



JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

1. **PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN BEKAS TERHADAP PARAMETER MARSHALL BETON ASPAL AC-BC**
(Fadhilatul Aula, Miswar, Ibrahim)
2. **EVALUASI ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN JALAN TINGKEM BARO-KUALA CEURAPE KABUPATEN BIREUEN**
(Fatina Arwa, Munardy, Ismail)
3. **KARAKTERISTIK TANAH EKSPANSIF YANG DISTABILISASIKAN DENGAN BAHAN TAMBAH GEOPOLIMER METAKAOLIN**
(Geubrina Rayyan Putri, Andrian Kaifan, Hanif)
4. **PENGARUH PENGGUNAAN NILAI FINE MODULUS AGREGAT HALUS DAN VOLUME FOAM TERHADAP KUAT TEKAN BETON RINGAN**
(Ghaitsa Zahira Sabila, Syamsul Bahri, Khairul Miswar)
5. **KARAKTERISTIK PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI (ASP) SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN LASTON ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC)**
(Miftahul Jannah, Sulaiman Ar, Teuku Riyadhshyah)
6. **ANALISIS KETERLAMBATAN PROYEK PENINGKATAN STRUKTUR JALAN BINTANG HU-BUKET HAGU SEKSI I LHOKSUKON (METODE FAULT TREE ANALYSIS)**
(Muhammad Rafli Zulmy, Zulfikar A Makam, Abdul Muhyi)
7. **ANALISIS KERUSAKAN JALAN DAN PENANGANAN DENGAN METODE BINA MARGA (STUDI KASUS: JALAN SIMPANG KKA STA 42+000 S/D 44+000)**
(Muhammad Sandi Syahputra, Gustina Fitri, Abdullah Irwansyah)
8. **STUDI STABILISASI URUGAN PILIHAN MENGGUNAKAN FLY ASH UNTUK LAPIS PONDASI JALAN**
(Putri Balqis, Mulizar, Fauzi A Gani)
9. **RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN PADA PROYEK PENINGKATAN JALAN SDN PANGGOI-PAYA BILI KOTA LHOKEUMAWA**
(Suheimi, Bakhtiar A, Iponsyahputra bin Amiruddin)
10. **PENGARUH PENAMBAHAN POFA DENGAN TANAH LEMPUNG UNTUK MENINGKATKAN DAYA DUKUNG TANAH BERDASARKAN NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO**
(Yulia Zahara, Gusrizal, Muhammad Reza)

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

Penasehat

Direktur Politeknik Negeri Lhokseumawe

Penanggung Jawab

Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Politeknik Negeri Lhokseumawe

Ketua Redaksi

Muhammad Reza, M.Eng.

Sekretaris Redaksi

Erna Yusnianti, S.Si., M.Si.

Dewan Editor:

Dr. Ir. Mochammad Afifuddin, M.Eng.	(Universitas Syiah Kuala)
Dr. Ir. Samsul Bahri, M.Si.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Ir. Munardy, M.T.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Muliadi, S.T., M.T.	(Universitas Negeri Malikussaleh)
Syarwan, S.T., M.T.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Yulius Rief Alkhaly, S.T., M.Eng.	(Universitas Negeri Malikussaleh)

Penyunting Pelaksana

Dr. Ibrahim, S.T., M.T.

Pelaksana Tata Usaha

Hasanuddin, A.Md.

Penerbit

Politeknik Negeri Lhokseumawe

Alamat:

Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh–Medan Km 280,3 Buketrata
Lhokseumawe 24301 P.O. Box 90
Website: sipil.pnl.ac.id, email: pjj@pnl.ac.id

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

DAFTAR ISI

Dewan Redaksi.....	i
Daftar Isi	ii
Pengantar Redaksi	iii
1. PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN BEKAS TERHADAP PARAMETER MARSHALL BETON ASPAL AC-BC (Fadhilatul Aula, Miswar, Ibrahim)	1-8
2. EVALUASI ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN JALAN TINGKEM BARO-KUALA CEURAPE KABUPATEN BIREUEN (Fatina Arwa, Munardy, Ismail)	9-15
3. KARAKTERISTIK TANAH EKSPANSIF YANG DISTABILISASIKAN DENGAN BAHAN TAMBAH GEOPOLIMER METAKAOLIN (Geubrina Rayyan Putri, Andrian Kaifan, Hanif).....	16-21
4. PENGARUH PENGGUNAAN NILAI FINE MODULUS AGREGAT HALUS DAN VOLUME FOAM TERHADAP KUAT TEKAN BETON RINGAN (Ghaisa Zahira Sabila, Syamsul Bahri, Khairul Miswar).....	22-27
5. KARAKTERISTIK PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI (ASP) SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN LASTON ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC) (Miftahul Jannah, Sulaiman Ar, Teuku Riyadhshyah).....	28-34
6. ANALISIS KETERLAMBATAN PROYEK PENINGKATAN STRUKTUR JALAN BINTANG HUBUKET HAGU SEKSI I LHOKSUKON (METODE FAULT TREE ANALYSIS) (Muhammad Rafli Zulmy, Zulfikar A Makam, Abdul Muhyi).....	35-42
7. ANALISIS KERUSAKAN JALAN DAN PENANGANAN DENGAN METODE BINA MARGA (STUDI KASUS: JALAN SIMPANG KKA STA 42+000 S/D 44+000) (Muhammad Sandi Syahputra, Gustina Fitri, Abdullah Irwansyah).....	43-50
8. STUDI STABILISASI URUGAN PILIHAN MENGGUNAKAN FLY ASH UNTUK LAPIS PONDASI JALAN (Putri Balqis, Mulizar, Fauzi A Gani).....	51-56
9. RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN PADA PROYEK PENINGKATAN JALAN SDN PANGGOI-PAYA BILI KOTA LHOKSEUMAWE (Suheimi, Bakhtiar A, Iponsyahputra bin Amiruddin).....	57-60
10. PENGARUH PENAMBAHAN POFA DENGAN TANAH LEMPUNG UNTUK MENINGKATKAN DAYA DUKUNG TANAH BERDASARKAN NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (Yulia Zahara, Gusrizal, Muhammad Reza).....	61-67
Petunjuk Penulisan Artikel Ilmiah	68

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

PENGANTAR REDAKSI

Assalamualaikum wr wb.

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Jurnal Sipil Sains Terapan Volume 07 Nomor 02 Edisi September 2024 dapat diterbitkan. Jurnal Sipil Sains Terapan ini merupakan jurnal hasil Skripsi dari Mahasiswa Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Jurnal Sipil Sains Terapan ini terbit secara berkala dengan frekuensi terbitan sebanyak 2 (dua) kali dalam setahun. Pada Volume 07 Nomor 02 Edisi September 2024 ini terdapat 10 (sepuluh) artikel. Artikel-artikel yang tergabung di dalam Jurnal Sipil Sains Terapan ini meninjau dari sisi teknik maupun manajemen dalam perencanaan jalan dan jembatan.

Redaksi mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penerbitan Jurnal Sipil Sains Terapan ini. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan terhadap Jurnal Sipil Sains Terapan pada edisi-edisi yang berikutnya untuk memperkaya keilmuan terkait perencanaan jalan dan jembatan.

Redaksi

ANALISIS KETERLAMBATAN PROYEK PENINGKATAN JALAN BINTANG HU-BUKET HAGU SEKSI 1 LHOKSUKON (FAULT TREE ANALYSIS METHOD)

Muhammad Rafli Zulmy¹, Zulfikar², Abdul Muhyi³

¹ Mahasiswa, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: raflizulmy1@gmail.com

² Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: zulfikar_makam@pnl.ac.id

³ Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: abdulmuhyi@pnl.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur jalan bertujuan untuk memperlancar arus distribusi barang dan jasa, serta berperan dalam peningkatan kualitas hidup dan kesejahteraan manusia. Peningkatan struktur jalan berguna untuk meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas, mengembangkan ekonomi, dan meningkatkan keselamatan. Keterlambatan pada proyek kontruksi jalan sering kali terjadi sehingga dapat menjadi permasalahan utama bagi pihak-pihak terkait. Identifikasi awal pada proyek Peningkatan Struktur Jalan Bintang Hu-Buket Hagu Seksi 1 adalah tidak tercapainya target sesuai kesepakatan kontrak yaitu 120 hari kalender. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pekerjaan yang terlambat, mencari faktor-faktor penyebab keterlambatan, dan mengkategorikan keterlambatan menggunakan metode *Fault Tree Analysis (FTA)*. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah wawancara, data yang digunakan adalah *time schedule* realisasi, *time schedule* rencana, laporan mingguan dan bulanan, serta kontrak adendum pertama dan kedua. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pekerjaan yang mengalami keterlambatan adalah pekerjaan drainase, pekerjaan perkerasan berbutir, pekerjaan perkerasan aspal, pekerjaan struktur, dan pekerjaan harian lainnya dengan deviasi keterlambatan sebesar 41,47%. Keterlambatan tersebut juga terjadi dikarenakan faktor kontraktor yang memiliki nilai probabilitas sebesar 38,39%. Jika dikembangkan dari faktor kontraktor, penyebab dominan keterlambatan adalah kurangnya ketersediaan material, penundaan material, kerusakan material, dan cuaca. Akibat dari faktor-faktor tersebut penyelesaian proyek mengalami keterlambatan selama 12 hari kalender, yang dikenai denda keterlambatan sebesar Rp.180.032.400,00 (terbilang: Seratus delapan puluh juta tiga puluh dua ribu empat ratus rupiah) yang mengacu pada peraturan presiden nomor 16 tahun 2018 serta kontrak adendum pertama dan kedua. Berdasarkan analisis data tersebut dapat disimpulkan bahwa proyek tersebut termasuk pada kategori keterlambatan *Non-Excusable Delay*.

Kata kunci: Jalan, Keterlambatan, *Fault Tree Analysis (FTA)*.

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan bertujuan untuk memperlancar arus distribusi barang dan jasa, serta berperan dalam peningkatan kualitas hidup dan kesejahteraan manusia. Pembangunan jalan sebagai infrastruktur transportasi mengacu pada tata ruang, terintegrasi sistem transportasi nasional (sistranas), serta memenuhi standar keselamatan jalan, dan berwawasan lingkungan. Pembangunan infrastruktur jalan harus pula memperhatikan aspek penting yaitu: aspek ekonomi, budaya, sosial, dan lingkungan.

Pada Peraturan Bupati Kabupaten Aceh Utara, 2022 Nomor 13 tentang Rencana Pembangunan Daerah Kabupaten Aceh Utara Tahun 2023-2026, diantaranya berupa sektor pembangunan jalan salah satunya yaitu proyek peningkatan struktur jalan Bintang Hu-Buket Hagu seksi 1 yang berlokasi di Kecamatan Lhoksukon, Kabupaten Aceh Utara, Provinsi Aceh. Adapun tujuan dari peningkatan struktur jalan antara lain untuk meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas, mengembangkan pertumbuhan ekonomi, meningkatkan kualitas hidup, dan meningkatkan keselamatan transportasi masyarakat setempat yakni daerah Aceh Utara.

Proyek ini dilaksanakan selama 120 hari kalender yang dimulai pada tanggal 29 Agustus 2023, dengan nomor kontrak: HK.02.03/BB1.PJN.1/28/APBN/2023. Proyek ini dilaksanakan oleh PT. Bohana Jaya Nusantara sebagai kontraktor pelaksana dan PT. Bintang Inti Rekatama KSO PT. Tunggal Consultant sebagai konsultan pengawas, sumber dana proyek ini yaitu APBN 2023 dengan harga kontrak Rp.16.653.000.000.- (enam belas miliar enam ratus lima puluh tiga juta rupiah). Proyek ini diklasifikasikan menurut fungsi jalan termasuk kedalam jalan lokal dengan lebar jalan 6 m dan panjang jalan 6.000 m.

Identifikasi masalah pada proyek peningkatan struktur jalan Bintang Hu-Buket Hagu seksi 1 adalah tidak tercapainya target sesuai kesepakatan kontrak yaitu 120 hari kalender. Sehingga perlu adanya evaluasi untuk mengetahui pekerjaan apa yang mengalami keterlambatan dan faktor-faktor yang menyebabkan keterlambatan pada proyek tersebut. Oleh karena itu pembahasan ini akan melakukan analisis keterlambatan proyek menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA). Adapun permasalahan dan tujuan dari penelitian ini untuk mencari pekerjaan yang mengalami keterlambatan, faktor-faktor penyebab keterlambatan, dan mengkategorikan keterlambatan pada proyek tersebut. Manfaat pada penelitian ini sebagai masukan bagi pihak-pihak terkait, dapat menambahkan ilmu pengetahuan tentang manajemen resiko, sebagai acuan mengambil langkah perbaikan metode pelaksanaan, serta memberikan kontribusi terhadap perkembangan manajemen konstruksi.

A. *Proyek Kontruksi Jalan*

Proyek konstruksi merupakan kegiatan yang membutuhkan partisipasi banyak pihak dengan beragam profesi dan keahlian. Hal ini menimbulkan efek ketergantungan antar pihak. Setiap pihak berperan penting dalam mentransformasikan sumber daya proyek lebih spesifik, baik secara langsung maupun tidak langsung. Peran setiap pihak akan makin penting manakala proyek yang akan dilaksanakan mempunyai tingkat kesulitan relatif tinggi. Dalam kondisi seperti inilah dibutuhkan pihak lain, yaitu manajemen konstruksi yang bertugas untuk mengatur dan mengendalikan pihak yang terlibat dalam proyek tersebut (Ervianto W.I, 2023)

B. *Keterlambatan Proyek*

Keterlambatan proyek konstruksi dapat diartikan tidak terpenuhinya waktu penyelesaian pekerjaan konstruksi sesuai dengan yang tertera pada kontrak konstruksi. Terlambat dari waktu yang ditetapkan dalam kontrak dapat menimbulkan banyak masalah dan dampak yang kurang baik bagi penyelenggaraan jasa konstruksi (Rita et al., 2021). Keterlambatan proyek dapat dikategorikan menjadi 3 yaitu: keterlambatan yang layak mendapatkan ganti rugi (Compensable Delay), keterlambatan yang tidak dapat dimaafkan (Non-Excusable Delay), dan keterlambatan yang dapat dimaafkan (Excusable Delay) (Nurmayasa, et al., 2022).

C. *Metode Fault Tree Analysis*

Definisi metode FTA adalah model logis dan grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan yang dibuat menggunakan diagram pohon, dimana beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) dibuat secara paralel dan secara berurutan yang disebut dengan *undesired event*, yang kemudian dianalisis dengan kondisi lingkungan dan operasional yang ada untuk menemukan semua cara yang mungkin terjadi yang mengarah pada terjadinya *undesired event* tersebut yang dianalisis menggunakan analisis kualitatif dan kuantitatif. FTA digunakan untuk melihat suatu produk yang menunjukkan hubungan sebab akibat diantara suatu kejadian dengan kejadian lain.

Menurut (Analysa et al., 2019) metode FTA dianalisis dengan menggunakan pendekatan *top down* dengan langkah yang dilakukan yaitu menentukan kejadian puncak, menentukan *intermediate event* yang dihubungkan dengan *gate or* atau *gate and*, dilakukan

pengulangan hingga ditemukan *basic event* (kejadian yang tidak dapat dikembangkan lagi), setelah itu menganalisis kualitatif dengan menggunakan algoritma aljabar Boolean untuk mencari minimal *cut set* pada tiap-tiap *event* hingga *basic event*. Lalu menganalisis kuantitatif untuk mendapatkan nilai probabilitas yang dapat mengukur risiko kemungkinan suatu kejadian kegagalan terjadi, dan juga dapat mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh pada keterlambatan proyek terjadi, pada analisis kuantitatif ini dilakukan pengembangan menggunakan aljabar Boolean dengan pendekatan *stochastic*.

II. METODOLOGI

Pada penelitian ini menggunakan metode *fault tree analysis* dengan pengembangan analisis kualitatif dan kuantitatif, Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah *time schedule* rencana, *time schedule* realisasi, laporan mingguan dan bulanan, kontrak adendum pertama dan kedua. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah wawancara. Adapun populasi yang digunakan pada penelitian ini 8 orang yaitu: kontraktor pelaksana (4 orang), konsultan pengawas (3 orang), pejabat pembuat komitmen (1 orang). Penelitian ini menggunakan sampel jenuh, sampel ini adalah sampel yang apabila ditambah jumlahnya, tidak akan menambah keterwakilan sehingga tidak akan mempengaruhi nilai informasi yang telah diperoleh. (Sugiyono, 2023).

Teknik analisis data pada penelitian ini menggunakan metode *fault tree analysis* dengan menggunakan analisis kualitatif dan analisis kuantitatif, berikut adalah penjabaran dari penerapan metode FTA. Langkah awal untuk membuat model grafis FTA adalah menentukan kejadian puncak (*Top event*), selanjutnya menetapkan kejadian yang mempengaruhi terjadinya kejadian puncak disebut dengan (*Intermediate event*), lalu menentukan penghubung antara keduanya dengan *gate and* atau *gate or* yang mana langkah ini dilakukan hingga ditemukannya kejadian yang tidak dapat dikembangkan lagi (*Basic event*). Setelah membuat model grafis FTA, dilakukan penomoran pada tiap-tiap *basic event*, penomoran yang dimaksud adalah jumlah kejadian *basic event* yang terjadi selama pelaksanaan proyek. Analisis kualitatif, tahap ini bertujuan untuk mencari *minimal cutset* dari model grafis FTA sehingga didapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi langsung terjadinya kejadian puncak, aturan yang digunakan pada analisis ini adalah aturan aljabar boolean. Analisis kuantitatif, tahap ini bertujuan untuk mendapatkan seberapa besar nilai probabilitas yang dapat mengukur risiko kemungkinan terjadinya kejadian puncak, dan juga dapat mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh pada keterlambatan proyek, pada analisis ini dilakukan pengembangan menggunakan aljabar boolean dengan pendekatan *stochastic*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Item Pekerjaan yang Terlambat

Berdasarkan hasil dari analisis data yang dilakukan oleh penulis yang mengacu pada laporan mingguan, *time schedule* rencana, dan *time schedule* realisasi, maka item pekerjaan yang mengalami keterlambatan pada proyek peningkatan struktur jalan Bintang Hu-Buket Hagu seksi 1 adalah pekerjaan drainase, pekerjaan perkerasan berbutir, pekerjaan perkerasan aspal, pekerjaan struktur, dan pekerjaan harian dan lainnya.

B. Identifikasi Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan

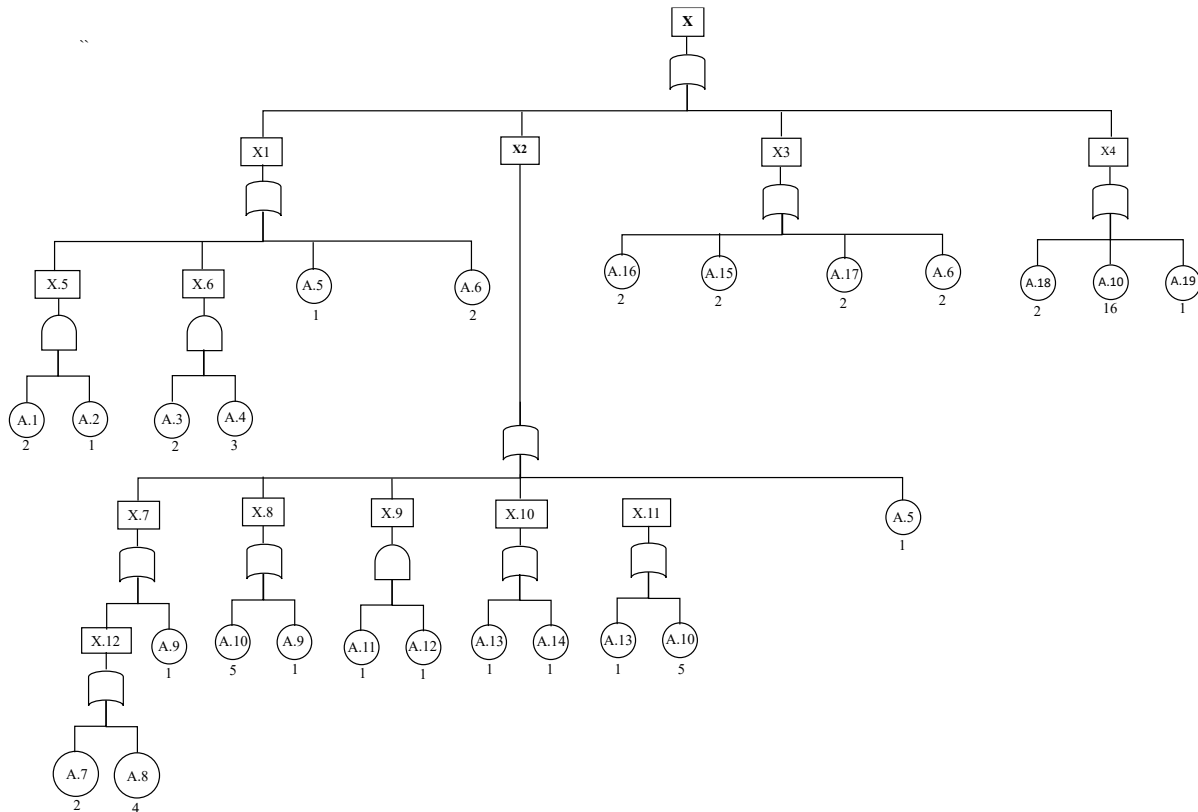
Untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan digunakan metode pengumpulan data dengan teknik wawancara terhadap pihak terkait, berikut tabel hasil wawancara yang menjadi data acuan untuk membuat pemodelan grafis FTA.

Tabel 1. Hasil Wawancara

X		KETERLAMBATAN PROYEK	
X.1 Faktor PPK 1.4 Aceh			
		Ketidaklengkapan dokumen perencanaan (Gambar)	
X.5	A.1	Struktur	2 kali
	A.2	Arsitek	1 kali
		Perubahan desain gambar	
X.6	A.3	Material	2 kali
	A.4	Fungsi Pekerjaan	3 kali
A.5		Manajemen kurang baik	1 kali
A.6		Kurangnya koordinasi dengan kontraktor/pengawas	2 kali
X.2 Faktor Kontraktor Pelaksana			
		Kurangnya ketersediaan material	
X.7	X.12	Kekurangan material	A.7 Salah memperhitungkan 2 kali
			A.8 Kurang antisipasi 4 kali
	A.9	Material habis	1 kali
		Penundaan material	
X.8	A.10	Cuaca	5 kali
	A.9	Material habis	1 kali
		Kerusakan alat	
X.9	A.11	Efektivitas alat	1 kali
	A.12	Umur alat	1 kali
		Kekurangan penyediaan alat	
X.10	A.13	Perencanaan kurang tepat	1 kali
	A.14	Kurangnya ketersediaan alat	1 kali
		Kerusakan material	
X.11	A.13	Perencanaan kurang tepat	1 kali
	A.10	Cuaca	5 kali
A.15		Kualitas tenaga kerja kurang baik	2 kali
A.16		Kontrol yang kurang baik dari kontraktor	1 kali
A.5		Manajemen yang kurang baik	1 kali
X.3 Faktor Konsultan Pengawas			
A.16		Kontrol kurang baik	2 kali
A.15		Kualitas tenaga kerja kurang baik	1 kali
A.17		Kurangnya pengawasan pada pelaksanaan	2 kali
A.6		Kurangnya koordinasi dengan pengguna jasa/kontraktor	1 kali
X.4 Faktor lainnya			
A.18		Premanisme	2 kali
A.10		Cuaca	16 kali
A.19		Bencana alam (banjir)	1 kali

C. *Pemodelan Grafis Fault Tree Analysis*

Dari data pada tabel 1. didapatkan model grafis FTA sebagai berikut:



Gambar 1. Model Grafis Fault Tree Analysis

D. *Kombinasi Basic Event*

Mengkombinasikan *basic event* dimulai dengan metode *MOCUS (Method for Obtaining Cut Sets)* dengan tujuan untuk mencari *minimum cut set* memakai aljabar Booleen, untuk melakukan tahapan ini dibutuhkan analisis kualitatif dan kuantitatif.

1. Analisis Kualitatif

Tahap awal pada analisis ini adalah mengurutkan *basic event* sesuai pada kejadian sebelumnya, kemudian dicari minimal cut set untuk menemukan kombinasi dari beberapa kejadian hingga hasilnya tidak dapat di reduksi/disederhanakan lagi. Hasil kombinasi dari kejadian-kejadian tersebut disebut penyebab dari terjadinya top event. Berikut kombinasi dari aljabar Boolean menurut hukum-hukumnya.

$$(X) = (X1) + (X2) + (X3) + (X4)$$

$$(X1) = (X5) + (X6) + A5 + A6$$

$$(X1) = (A1.A2) + (A3.A4) + A5 + A6 \text{ (minimal cutset faktor X1)}$$

$$(X2) = (X7) + (X8) + (X9) + (X10) + (X11) + A15 + A16 + A5$$

$$(X2) = ((A7+A8) + A9) + (A10+A9) + (A11.A12) + (A13+A14) + (A13 + A10) + A15 + A16 + A5 \text{ (aturan distributif)}$$

$$(X2) = (A9+A7) + (A9+A8) + (A10+A9) + (A11.A12) + (A13+A14) + (A13+A10) + A15 + A16 + A5 \text{ (minimal cutset faktor X2)}$$

$$(X3) = A16 + A15 + A17 + A6 \text{ (minimal cutset faktor X3)}$$

$$(X4) = A18 + A10 + A19 \text{ (minimal cutset faktor X4)}$$

Dari hasil minimal *cutset*, selanjutnya dicari banyaknya *basic event* yang muncul, sehingga didapatkan untuk minimal *cutset* yaitu A5,A6,A11,A13,A15,A16 yang terjadi sebanyak 2 kali kejadian dan A9,A10, terjadi sebanyak 3 kali kejadian.

2. Analisis Kuantitatif

Pada analisis ini diawali dengan mengurutkan kejadian dari *basic event* hingga *top event* sesuai *intermediate event*, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai probabilitas tiap-tiap basic event seperti berikut:

Tabel 2. Nilai Probabilitas Basic Event

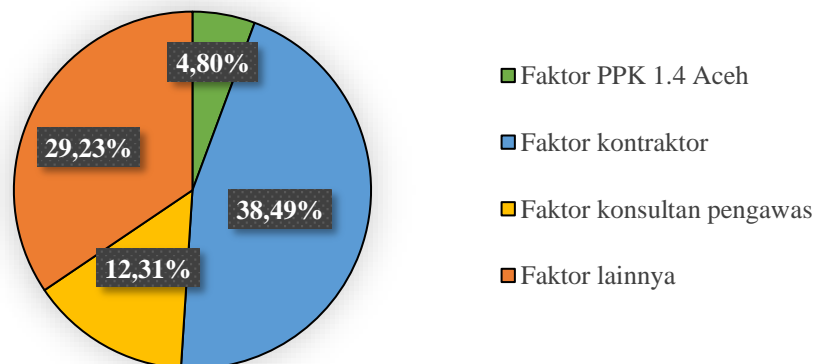
IE	BE	Jumlah Kejadian	Probabilitas	Persen (%)		
X1	X5	A1	2	0,0308	3%	
		A2	1	0,0154	2%	
	X6	A3	2	0,0308	3%	
		A4	3	0,0462	5%	
		A5	1	0,0154	2%	
		A6	2	0,0308	3%	
X2		X12A7	2	0,0308	3%	
	X7	X12A8	4	0,0615	6%	
		A9	1	0,0154	2%	
	X8	A9	1	0,0154	2%	
		A10	5	0,0769	8%	
	X9	A11	1	0,0154	2%	
		A12	1	0,0154	2%	
	X10	A13	1	0,0154	2%	
		A14	1	0,0154	2%	
	X11	A13	1	0,0154	2%	
		A10	5	0,0769	8%	
		A15	2	0,0308	3%	
		A16	1	0,0154	2%	
	X3		A5	1	0,0154	2%
			A6	2	0,0308	3%
		A15	2	0,0308	3%	
		A16	2	0,0308	3%	
		A17	2	0,0308	3%	
X4		A10	16	0,2462	25%	
		A18	2	0,0308	3%	
		A19	1	0,0154	2%	
		Total	65	Total	100,0%	

Dari hasil data tersebut lalu dicari nilai probabilitas tiap-tiap *intermediate event* yang mengarah langsung terjadinya *top event*, sehingga didapatkan hasil nilai probabilitas yaitu 84,83%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui pekerjaan yang mengalami keterlambatan, faktor-faktor yang mempengaruhi keterlambatan proyek, serta kategori keterlambatan proyek, berikut penjelasannya:

1. Item Pekerjaan yang mengalami Keterlambatan

- a. Pekerjaan Drainase, pekerjaan ini mengalami keterlambatan dengan nilai deviasi pekerjaan yang belum selesai sebesar 0,53% dari total bobot seluruh pekerjaan.

- b. Pekerjaan Perkerasana Berbutir, pekerjaan ini mengalami keterlambatan dengan nilai deviasi pekerjaan yang belum selesai sebesar 5,78% dari total bobot seluruh pekerjaan.
 - c. Pekerjaan Perkerasan Aspal, pekerjaan ini mengalami keterlambatan dengan nilai deviasi pekerjaan yang belum selesai sebesar 20,19% dari total bobot seluruh pekerjaan.
 - d. Pekerjaan Struktur, pekerjaan ini mengalami keterlambatan dengan nilai deviasi pekerjaan yang belum selesai sebesar 12,41% dari total bobot seluruh pekerjaan.
 - e. Pekerjaan Harian dan Lainnya, pekerjaan ini mengalami keterlambatan dengan nilai deviasi pekerjaan yang belum selesai sebesar 2,56 % dari total bobot seluruh pekerjaan.
2. Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan
- a. Analisis Kualitatif, didapatkan faktor penyebab keterlambatan adalah faktor A5 (manajemen kurang baik), A6 (kurangnya koordinasi), A11 (efektivitas alat), A13 (perencanaan kurang tepat), A15 (kualitas tenaga kerja buruk), A16 (kontrol yang kurang baik), yang masing-masing faktor tersebut muncul sebanyak 2 kali, selanjutnya faktor A9 (material habis), A10 (cuaca), yang masing-masing faktornya muncul sebanyak 3 kali, yang mengarah langsung terjadinya keterlambatan proyek.
 - b. Analisis Kuantitatif, didapatkan nilai probabilitas pada intermediate event tingkat 1 yaitu X1 (faktor pemilik jasa) sebesar 4,8%, X2 (faktor kontraktor) sebesar 38,49%, X3 (faktor konsultan pengawas) sebesar 12,31%, dan X4 (faktor lainnya) sebesar 29,23%, sehingga menghasilkan nilai probabilitas top event sebesar 84,83%, yang dapat disimpulkan keterlambatan proyek ini termasuk ke kategori tinggi karena nilai probabilitasnya lebih besar daripada 75%, Berikut rekapitulasi hasil analisis kuantitatif berdasarkan nilai probabilitas.



Gambar 2. Hasil Rekapitulasi Analisis Kuantitatif

- c. Mengkategorikan Keterlambatan Proyek. Berdasarkan hasil analisis kualitatif, kuantitatif, dan data sekunder dapat disimpulkan bahwa keterlambatan proyek tersebut disebabkan oleh pihak kontraktor menjadi faktor yang paling mempengaruhi keterlambatan proyek yaitu sebesar 38,49% dan mengacu pada data kontrak addendum 02, mengacu pada kurva s rencana dan kurva s realisasi didapatkan proyek tersebut selesai 100% pada tanggal 10 Januari 2024, maka didapat perbandingan penyelesaian proyek yaitu 12 hari kalender. Dengan data tersebut dapat disimpulkan proyek tersebut dikategorikan pada keterlambatan yang tidak dapat dimaafkan (Non-Excusable Delay).

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan yaitu pekerjaan yang mengalami keterlambatan pada proyek peningkatan struktur jalan Bintang Hu-Buket Hagu seksi 1 adalah pekerjaan drainase, pekerjaan perkerasan berbutir, pekerjaan perkerasan aspal, pekerjaan struktur, dan pekerjaan harian dan lainnya dengan total deviasi sebesar 41,47%. 2. Dari hasil analisis FTA secara kualitatif, didapatkan faktor yang dominan menyebabkan keterlambatan proyek adalah manajemen kurang baik, kurangnya koordinasi, efektivitas alat, perencanaan kurang tepat, kualitas tenaga kerja buruk, kontrol yang kurang baik, yang masing-masing faktor tersebut muncul sebanyak 2 kali, dan faktor material habis, cuaca, yang masing-masing faktornya muncul sebanyak 3 kali. Dari hasil analisis FTA secara kuantitatif didapatkan total nilai probabilitas sebesar 84,83% sehingga dengan nilai tersebut keterlambatan proyek ini termasuk pada kategori tinggi karena nilai probabilitasnya lebih besar daripada 75%. Jika dikembangkan lagi faktor yang dominan menyebabkan keterlambatan adalah faktor kontraktor memiliki nilai probabilitas terbesar yaitu 38,39%. Dari hasil analisis kuantitatif dan data sekunder didapatkan faktor utama yang menyebabkan keterlambatan proyek adalah faktor kontraktor yang mengalami keterlambatan selama 12 hari kalender dengan total denda adalah Rp.180.032.400,00 (seratus delapan puluh juta tiga puluh dua ribu empat ratus rupiah), dari data tersebut proyek ini termasuk pada keterlambatan yang tidak dapat dimaafkan (Non-Excusable Delay) mengacu pada peraturan presiden nomor 16 tahun 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Analysa, D., Suhudi, S., & Rahma, P. D. (2019). Evaluasi Keterlambatan Proyek Pembangunan Graha Mojokerto Service City (GMSC) dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA). *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 4(2), 36. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v4i2.1407>
- Nurmayasa, et al. (2022). Analisis Faktor Keterlambatan Pekerjaan Preservasi Jalan Weda-Sagea Berdasarkan Persepsi Stakeholder.
- Peraturan Bupati Kabupaten Aceh Utara. (2022). rpd kabaut 23-26 agustus 22 compressed2 perbup acut 2023 jalan.
- Rita, E., Carlo, N., & Nandi, D. (2021). Penyebab dan Dampak Keterlambatan Pekerjaan Jalan di Sumatera Barat Indonesia. 11(01), 27–37.
- Sugiyono. (2023). Metode Penelitian Kombinasi (Mix Methods) (MT. Dr. Ir. Sutopo, Ed.; Edisi 2). CV ALFABET.
- W. I. Ervianto. (2023). Manajemen Proyek Konstruksi (Lidya Mayasari, Ed.; Edisi Terbaru). CV Andi Offset.