL LH AND RH SIDE STRINGERS AND ANG	Pemasangan sisi LH dan RH stringers dan ang	22/10/2019	29/10/2019	18/06/2020	28/07/2020
212-24150-5A03020-006.00	INSTALL THE UPPER SKINS	Pemasangan kulit bagian atas	28/10/2019	01/11/2019	25/06/2020	24/07/2020
212-24150-5A03020-007.00	INSTALL LH AND RH OF SIDE SKINS	Pemasangan sisi LH dan RH kulit samping	31/10/2019	06/11/2019	08/07/2020	20/07/2020

III.2 Identifikasi Prasyarat

Tahap kedua adalah proses evaluasi keterlambatan proyek adalah identifikasi prasyarat. Prasyarat disini maksudnya adalah segala input yang dibutuhkan untuk melakukan suatu proses ataupun suatu komponen terdiri dari apa saja. Identifikasi prasyarat dibutuhkan untuk mempermudah tahapan selanjutnya. Berikut adalah tabel identifikasi prasyarat:

Tabel III. 2 Identifikasi Prasyarat

Nomor	Komponen	Pembentuk	Sub-Pembentuk
1	Material	Standard Part	
		Vendor Part	
		Fabrikasi Part	
2	Fabrikasi	Schedule Management Plan	Activity List /WBS
			Milestone List
			Routing/network diagrams
			Schedule baseline/project schedule
			Project calendars
		Cost Management Plan	Bill of Material
			WBS
			Fabrication Cost Baseline/ RAB
		Engineering Drawing	
		Material	Standard Part
			Vendor Part
		Mesin dan Alat	
		SDM	

Tabel III.1 menunjukkan informasi terdapat tiga komponen yang akan diidentifikasi yaitu material, fabrikasi, dan *assembly*. Komponen material terdiri dari *standard part* sebagai part dasar keperluan fabrikasi, *vendor part* sebagai part berasal dari vendor atau *supplier*, dan *fabrication part* sebagai part berasal dari bagian fabrikasi. Pembentuk komponen fabrikasi yaitu penjadwalan atau rencana manajemen jadwal, rencana manajemen biaya, gambar teknik, material, mesin dan alat, dan sumber daya manusia.

Penjadwalan memiliki sub-pembentuk yaitu *activity list* atau *work breakdown structure* (WBS), *milestone list*, *routing* atau *network diagram*, *schedule baseline* atau jadwal proyek, dan kalender proyek. Rencana manajemen biaya memiliki sub-pembentuk yaitu *bill of material*, WBS, *fabrication cost baseline* atau rencana anggaran biaya (RAB). Material terdiri dari *standard part* dan *vendor part*. Komponen *assembly* memiliki pembentuk yang sama dengan fabrikasi namun bedanya semua sub pembentuk khusus untuk tahap *assembly* atau perakitan. Material untuk *assembly* terdiri dari *spare part* atau *fabrication part*.

III.3 Identifikasi Faktor Keterlambatan

Tahapan berikutnya adalah menyusun segala kemungkinan faktor-faktor keterlambatan yang menyebabkan masalah ini terjadi. Masalah utama proyek dan penelitian ini adalah terjadi keterlambatan di lima operasi perakitan *rear cone* NC212i. Penyusunan faktor-faktor keterlambatan ini dimulai dari penentuan kejadian keterlambatan dan agen keterlambatannya. Kejadian keterlambatan terdiri dari fabrikasi dan *assembly* juga sub-kontraktor atau vendor.

Agen keterlambatan merupakan bagian dari suatu kejadian keterlambatan. Agen keterlambatan merupakan masalah-masalah umum yang terjadi pada satu kejadian umum keterlambatan. Kejadian keterlambatan fabrikasi dan *assembly* terdiri dari tujuh agen keterlambatan yaitu penjadwalan, keuangan, gambar teknik, material, mesin dan alat, SDM, dan pembatasan kerja.

Satu agen tambahan yaitu pembatasan kerja karena hal itu merupakan masalah yang sedang terjadi di proyek perakitan *rear cone* ini. Agen-agen keterlambatan fabrikasi dan *assembly* disimbolkan dengan kode-kode alfabet A hingga G. Kode G untuk agen pembatasan kerja akan berulang di kejadian keterlambatan subkon/vendor karena agen ini juga terjadi disana.

Kejadian keterlambatan sub-kontraktor/vendor terdiri dari empat agen keterlambatan yaitu kontrak, pembayaran, dan lingkungan kerja. Agen kontrak dengan kode H, agen pembayaran dengan kode I, agen lingkungan kerja dengan kode J, dan agen pembatasan kerja dengan kode G. Selanjutnya, masing-masing agen keterlambatan dirincikan lebih lanjut menjadi beberapa faktor keterlambatan. Faktor keterlambatan adalah masalah-masalah yang terjadi pada suatu agen keterlambatan. Setiap faktor diberi kode alfabet agar lebih mudah mencari dan mengingatnya dalam tabel.

Tabel III.3 Faktor Keterlambatan

Faktor Keterlambatan	Kode	Sub-Faktor Keterlambatan	Kode
Perencanaan jadwal tidak tepat	AA	Penyusunan WBS salah	AA1
		Routing salah	AA2
		Metode perhitungan salah	AA3
		SDM kurang terampil	FB
Rencana jadwal proyek yang selalu berubah	AB	Banyaknya perubahan oleh <i>owner</i>	AB1
Perencanaan anggaran tidak tepat	BA	Penyusunan BOM salah	BA1
		Penyusunan RAB salah	BA2
		Penyusunan WBS salah	AA1
		Metode perhitungan salah	AA3
		SDM kurang terampil	FB
Kekurangan dana	BB		
Gambar teknik tidak sesuai	CA	SDM kurang terampil	FB
		Kurang pengawasan	CA1
Perubahan gambar teknik	CB	Banyaknya perubahan oleh <i>owner</i>	AB1
Material tidak tersedia	DA	Barang terbatas di pasar	DA1
		Terjadi kerusakan	DA2
		Penyusunan BOM salah	BA1
Material terlambat datang	DB	Vendor telat melakukan pengiriman	DB1
		Berasal dari luar negeri	DB2
		Pengadaan yang lambat	DB3
		Keterlambatan pembayaran oleh <i>owner</i>	DB4
Perubahan material	DC	Banyaknya perubahan oleh <i>owner</i>	AB1
Mesin dan alat tidak tersedia	EA	Barang terbatas di pasar	DA1
		Terjadi kerusakan	DA2
		Penyusunan RAB salah	BA2
Mesin dan alat terlambat datang	EB	Vendor telat melakukan pengiriman	DB1
		Berasal dari luar negeri	DB2
		Pengadaan yang lambat	DB3
		Keterlambatan pembayaran oleh <i>owner</i>	DB4
Kekurangan SDM	FA		
SDM kurang terampil	FB		
Kecelakaan kerja	FC		
Konflik	FD		
Kurang menjalankan peran	FF		
Pandemik Covid-19	GA		
Pekerjaan tidak sesuai dengan kontrak	HA		
Berkas kontraktor tidak lengkap	HB		
Nego ulang harga baru atau additional	IA		
		Keterlambatan pembayaran oleh <i>owner</i>	DB4
Tabrakan lingkup kerja antar subkon	JA		
		Konflik	FD
		Kekurangan SDM	FB
Pandemik Covid-19	GA		

III.4 Konstruksi *Fault tree analysis* (FTA)

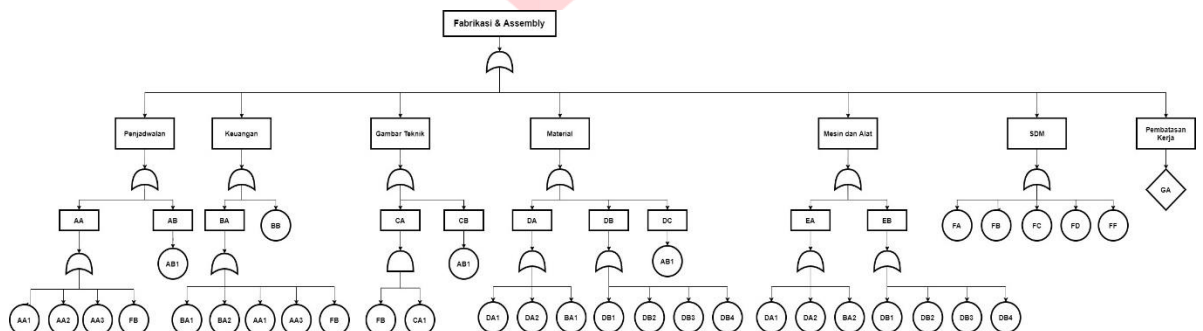
Tahapan selanjutnya adalah konstruksi *fault tree analysis*. Kode-kode keterlambatan yang telah ditentukan sebelumnya akan disusun sedemikian rupa pada pohon kesalahan agar bisa dilakukan analisis lebih lanjut. Konstruksi FTA masalah keterlambatan di penelitian ini dibagi tiga yaitu FTA umum (*general*), FTA fabrikasi dan *assembly*, dan FTA sub-kontraktor. Pembagian ini sesuai dengan kejadian keterlambatan. Penggambaran FTA di penelitian ini menggunakan *flowchart maker*

and online diagram software yang dapat di akses pada link <https://app.diagrams.net/> . Berikut adalah konstruksi FTA umum:



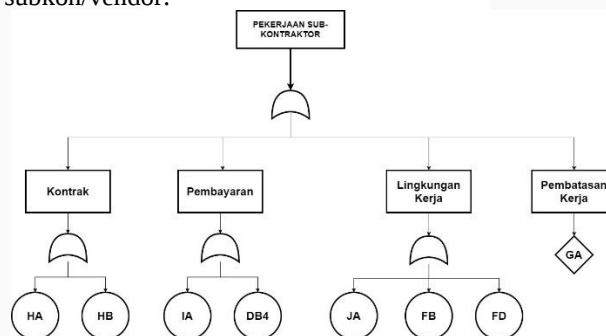
Gambar III. 1 FTA Umum

Berikut adalah FTA fabrikasi dan *assembly*:



Gambar III. 2 FTA Fabrikasi & Assembly

Berikut adalah FTA subkon/vendor:



Gambar III. 3 FTA Subkon

III.5 Analisis MOCUS

Tahapan pengolahan data yang terakhir untuk proses evaluasi keterlambatan adalah analisis MOCUS. MOCUS merupakan akronim dari *method of obtaining cut set*. Tahapan analisis MOCUS sebagai berikut:

1. Membuat tabel yang mana setiap baris merepresentasikan sebuah *cut set* dan setiap kolom merepresentasikan sebuah *basic event*.
2. Memasukkan *top event* dari fault tree di kolom pertama pada baris pertama.
3. Amati seluruh tabel dan untuk setiap gerbang *fault tree*: c. Jika AND gate maka masukkan masing-masing ke kolom baru d. Jika OR gate maka masukkan masing-masing ke baris baru

4. Ulangi tahap 3 hingga semua gerbang *fault tree* diperiksa dan tabel hanya terdiri dari *basic event*
5. Gunakan hukum Boolean untuk menghilangkan seluruh redundansi di dalam tabel.
6. Jika terdapat dua kejadian sama di baris yang sama maka hilangkan satu (Hukum Idempotent)
7. Sebuah baris dapat dihilangkan jika mengandung semua elemen di baris lainnya (Hukum Absorption)

Analisis MOCUS akan dimulai dari FTA fabrikasi & *assembly* (F&A) yang kemudian nanti hasilnya digabung dengan FTA sub-kontraktor atau vendor. Berikut tabel MOCUS F&A:

Tabel III. 4 MOCUS F&A

F&A 1			F&A 2		
AA1			AA1		
AA2			AA2		
AA3			AA3		
FB			FB		
AB1			AB1		
BA1			BA1		
BA2			BA2		
AA1					
AA3					
FB					
BB	FB	CA1	BB		CA1
AB1					
DA1			DA1		
DA2			DA2		
BA1					
DB1			DB1		
DB2			DB2		
DB3			DB3		
DB4			DB4		
AB1					
DA1					
DA2					
BA2					
DB1					
DB2					
DB3					
DB4					
FA			FA		
FB			FB		
FC			FC		
FD			FD		
FF			FF		
GA			GA		

Tabel III.4 menunjukkan beberapa sel kode diberi warna merah di tabel F&A. Hal ini berarti hukum Boolean diterapkan untuk menghilangkan seluruh 75 redundansi atau kode berulang di dalam tabel. Sementara tabel F&A 2 adalah hasil MOCUS yang berupa redundansi telah hilang. Berdasarkan FTA terdapat 34 *basic event* dan hasil MOCUS terdapat 20 kali $1 = 20.1 = 20$ *basic event* atau *minimal cut sets*.

Berdasarkan hasil tersebut, MOCUS berhasil mendapatkan *minimal cut sets*. *Minimal cut sets* adalah kombinasi kejadian kesalahan paling sedikit yang isinya merupakan *basic event*. Awalnya ada 34 *basic event* atau *cut set* namun berkurang menjadi hanya 20 *basic event*. Artinya lebih sedikit channel atau peluang terjadinya kejadian puncak (*top event*). Berikut adalah *basic event* yang termasuk *minimal cut sets* untuk F&A:

Tabel III. 5 *Basic event* MOCUS F&A

Kode	Frekuensi	Nama <i>Basic Event</i>
AA1	2	Penyusunan WBS salah
AA2	1	Routing salah
AA3	2	Metode perhitungan salah
FB	2	SDM Kurang terampil
AB1	3	Banyaknya perubahan oleh
BA1	2	Penyusunan BOM salah
BA2	2	Penyusunan WBS salah
BB	1	Kekurangan dana
CA1	1	Kurang pengawasan
DA1	2	Barang terbatas di pasar
DA2	2	Terjadi kerusakan
DB1	2	Vendor telat melakukan
DB2	2	Berasal dari luar negeri
DB3	2	Pengadaan yang lambat
DB4	2	Keterlambatan pembayaran
GA	1	Pandemik Covid-19

Tidak terdapat redundansi pada MOCUS subkon sehingga hukum Boolean tidak diterapkan. Berdasarkan FTA terdapat delapan *basic event* dan hasil MOCUS menunjukkan delapan *basic event* juga, karena tidak ada redundansi maka MOCUS tidak dapat bekerja. Oleh karena itu untuk analisis terakhir, hasil MOCUS antara F&A dengan sub-kontraktor digabungkan untuk mengetahui frekuensi tertinggi suatu *basic event*. Berikut adalah *basic event* yang paling sering muncul di seluruh FTA:

Tabel III. 6 Frekuensi *Basic event* Tertinggi

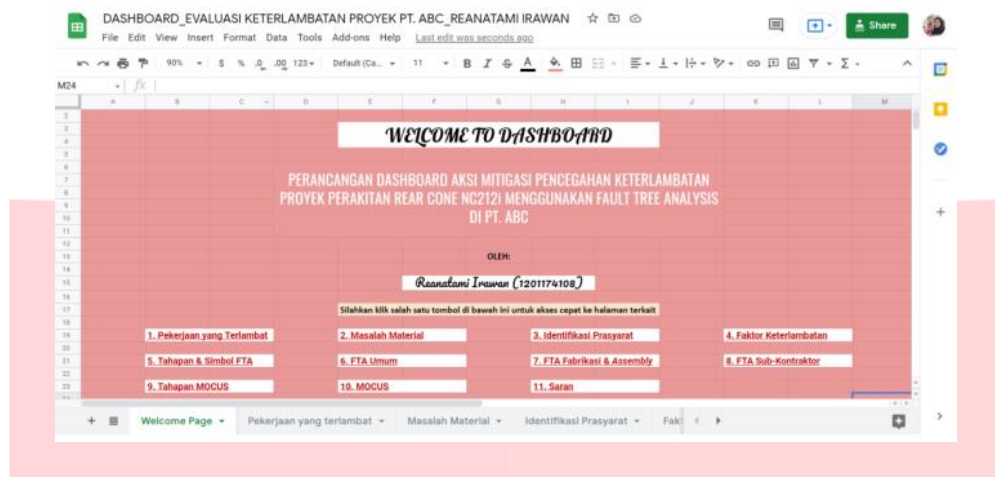
Kode	Frekuensi	Nama Faktor Keterlambatan
AB1	3	Banyaknya perubahan oleh owner
FB	3	SDM kurang terampil
DB4	3	Keterlambatan pembayaran oleh owner

Fault tree analysis menunjukkan terdapat tujuh belas OR *gate* dan dua AND *gate*. Banyaknya gate nodes menunjukkan proyek perakitan *rear cone* ini memiliki risiko keterlambatan yang tinggi. Selain itu, semakin kecil nilai minimal cut sets maka semakin kecil peluang terjadinya kerusakan atau masalah. Hal ini karena jumlah kombinasi kesalahan sedikit.

III. 6 Perancangan *Dashboard Aksi Mitigasi Pencegahan Keterlambatan*

Tahap terakhir adalah merancang *dashboard* aksi mitigasi pencegahan keterlambatan berdasarkan proses-proses pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya. *Dashboard* dirancang berbasis google *spreadsheet* agar pihak-pihak tertentu mudah mengaksesnya dan visualisasi yang sederhana namun mudah dipahami. *Dashboard* ini konsepnya semi *online*. Alasannya karena pengolahan sebagian besar dilakukan di Ms. Excel. Termasuk sebagian *online* karena untuk mengakses *dashboard* membutuhkan internet untuk membuka *spreadsheet* dan juga saat membuat konstruksi FTA dilakukan secara online pada <https://app.diagrams.net/>.

Setelah mengolah data hingga analisis MOCUS di Ms. Excel, semua data tersebut dipindahkan ke *spreadsheet* atau *copy paste*. Terdapat enam proses pengolahan data secara umum, berarti saat di *spreadsheet* akan terdapat enam *slides* (halaman) untuk tahap awal. *Dashboard* tidak lengkap tanpa adanya halaman sambutan (*welcome page*) sehingga *welcome page* diletakkan paling awal. Terdapat tambahan halaman lagi berupa halaman tahapan dan simbol FTA, tahapan MOCUS, saran aksi mitigasi, dan FTA dibagi menjadi tiga halaman yaitu FTA umum, FTA F&A, dan FTA subkon. Halaman pertama *dashboard* aksi mitigasi pencegahan keterlambatan proyek perakitan *rear cone* NC212i PT. ABC adalah halaman sambutan yang berisi informasi judul penelitian, identitas peneliti, dan tombol akses cepat ke halaman lainnya. Berikut adalah tampilan halaman sambutan:

Gambar III. 1 Halaman Sambutan *Dashboard*

Dashboard ini kelak ditujukan agar bisa diakses oleh manajer dan tim proyek. Manajer dapat menggunakan ini untuk melakukan evaluasi kesalahan di proyek berikutnya dan tim proyek dapat melihat daftar keterlambatan dan saran aksi mitigasinya. *Dashboard* aksi mitigasi pencegahan keterlambatan ini awalnya dibuat berdasarkan permasalahan pada pembuatan pesawat NC212i yang pertama. Sebelumnya diketahui masih banyak fase proyek yang harus dilakukan karena hingga Agustus 2021 pun baru dua pesawat yang selesai sehingga *dashboard* ini dapat digunakan di proyek-proyek pembuatan NC212i ketiga hingga kesembilan.

Ketika evaluasi kesalahan rutin dilakukan, manajer proyek dapat menggunakan *dashboard* ini untuk menjelaskan kepada timnya dimana saja titik kesalahan dan apa hal yang bisa dilakukan untuk mencegahnya. Tim proyek dapat terlibat dalam pengolahan data dan melakukan modifikasi pada *dashboard* jika telah diizinkan oleh manajer proyek. Manajer proyek perakitan *rear cone* NC212i ini telah menyetujui akan output berupa *dashboard* untuk penelitian ini karena sebelumnya tidak ada *dashboard* khusus untuk menangani masalah seperti ini. Beliau telah mengonfirmasi jika beberapa data dan faktor yang ditampilkan di beberapa halaman *dashboard* sudah benar dan sesuai dengan kondisi nyata di proyek. Berkaitan saran aksi mitigasi pun telah disesuaikan dengan beberapa kritik dan saran yang disampaikan oleh manajer agar aksi mitigasi lebih konkrit dan khusus untuk permasalahan PT. ABC

V. Kesimpulan

PT. ABC yang sedang melaksanakan proyek perakitan *rear cone* NC212i mengalami masalah berupa keterlambatan di lima operasi dan banyaknya material issue semenjak tahun 2017 meskipun proyek baru dilaksanakan tahun 2020. Proses perancangan dashboard aksi mitigasi pencegahan keterlambatan proyek pun dilakukan dengan metode *fault tree analysis* yang bertujuan mengetahui sumber masalah. Kebutuhan data untuk melakukan proses evaluasi adalah MBOM, *resume operation schedule*, dan *matrix skill*. Proses dimulai dari identifikasi pekerjaan yang terlambat, penyusunan faktor keterlambatan, penggambaran konstruksi *fault tree analysis* (FTA), analisis *method of obtaining cut set* (MOCUS), dan penarikan kesimpulan.

Pengolahan data sendiri dilakukan di Ms. Excel dan pembuatan FTA menggunakan *flowchart maker* and *online diagram software* yang dapat di akses pada link <https://app.diagrams.net/>. Dashboard berbasis *spreadsheet* pun mulai disusun dengan memindahkan data dari Ms. Excel dan gambar FTA ke *spreadsheet*. Dashboard dirancang berbasis google *spreadsheet* agar pihak-pihak tertentu mudah mengaksesnya dan visualisasi yang sederhana namun mudah dipahami. Penelitian ini mendapatkan hasil berupa jawaban permasalahan keterlambatan di kejadian keterlambatan fabrikasi dan assembly

juga sub-kontraktor yaitu kombinasi kejadian AB1 (Banyaknya perubahan oleh owner), FB (SDM kurang terampil), dan DB4 (Telat pembayaran oleh owner).

Ketiga faktor keterlambatan tersebut harus diprioritaskan oleh pihak proyek untuk diatasi terlebih dahulu dengan diberikan solusi pencegahan masing-masing. Penentuan solusi tersebut dikaitkan dengan aspek-aspek yang ada berupa manusia (man), metode (method), dan informasi (information). Sehingga solusi aksi mitigasi pencegahan keterlambatan juga berupa rancangan sistem yang terintegrasi ketiga aspek tersebut. Masalah material terlambat datang itu dikarenakan material berasal dari luar negeri sehingga vendor lebih sering terlambat melakukan pengiriman. Apalagi di kondisi pandemik COVID-19 ini dimana segala proses distribusi antar negara tertahan meskipun manajer proyek berkoordinasi dengan Kementerian Pertahanan untuk membantu koordinasi dengan pihak negara pengirim terkait

Berikut adalah daftar saran untuk permasalahan keterlambatan di proyek perakitan *rear cone* NC212i PT. ABC:

1. Pihak perusahaan melakukan proses identifikasi risiko yang kelak hasilnya berupa *risk register* di awal proyek. Tidak cukup hanya dengan daftar risiko namun perlu direncanakan juga solusi yang akan diterapkan untuk tiap risiko, hasil proses ini dinamakan *risk response*.
2. Terkait masalah dari aspek sumber daya manusia (SDM), PT. ABC perlu memperkuat seleksi tenaga kerja baik itu yang akan bertugas sebagai *operator tube bending* dan *welding* atau tim proyek lainnya. Lebih baik merekrut SDM dengan minimal pengalaman kerja 3-5 tahun, memiliki sertifikat keahlian sebagai bukti ia mampu, dan jika *fresh graduate* maka pilih yang telah memiliki pengalaman magang atau bekerja di proyek serupa.
3. Terkait aspek metode, metode *fault tree analysis* (FTA) akan cocok untuk pihak proyek melakukan evaluasi permasalahan secara cepat karena proses sederhana dan cenderung mudah.
4. Proses *perform integrated change control* (PICC) dengan anggota *change control board* perlu ditetapkan agar segala permintaan perubahan (*change request*) dapat diterima, diperiksa, dinilai apakah diterima atau ditolak, dan direkam dengan baik.
5. Manajer proyek alangkah lebih baik menolak permintaan perubahan yang besar dan mempengaruhi *scope* proyek meskipun itu berasal dari owner.
6. Melakukan analisis segala kemungkinan dampak jika suatu permintaan perubahan diterapkan baru dilanjutkan ke proses PICC.
7. Manajer proyek harus menjaga hubungan dan komunikasi baik dengan pihak owner agar tidak ada kendala ketika berdiskusi atau bertanya terkait masalah pembayaran proyek.
8. Saran terakhir adalah proses penelitian ini dapat diterapkan di kasus serupa pada proyek selanjutnya, FTA akan berjalan dengan baik asalkan proses umum dilakukan dengan benar. Tim proyek dapat melihat hasil penelitian ini untuk mengetahui kombinasi masalah yang perlu segera dikontrol bersama dengan manajer proyek.

Referensi

- [1] R. Mulcahy, *PMP Exam Prep. Ninth Edition*, Minnesota: RMC Publications, 2006.
- [2] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide Sixth Edition*, USA: Project Management Institute, Inc., 2017.
- [3] AXELOS, *Managing Successful Projects with PRINCE2*. Norwich: The Stationary Office, 2017.
- [4] N. Afifi. I. Puspita, M. Akbar, (2020), *Developing Schedule With Linear Programming (Case Study: STTF II Project Komplek Sukamukti Banjaran)*, Bandung: International Journal Of Innovation In Enterprise Sistem (IJIES), 2020.

- [5] M. Simarmata, D. Pratami, P. Yasa, *Perancangan Daftar Risiko Proyek Dengan Menggunakan Metode Kualitatif Di PT. XYZ*. Yogyakarta: Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada, 2020.
- [6] Pujiariadi, *Identification Causative Factor Of Project Delay N212-400 Product Pt. Dirgantara Indonesia*, Bandung: Universitas Telkom, 2020.
- [7] D. Analysa, Suhudi, P. Rahma, *Evaluasi Keterlambatan Proyek Pembangunan Graha Mojokerto Service City (GMSC) Dengan Metode Fault tree analysis (FTA)*, Mojokerto: Reka Buana, 2019.
- [8] L. Rahmi, Firman, G. Thabrani, *Evaluasi Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Penyelesaian Proyek Konstruksi dengan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) di Kota Padang*, Padang: EcoGen, 2019.
- [9] N. Listanto, S. Hardjomuljadi, *Analisa Faktor Penyebab Keterlambatan Pembayaran Oleh Kontraktor Kepada Subkontraktor Pada Proyek Gedung Bertingkat*, Universitas Mercu Buana: Jurnal Konstruksia, 2018.
- [10] S. Kabir, *An overview of Fault tree analysis and its application in model based dependability analysis*. Hull: Elsevier, 2018.
- [11] R. Saputra, *Analisa Faktor Penyebab Keterlambatan Penyelesaian Proyek Pembangunan Mall ABC*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2017.
- [12] T. Male, *Evaluasi Keterlambatan Pelaksanaan Pekerjaan Proyek Konstruksi Di Kota Gorontalo*, Gorontalo: FT UNG, 2017.
- [13] Ferolina. *Sistem Penjadwalan Proyek dan Antisipasi Keterlambatan Durasi Proyek Menggunakan Metode Critical Path dan Analisis What If*, Bandung: Universitas Telkom, 2017
- [14] H. Yinan, *Research On The Application Of Fault tree analysis For Building Fire Safety Of Hotels*, Hebei: Elsevier, 2016.
- [15] M. Hossen, S. Kang, J. Kim, *Construction Schedule Delay Risk Assessment By Using Combined AHP-RII Methodology For An International NPP Project*, Ulsan: Elsevier, 2015
- [16] D. Patumona, H. Taufik, *Evaluasi Keterlambatan Proyek Pembangunan Gedung Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau*, Riau: Jom FTEKNIK, 2015.