

**ANALISA KETERLAMBATAN PROYEK MENGGUNAKAN
FAULT TREE ANALYSIS (FTA)
(STUDI KASUS PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG PROGRAM STUDI
TEKNIK INDUSTRI TAHAP II UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG)**

NASKAH PUBLIKASI

Untuk Memenuhi Pesyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

Adinda Febby Mustika
105060100111059-61

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
MALANG
2014**

**ANALISA KETERLAMBATAN PROYEK MENGGUNAKAN
FAULT TREE ANALYSIS (FTA)
(STUDI KASUS PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG PROGRAM STUDI
TEKNIK INDUSTRI TAHAP II UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG)**

Adinda Febby Mustika¹, M. Hamzah Hasyim², Saifoe El Unas²
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang
JL. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
email: adinda_febby@yahoo.co.id

ABSTRAK

Fault Tree Analysis (FTA) merupakan teknik analisis untuk mengidentifikasi kegagalan suatu sistem. Arti kegagalan sistem dalam penelitian ini adalah keterlambatan proyek pembangunan gedung. FTA dapat dianalisa secara kualitatif menggunakan Aljabar Boolean maupun secara kuantitatif memakai teori reliabilitas. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi pekerjaan apa saja yang mengalami keterlambatan dan mengelompokkannya ke dalam Top event. Selanjutnya, membuat model grafis FTA dengan mengidentifikasi mulai dari kejadian Top event sampai ke urutan atau kejadian yang paling mendasar. Model grafis FTA berupa simbol-simbol seperti simbol kejadian, simbol gerbang, dan simbol transfer. Terdapat simbol kejadian yang mengilustrasikan kejadian dan juga simbol gerbang yang mengilustrasikan hubungan antar simbol kejadian. Dari model grafis FTA, kemudian dicari kombinasi kejadian-kejadian penyebab keterlambatan yang disebut dengan minimal cut set. Hasil minimal cut set ini merupakan analisa secara kualitatif. Untuk analisa Fault Tree secara kuantitatif, digunakan teori realibilitas dimana akan didapatkan seberapa besar nilai keandalan dari sistem yang mengalami kegagalan karena pengaruh basic event terhadap Top event. Hasil analisa didapat pekerjaan yang mengalami keterlambatan adalah pekerjaan persiapan, pekerjaan pasangan, dan pekerjaan beton. Faktor yang dominan menyebabkan keterlambatan pada pekerjaan persiapan adalah keterlambatan penandatanganan kontrak. Sedangkan, penyebab yang dominan menyebabkan terlambatnya pekerjaan pasangan dan pekerjaan beton adalah manajemen yang kurang baik dari konsultan pengawas yaitu kontrol yang kurang baik dan kurangnya pengawasan dan tidak melaksanakan perannya, dan kurangnya koordinasi. Hasil analisa FTA secara kuantitatif, besar nilai reliabilitas/ keandalan dari pekerjaan persiapan adalah 0,925, untuk pekerjaan pasangan sebesar 0,311 dan pekerjaan beton sebesar 0,358. Sehingga yang paling besar tingkat kegagalan adalah pekerjaan pasangan.

Kata kunci: *Fault Tree Analysis, kegagalan, keterlambatan proyek*

PENDAHULUAN

Kondisi ideal adalah apabila pada waktu pelaksanaan proyek, kegiatan-kegiatannya berjalan sesuai dengan penjadwalan yang sudah direncanakan. Tetapi, apabila muncul masalah yang menyebabkan pelaksanaan tidak sesuai dengan penjadwalan, maka hal tersebut dapat menimbulkan dampak, salah satunya yaitu terlambatnya waktu proyek. Masalah yang muncul sehingga menyebabkan terlambatnya suatu proyek biasanya disebabkan oleh beberapa faktor. Beberapa faktor tersebut bisa saja disebabkan oleh pengguna jasa/kontraktor/ konsultan pengawas, dan atau faktor lainnya. Berdasarkan fakta yang ada, Proyek Pembangunan Gedung Program Studi

Teknik Industri Tahap II Universitas Brawijaya Malang mengalami keterlambatan dalam hal pelaksanaannya.

Keterlambatan proyek perlu dianalisa agar dapat diketahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi keterlambatan waktu pelaksanaan proyek tersebut. Disamping itu, juga mengetahui pekerjaan apa yang mengalami keterlambatan sehingga pekerjaan tersebut dapat menghambat pelaksanaan pekerjaan yang lainnya. Ada beberapa cara dalam menganalisa keterlambatan suatu proyek, salah satunya adalah *Fault Tree Analysis (FTA)*. FTA merupakan teknik untuk meng-identifikasi kegagalan (*failure*) dari suatu sistem. FTA berorientasi pada fungsi atau yang lebih dikenal dengan

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas teknik Universitas Brawijaya Malang

² Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas teknik Universitas Brawijaya Malang

“*top down approach*” karena analisa ini berawal dari *system level* (top) dan meneruskannya ke bawah (Priyanta, 2000: 112). Sistem dalam penelitian ini adalah pelaksanaan proyek dan kegagalan yang dimaksud adalah keterlambatan proyek.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Priyanta (2000: 113), terdapat 5 tahapan untuk melakukan analisa dengan *Fault Tree Analysis* (FTA), yaitu sebagai berikut:

1. Mendefinisikan masalah dan kondisi batas dari suatu sistem yang ditinjau
2. Penggambaran model grafis *Fault Tree*
3. Mencari *minimal cut set* dari analisa *Fault Tree*
4. Melakukan analisa kualitatif dari *Fault Tree*
5. Melakukan analisa kuantitatif dari *Fault Tree*

Langkah pertama diatas bertujuan untuk mencari *top event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem, ditentukan terlebih dahulu dalam menentukan sebuah model grafis FTA.

Tahapan kedua, membuat model grafis *Fault Tree*. Aturan dalam membuat FTA adalah:

- a. Mendeskripsikan *fault event* (kejadian gagal)
- b. Mengevaluasi *fault event* (kejadian gagal)
- c. Melengkapi semua gerbang logika (*logical gate*)

Model grafis FTA memuat beberapa simbol, yaitu simbol kejadian, simbol gerbang dan simbol transfer. Simbol kejadian adalah simbol yang berisi kejadian pada sistem yang dapat digambarkan dengan bentuk lingkaran, persegi, dan yang lainnya yang mempunyai arti masing-masing. Contoh dari simbol kejadian adalah *Intermediate event* dan *basic event*. Sedangkan untuk simbol gerbang, menyatakan hubungan kejadian input yang mengarah pada kejadian output. Hubungan tersebut dimulai dari *top event* sampai ke *event* yang paling mendasar. Contoh dari simbol gerbang adalah AND dan OR.

Tahapan ketiga yaitu mencari *minimal cut set*. Mencari *minimal cut set* merupakan analisa kualitatif yang mana dipakai Aljabar Boolean. Aljabar Boolean merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit dan kompleks menjadi rangkaian logika yang lebih sederhana (Widjanarka, 2006: 73).

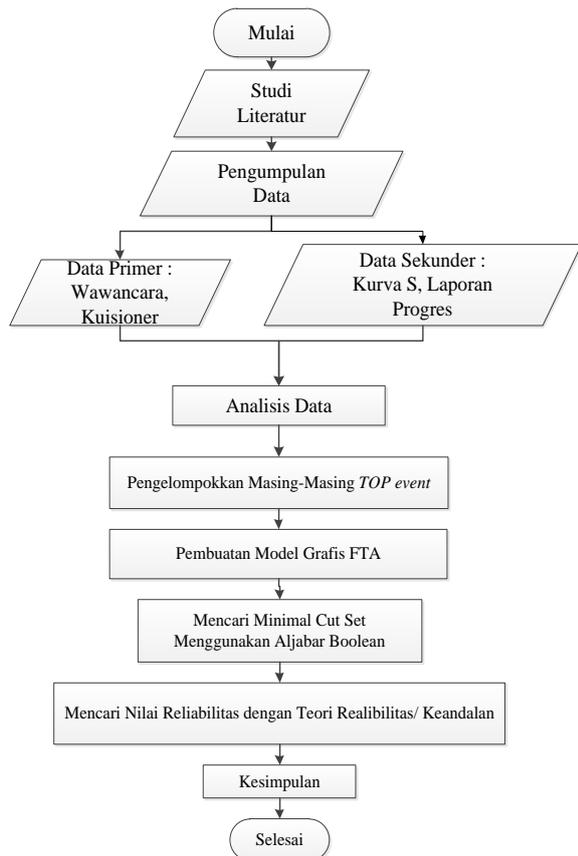
Langkah terakhir yaitu melakukan analisa kuantitatif, yang mana dipakai teori reliabilitas untuk menyelesaikannya. Keandalan /*Reliability* dapat didefinisikan sebagai nilai probabilitas bahwa suatu komponen atau suatu sistem akan sukses menjalani fungsinya, dalam jangka waktu dan kondisi operasi tertentu. Keandalan bernilai antara angka 0 – 1, dimana nilai 0 menunjukkan sistem gagal menjalankan fungsi dan 1 menunjukkan sistem 100 % berfungsi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua jenis metode yaitu metode penelitian kualitatif dan metode penelitian kuantitatif. Penelitian ini mengidentifikasi dan menganalisa suatu obyek dan juga menggunakan teknik survei berdasarkan data dari obyek penelitian.

Subyek penelitian ini adalah menganalisa keterlambatan proyek yaitu dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Sedangkan obyek penelitian adalah Proyek Pembangunan Gedung Program Studi Teknik Industri Tahap II Universitas Brawijaya Malang.

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung dari obyek penelitian yang berupa kuisioner dan wawancara dari pihak kontraktor atau pihak pengguna jasa/ *user* mengenai faktor-faktor yang menghambat pelaksanaan pekerjaan proyek. Sedangkan, data sekunder diperoleh secara tidak langsung, didapatkan dari data atau arsip Proyek Pembangunan Gedung Program Studi Teknik Industri Tahap II Universitas Brawijaya Malang. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari laporan mingguan dan bulanan, ada 3 (tiga) dari 4 (empat) pekerjaan yang mengalami hambatan dalam pelaksanaannya. Tiga pekerjaan tersebut adalah pekerjaan persiapan, pekerjaan pemasangan, dan pekerjaan beton. Sehingga, dalam penelitian ini ditentukan 3 (tiga) *top event* yaitu keterlambatan pekerjaan persiapan, keterlambatan pekerjaan pemasangan, dan keterlambatan pekerjaan beton. *Top event* tersebut merupakan definisi masalah dan kondisi batas dari suatu sistem pelaksanaan proyek pembangunan gedung. Dari masing-masing *top event* tersebut, akan dibuat model grafis FTA yang berisi simbol-simbol yang menyatakan kejadian yang muncul yang menyebabkan terjadinya *top event*/ keterlambatan pekerjaan yang dianalisa. Kejadian-kejadian yang memungkinkan menyebabkan terjadinya keterlambatan akan diteliti lebih lanjut sampai ke penyebab kejadian dasarnya. Perlu diperhatikan

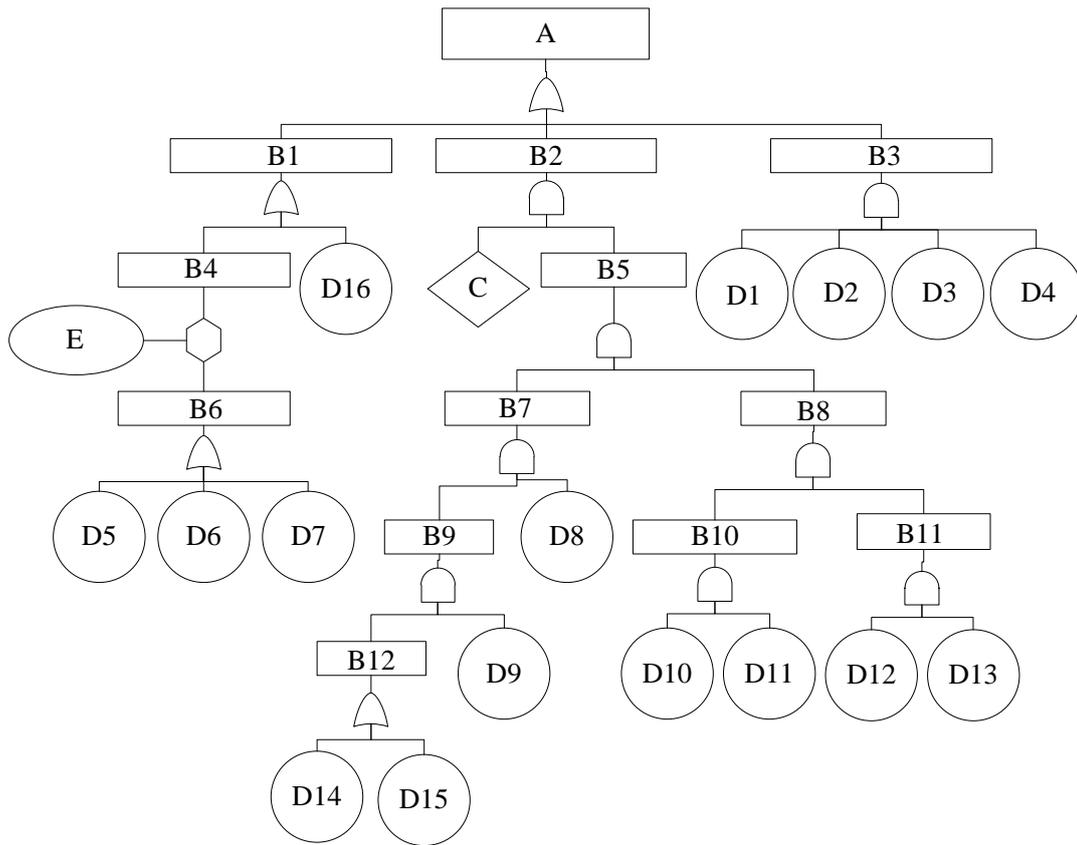
aturan-aturan dalam membuat model grafis FTA. Membuat model harus teliti dalam mendeskripsikan suatu kejadian yang sifatnya berupa input dan output, agar tidak terjadi kesalahan pada hasil analisa.

Setelah mendapat data berupa kejadian-kejadian yang menyebabkan keterlambatan dari para responden, maka langkah selanjutnya adalah membuat analisa yang diikuti dengan penggambaran model grafis FTA.

Model grafis FTA mempunyai beberapa simbol kejadian seperti *intermediate event*, *basic event*, dan *undeveloped event*. Selain itu, juga ada simbol gerbang dan transfer. Simbol gerbang yang digunakan adalah simbol gerbang AND dan OR. Serta, dipakai juga simbol transfer untuk menghubungkan antar model grafis FTA.

Hasil model grafis FTA dapat dibuktikan pada hasil brainstorming dari para responden. Brainstorming merupakan hasil pemikiran dimana dalam penelitian ini bertujuan untuk memperkuat suatu argumen dalam bentuk tulisan yaitu analisa dan gambar yaitu model grafis FTA. Model gerbang AND dan OR dibuat berdasarkan salah satu pilihan dari hasil brainstorming tersebut. Pilihan ‘salah satu kejadian terjadi’ memakai simbol OR dimana event disebabkan oleh salah satu kejadian atau ada salah satu faktor yang paling dominan terjadi. Sedangkan, pilihan ‘gabungan kejadian’ memakai simbol AND dimana event disebabkan oleh semua kejadian yang terjadi secara bersamaan dan semua kejadian tersebut menyebabkan adanya *intermediate event* dan atau *top event*.

Model grafis FTA pekerjaan persiapan dapat dilihat pada **Gambar 2** dan pekerjaan pemasangan pada **Gambar 3**, serta pekerjaan beton pada **Gambar 4**. Pada gambar model grafis FTA disertakan penamaan *event* yang mana akan dipakai pula untuk analisis kualitatif menggunakan aljabar Boolean. Dalam memberikan penamaan, tidak ada penentuan yang khusus, tetapi harus jelas dan setiap kejadian diberi penamaan yang berbeda. Berikut adalah model grafis dari pekerjaan persiapan.



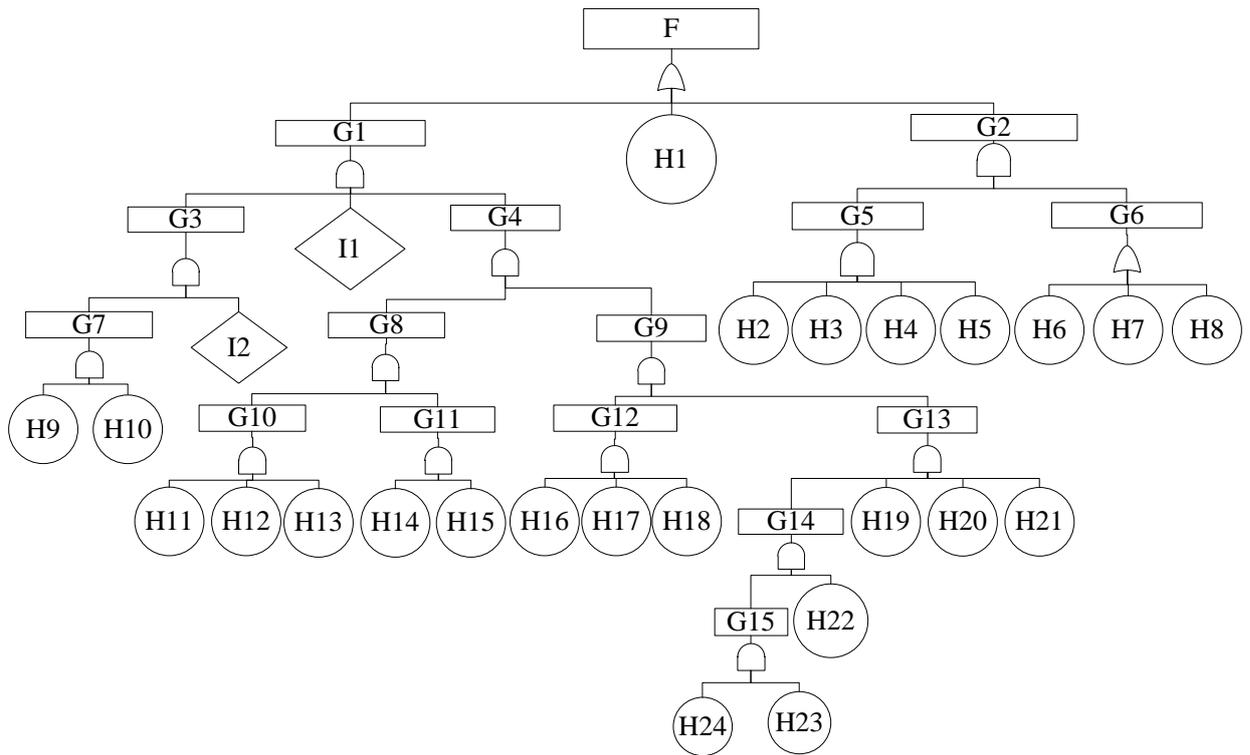
Gambar 2 Model Grafis FTA Pekerjaan Persiapan

Sedangkan, keterangan untuk nama *event* pada model grafis FTA pekerjaan persiapan diatas ditunjukkan pada **tabel 1** dibawah ini.

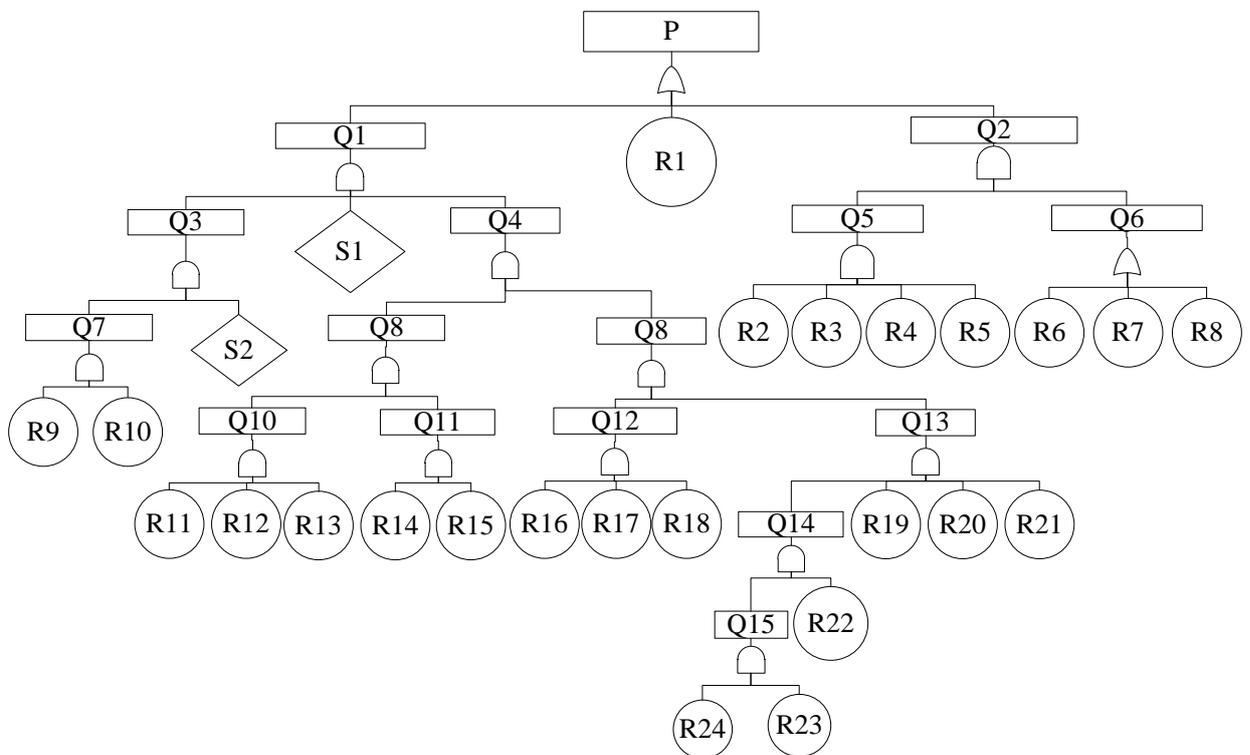
Tabel 1 Keterangan *event* pada model grafis FTA Pekerjaan Persiapan

Event	Keterangan	Event	Keterangan
A	Keterlambatan pekerjaan persiapan	D2	Kurangnya pengawasan
B1	Faktor pengguna jasa	D3	Tidak melaksanakan peran
B2	Faktor kontraktor	D4	Kurang koordinasi
B3	Faktor konsultan pengawas	D5	Dokumen gambar kurang lengkap
B4	Perubahan tgl. dimulainya proyek	D6	Dok. spek. teknis kurang lengkap
B5	Sumber Daya Manusia kurang	D7	Dok. tender kurang lengkap
B6	Dokumen terlambat	D8	Terbatasnya jumlah tenaga kerja
B7	Tenaga kerja	D9	Tukang malas
B8	Tenaga ahli	D10	Kontrol kurang baik
B9	Kualitas kurang baik	D11	Kurang koordinasi
B10	Manajemen kurang baik	D12	Tidak segera memulai pekerjaan
B11	Kurang pengalaman kerja	D13	Masalah teknis dlm. memakai waktu
B12	Kecapaian	D14	Tukang puasa
C	Dana tidak mencukupi	D15	Dikejar target
D1	Kontrol yang kurang baik	E	Keterlambatan tanda tangan kontrak

Model grafis FTA dari pekerjaan pasangan dan pekerjaan beton ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4** berikut.



Gambar 3 Model Grafis FTA Pekerjaan Pasangan



Gambar 4 Model Grafis FTA Pekerjaan Beton

Sedangkan, keterangan untuk nama *event* pada model grafis FTA pekerjaan pasangan dan beton ditunjukkan pada **tabel 2** berikut.

Tabel 2 Keterangan *event* pada model grafis FTA Pekerjaan Pasangan dan Beton

Event Pasangan	Event Beton	Keterangan
F	P	Keterlambatan Pekerjaan Pasangan / Beton
G1	Q1	Faktor kontraktor
G2	Q2	Faktor konsultan pengawas
G3	Q3	Ketersediaan material
G4	Q4	Sumber Daya Manusia kurang
G5	Q5	Manajemen kurang baik
G6	Q6	Kurang pengalaman kerja
G7	Q7	Material datang terlambat
G8	Q8	Tenaga kerja
G9	Q9	Tenaga ahli
G10	Q10	Kualitas kurang baik
G11	Q11	Kuantitas kurang
G12	Q12	Manajemen kurang baik
G13	Q13	Kurang pengalaman kerja
G14	Q14	Teknik pelaksanaan tidak tepat
G15	Q15	Tidak ada alat bantu
H1	R1	Kurang koordinasi pengguna jasa dengan kontraktor/pengawas
H2	R2	Kontrol yang kurang baik
H3	R3	Kurangnya pengawasan
H4	R4	Tidak melaksanakan peran
H5	R5	Kurang koordinasi

H6	R6	Kurang paham dokumen gambar
H7	R7	Kurang paham dokumen spesifikasi teknis
H8	R8	Tidak profesional
H9	R9	Pemesanan terlambat
H10	R10	Pengiriman terlambat
H11	R11	Kecapaian
H12	R12	Lembur tidak dikerjakan
H13	R13	Malas
H14	R14	Terbatasnya jumlah tukang
H15	R15	Shift jam kerja kurang
H16	R16	Kontrol kurang baik
H17	R17	Kurang koordinasi dengan pengguna jasa/ pengawas
H18	R18	Kurang koordinasi dengan supplier
H19	R19	Tidak profesional
H20	R20	Tidak ada lembur
H21	R21	Masalah teknis dalam memakai waktu
H22	R22	Alat angkut barang memakai tenaga tukang
H23	R23	Tidak ada tower crane
H24	R24	Tidak ada lift barang
I1	S1	Dana tidak mencukupi
I2	S2	Tidak mengecek persediaan material

Setelah membuat model grafis, langkah selanjutnya adalah menganalisa *Fault Tree* secara kualitatif dengan menggunakan Aljabar Boolean. Tujuan dari analisa ini adalah mencari *minimal cut set*.

Sebuah *cut set* didefinisikan sebagai *basic event* (kejadian dasar) yang bila terjadi akan mengakibatkan terjadinya *Top event*. Sebuah *cut set* dikatakan sebagai *minimal cut set* jika *cut set* tersebut tidak dapat direduksi tanpa menghilangkan statusnya sebagai *cut set*.

Notasi operator dalam logika Aljabar Boolean untuk gerbang OR atau penjumlahan Boolean mempunyai simbol (+). Sedangkan untuk gerbang AND mempunyai simbol (.) atau perkalian Boolean. Aljabar Boolean mempunyai hukum-hukum persamaan. Salah satu contohnya adalah hukum distributif dimana $a \cdot (b + c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$

Berikut hasil analisa menggunakan Aljabar Boolean:

a. Analisa pada pekerjaan persiapan

Tabel 3. *Minimal Cut Set* Pekerjaan Persiapan

No	Kombinasi Event
1	E . D5
2	E . D6
3	E . D7
4	D16
5	D14 . D9 . D8 . D10 . D11 . D12 . D13 . C
6	D15 . D9 . D8 . D10 . D11 . D12 . D13 . C
7	D1 . D2 . D3 . D4

Dari hasil *minimal cut set* diatas, didapat ada 7 kejadian dasar yang menyebabkan terjadinya keterlambatan pekerjaan persiapan.

b. Analisa pada pekerjaan pasangan

Tabel 4. *Minimal Cut Set* Pekerjaan Pasangan

No	Kombinasi Event
1	H1
2	I2 . H9 . H10 . H11 . H12 . H13 . H14 . H15 . H16 . H17 . H18 . H19 . H20 . H21 . H23 . H24 . H22 . I1

3	H2 . H3 . H4 . H5 . H6
4	H2 . H3 . H4 . H5 . H7
5	H2 . H3 . H4 . H5 . H8

Dari hasil *minimal cut set* diatas, didapat ada 5 kejadian dasar yang menyebabkan terjadinya keterlambatan pekerjaan pasangan.

c. Analisa pada pekerjaan beton

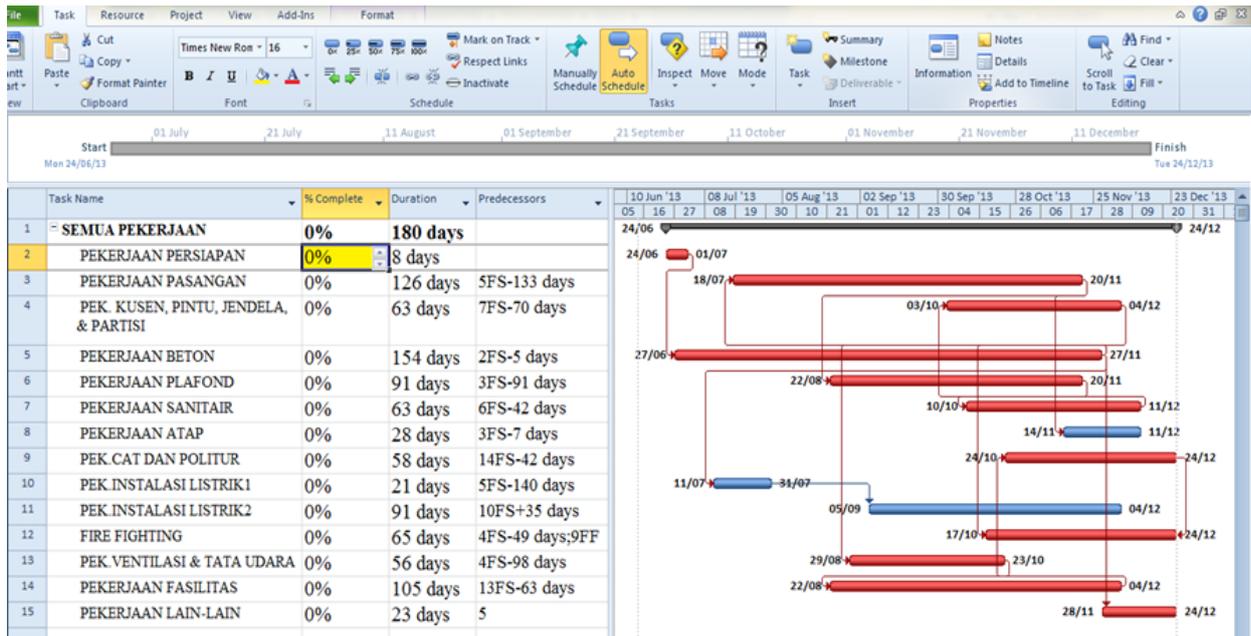
Tabel 5. *Minimal Cut Set* Pekerjaan Beton

No	Kombinasi Event
1	R1
2	S2 . R9 . R10 . R11 . R12 . R13 . R14 . R15 . R16 . R17 . R18 . R19 . R20 . R21 . R23 . R24 . R22 . S1
3	R2 . R3 . R4 . R5 . R6
4	R2 . R3 . R4 . R5 . R7
5	R2 . R3 . R4 . R5 . R8

Dari hasil *minimal cut set* diatas, didapat ada 5 kejadian dasar yang menyebabkan terjadinya keterlambatan pekerjaan beton.

Setelah didapat *minimal cut set*, langkah selanjutnya adalah menganalisa *Fault Tree* secara kuantitatif. Langkah pertama dalam menganalisa secara kuantitatif adalah dengan memakai sistem Tracking. Tracking adalah peninjauan hasil kerja di lapangan dengan rencana pekerjaan semula dalam Microsoft Project. Hal ini bertujuan untuk membandingkan hasil progress rencana dengan progress aktual.

Total pengujian adalah total jangka waktu pelaksanaan proyek yang tertulis dalam kontrak yaitu 180 hari kalender. Awal pelaksanaan pada tanggal 14 Juni 2013 dan berakhir pada 10 Desember 2013. Untuk pekerjaan persiapan, didapat prosentase pekerjaan dengan perbandingan bobot aktual dengan bobot rencana yaitu 0%. Kemudian, prosentase dimasukkan pada kolom % complete. Kemudian dilakukan update proyek pada tanggal dimana berakhirnya pekerjaan persiapan. Berikut hasil dari Tracking pekerjaan persiapan.



Gambar 5 Hasil Tracking Pekerjaan Persiapan

Dari gambar diatas, didapat proyek mengalami keterlambatan selama 14 hari. Seharusnya, tanggal 10 Desember 2013 proyek telah selesai, tetapi karena mengalami keterlambatan, proyek berakhir pada tanggal 24 Desember 2013.

Setelah melakukan Tracking, dicari nilai laju kegagalannya.

- *Failure Rate* (Laju Kegagalan) :

$$\lambda(t) = \frac{f}{T}$$

dimana

$\lambda(t)$ = Laju kegagalan per satuan waktu

f = Jumlah kegagalan selama waktu pengujian

T = Total waktu pengujian

maka

$$\lambda(t) = \frac{14}{180} = 0,0778$$

Dari hasil diatas, didapatkan nilai reliabilitas pekerjaan persiapan adalah sebesar

$$R = e^{-\lambda(t)}$$

$$R = e^{-0,0778} = 0,925$$

Nilai reliabilitas diatas menunjukkan bahwa nilai kegagalan suatu sistem masih layak atau normal, sehingga sistem tersebut masih aman untuk dijalankan. Dalam hal ini berarti, pekerjaan persiapan mengalami keterlambatan dalam batas normal sehingga penanganan untuk proyek selanjutnya/sejenis masih bisa diatasi.

Selain melakukan analisa kuantitatif pada pekerjaan persiapan, juga dilakukan analisa terhadap pekerjaan pasangan dan pekerjaan beton. Didapat nilai keandalan pekerjaan pasangan sebesar 0,311 dan pekerjaan beton sebesar 0,358. Nilai keandalan tersebut menunjukkan bahwa tingkat kegagalan suatu sistem sangat tinggi, sehingga sistem tersebut dapat digolongkan sebagai sistem yang hampir tidak bekerja/rusak. Dalam hal ini berarti, pekerjaan pasangan dan beton mengalami keterlambatan yang parah sehingga perlu penanganan yang lebih untuk mengantisipasi keterlambatan bagi proyek selanjutnya/sejenis.

KESIMPULAN

Pekerjaan yang mengalami keterlambatan adalah pekerjaan persiapan, pekerjaan pasangan, dan pekerjaan beton. Faktor yang dominan menyebabkan keterlambatan pada pekerjaan persiapan adalah keterlambatan penandatanganan kontrak. Sedangkan, penyebab yang dominan menyebabkan terlambatnya pekerjaan pasangan dan pekerjaan beton adalah manajemen yang kurang baik dari konsultan pengawas yaitu kontrol yang kurang baik dan kurangnya pengawasan dan tidak melaksanakan perannya, dan kurangnya koordinasi. Selain itu, besar nilai

keandalan dari pekerjaan persiapan adalah 0,925, untuk pekerjaan pasangan sebesar 0,311 dan pekerjaan beton sebesar 0,358. Sehingga yang paling besar tingkat kegagalan sistemnya (keterlambatan) adalah pekerjaan pasangan.

SARAN

Dalam pembuatan kuesioner, sebaiknya perlu diperhatikan tata cara pembuatan kuesioner tentang faktor-faktor yang menyebabkan keterlambatan proyek agar proyek yang diteliti dapat dianalisa dan diidentifikasi dengan mudah dan jelas, sehingga dapat dengan mudah membuat model grafis *Fault Tree Analysis*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Ridhati. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012) ISSN: 2301-9271 Analisa Penyebab Keterlambatan Proyek Pembangunan Sidoarjo Town Square Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA)*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Anonim. “*Handout Gerbang dan Aljabar Boole*”. http://ocw.usu.ac.id/course/download/4190000007-dasar-teknik-digital/tke_113_handout_gerbang_dan_aljabar_boole.pdf (diakses 4 April 2014)
- Anonim. “*Reliability of Machine Components*”, <http://www.engineeringtoolbox.com/reliability-d953.html> (diakses 13 April 2014)
- Priyanta, Dwi. 2000. *Keandalan Dan Perawatan*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Stamatelatos, Michael, dkk. 2002. *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. Washington D.C.
- Vesely, W.E, dkk. 1981. *Fault Tree Handbook*. Washington D.C: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- Widjanarka, Wijaya. 2006. *Teknik Digital*. Jakarta: Erlangga.