

METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA) UNTUK MENGIDENTIFIKASI POTENSI DAN PENYEBAB KECELAKAAN KERJA PADA PROYEK GEDUNG

Haryanto Pandapotan Pasaribu¹⁾, Harijanto Setiawan²⁾, Wulfram I. Ervianto³⁾

¹⁾Mahasiswa Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta

^{2) & 3)}Dosen Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Not all workplace accidents resulting in injuries, but there are also resulting in damage to material, equipment and the environment. But in this case of work accidents causing injuries concern in order to reduce the number of fatalities due to accidents. Identifying hazards before or after the hazard occurs at the core of an accident prevention activities. However, this identification is not an exact science. This is a subjective activity, where the hazards identified can be different from one person to another. Furthermore, from the previous inspection can be compared or developed so that it becomes a reference for corrective action so that the same accident does not happen again.

This study aims to identify the cause of an accident in a process of working in the construction field. Identification of accident risk level measured from the aspect of impact, likelihood and prevention using the method of failure mode and effect analysis (FMEA), while the identification of potential causes of the accident were calculated using a fault tree analysis (FTA).

The results of the FMEA analysis found that the highest risk of workplace accidents that have occurred in PT.X is in the process of the transport of steel reinforcement to the field. Furthermore, using the tools interview note that the type of accident that occurred on the job process is affected.

Then, by using the tools of Delphi obtained the agreement of potential - the potential causes of accidents in the transport of iron falling into the field which is then compiled using the FTA to produce 19 combinations cause of the accident.

Keywords: Risk, work accidents, Delphi, FMEA, FTA

Tidak semua kecelakaan kerja mengakibatkan luka – luka, namun ada juga yang mengakibatkan kerusakan material, peralatan dan lingkungan. Namun dalam hal ini kecelakaan kerja yang mengakibatkan luka – luka menjadi perhatian agar dapat mengurangi jumlah korban jiwa akibat kecelakaan kerja. Pengidentifikasian bahaya sebelum atau sesudah bahaya terjadi merupakan inti dari sebuah kegiatan pencegahan kecelakaan. Akan tetapi, identifikasi ini bukan ilmu pasti. Hal ini merupakan kegiatan subjektif, di mana bahaya yang teridentifikasi bisa saja berbeda antara satu orang dengan yang lainnya. Selanjutnya dari inspeksi sebelumnya dapat dibandingkan atau dikembangkan sehingga menjadi bahan acuan untuk tindakan korektif agar kecelakaan yang sama tidak terulang kembali.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya suatu kecelakaan pada suatu proses kegiatan kerja di bidang konstruksi. Identifikasi tingkat risiko kecelakaan diukur dari aspek dampak, peluang kejadian dan pencegahannya dilakukan dengan menggunakan metode failure mode and effect analysis (FMEA), sedangkan identifikasi potensi penyebab kecelakaan dilakukan dengan menggunakan metode fault tree analysis (FTA).

Hasil dari analisis FMEA mendapati bahwa risiko kecelakaan kerja paling tinggi yang pernah terjadi pada PT.X adalah pada proses kegiatan pengangkutan besi tulangan ke lapangan. Selanjutnya menggunakan tools wawancara diketahui bahwa jenis kecelakaan yang terjadi pada proses pekerjaan tersebut adalah tertimpa. Kemudian dengan menggunakan tools delphi diperoleh kesepakatan potensi – potensi penyebab terjadinya kecelakaan tertimpa pada kegiatan pengangkutan besi ke lapangan yang kemudian disusun menggunakan metode FTA sehingga menghasilkan 19 kombinasi penyebab kecelakaan.

Kata kunci : Risiko, kecelakaan kerja, Delphi, FMEA, FTA

PENDAHULUAN

Suatu pekerjaan proyek konstruksi tentunya ingin diselesaikan dengan tepat waktu, namun terkadang aktivitas pekerjaan suatu proyek dapat terganggu dengan berbagai hal sehingga mengalami keterlambatan waktu penyelesaian. Salah satu penyebab terganggunya atau terhentinya pekerjaan proyek adalah terjadinya kecelakaan kerja pada proses pelaksanaan konstruksi.

Kata kecelakaan biasanya digunakan pertama untuk menjelaskan tentang keadaan diluar kontrol seorang yang terlibat dan yang kedua untuk menjelaskan kejadian yang berhubungan dengan kerusakan atau luka.

Oleh sebab itu manajemen risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) merupakan syarat mutlak dan harus diperhatikan dan dilaksanakan untuk mencegah terjadinya berbagai masalah yang disebabkan oleh potensi bahaya di tempat kerja terutama dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Sasaran utama manajemen K3 adalah mengelola risiko untuk mencegah terjadinya kecelakaan atau hal yang tidak diinginkan melalui proses identifikasi bahaya, penilaian risiko dan pengendaliannya.

Terdapat beberapa metode analisis yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi kecelakaan, diantaranya metode *checlist safety*, *Job Safety Analysis (JSA)*, *what-if*, *Hazard and Operability Study (HAZOPS)*, *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, *Fault Tree Analysis (FTA)*, *Task Risk Assessment (TRA)*, *Event Tree Analysis (ETA)*.

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *Faiulure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan metode *Fault Tree Analysis (FTA)*. Pemilihan metode didasarkan oleh fungsi masing – masing dimana FMEA berfungsi untuk menilai risiko potensi kegagalan yang diukur dari aspek dampak, peluang kejadian dan pencegahannya. Sedangkan metode FTA berfungsi untuk mengilustrasikan potensi kecelakaan kerja (*basic event*) yang muncul dan diruaikan dari setiap indikasi kejadian puncak (*top event*).

RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang diatas, maka perumusan masalah dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana FMEA diterapkan untuk mengidentifikasi potensi risiko kecelakaan kerja yang terjadi pada proyek gedung?
2. Bagaimana FTA diterapkan untuk mengidentifikasi sumber penyebab risiko kecelakaan kerja pada proyek gedung?

BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penyusunan penelitian ini adalah:

1. Risiko yang diteliti adalah kegiatan–kegiatan yang berpotensi berbahaya pada pembangunan suatu gedung dan dibatasi pada pekerjaan pondasi dan struktur.
2. Mengidentifikasi risiko–risiko yang berpotensi berdasarkan persepsi reponden kontraktor berpengalaman (terkait dengan proyek).
3. Permodelan FTA hanya pada pekerjaan dengan risiko tertinggi yang didapat dari metode FMEA.
4. Analisis FTA menggunakan analisis kualitatif.
5. Pengumpulan data menggunakan tools wawancara dan delphi.

TINJAUAN PUSTAKA

Proyek Gedung

Menurut Ervianto (2005), proyek konstruksi merupakan suatu rangkaian kegiatan yang hanya satu kali dilaksanakan dan umumnya berjangka waktu pendek. Dalam rangkaian kegiatan tersebut, terdapat suatu proses yang mengolah sumber daya proyek menjadi suatu hasil kegiatan berupa bangunan.

Proyek konstruksi dapat dibedakan menjadi dua jenis kelompok, yaitu :

1. Bangunan gedung, seperti: rumah, kantor, pabrik dan lain-lain
2. Bangunan sipil, seperti: jalan, jembatan, bendungan dan infrastruktur lainnya.

Risiko

Definisi risiko adalah suatu peristiwa atau kondisi yang tidak pasti, jika terjadi, memiliki efek positif atau negatif pada tujuan proyek (*A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) 4th Edition, Project Management Institute (PMI), USA, 2008*). Risiko pada umumnya dipandang sebagai sesuatu yang negatif seperti kecelakaan, kehilangan, bahaya dan konsekuensi lainnya. Namun kerugian tersebut merupakan bentuk ketidak pastian yang seharusnya dipahami dan dikelola secara efektif oleh organisasi sebagai bagian dari strategi sehingga dapat menjadi nilai positif dan mendukung pencapaian tujuan organisasi. Oleh sebab itu dibutuhkan manajemen risiko kecelakaan yang baik agar kerugian dari risiko kecelakaan dapat dikurangi atau dihindari.

Jenis-jenis kecelakaan kerja

Bentuk kecelakaan kerja yang terjadi pada proyek konstruksi bermacam-macam dan merupakan dasar dari penggolongan atau pengklasifikasian jenis kecelakaan. Menurut Thomas (1989) Jenis–jenis kecelakaan kerja dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Terbentur (*struck by*)

Kecelakaan ini terjadi pada saat seseorang yang tidak diduga ditabrak atau ditampar sesuatu yang bergerak atau bahan kimia. Contohnya terkena pukulan palu, ditabrak kendaraan, benda asing misal material.

2. Membentur (*struck against*)

Kecelakaan yang selalu timbul akibat pekerja yang bergerak terkena atau bersentuhan dengan beberapa objek atau bahan – bahan kimia.

3. Terperangkap (*caught in, on, between*)

Contoh dari *caught in* adalah kecelakaan yang akan terjadi bila kaki pekerja tersangkut di antara papan – papan yang patah di lantai. Contoh dari *cought on* adalah kecelakaan yang timbul bila baju dari pekerja terkena pagar kawat, sedangkan contoh dari *cought between* adalah kecelakaan yang terjadi bila lengan atau kaki dari pekerja tersangkut dalam bagian mesin yang bergerak.

4. Jatuh dari ketinggian (*fall from above*)

Kecelakaan in banyak terjadi, yaitu jatuh dari ketinggian dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Contohnya jatuh dari tangga atau atap.

5. Jatuh pada ketinggian yang sama (*fall at ground level*)

Beberapa kecelakaan yang timbul pada tipe ini seringkali berupa tergelincir, tersandung, jatuh dari lantai yang sama tingkatnya.

6. Pekerjaan yang terlalu berat (*over-exertion or strain*)

Kecelakaan ini timbul akibat pekerjaan yang terlalu berat yang dilakukan pekerja seperti mengangkat, menaikkan, menarik benda atau material yang dilakukan diluar batas kemampuan.

7. Terkena aliran listrik (*electrical contact*)

Luka yang ditimbulkan akibat pekerjaan ini terjadi akibat sentuhan anggota badan dengan alat atau perlengkapan yang mengandung listrik.

8. Terbakar (*burn*)

Kondisi ini terjadi akibat sebuah bagian dari tubuh mengalami kontak dengan percikan, bunga api atau dengan zat kimia yang panas.

Identifikasi risiko

Identifikasi risiko adalah suatu proses yang sifatnya berulang, sebab risiko–risiko baru kemungkinan baru diketahui ketika proyek sedang berlangsung selama siklus proyek. Frekuensi pengulangan dan siapa personel yang terlibat dalam setiap siklus akan sangat bervariasi dari satu kasus ke kasus yang lain. Identifikasi harus mencakup semua risiko, baik yang ada atau tidak dalam organisasi, tujuannya untuk menghasilkan daftar risiko yang komprehensif dari suatu peristiwa yang dapat memberikan pengaruh terhadap setiap struktur elemen. Untuk melakukan proses identifikasi risiko dapat menggunakan *tools* dan teknik antara lain (PMBOK@ Guide (2004), halaman 247-248):

1. *Brainstroming*

Tujuan *brainstorming* adalah untuk mendapatkan daftar yang komperehensif risiko proyek. *Brainstorming* dilakukan dengan cara mengundang beberapa orang dan dikmpulkan dalam suatu ruangan untuk berbagi ide tentang risiko proyek. Ide tentang risiko proyek dihasilkan dengan bantuan dan kepemimpinan seorang *fasilitator*.

2. *Delphie technique*

Delphie technique adalah cara mencapai konsensus dari para ahli. Para ahli dalam bidang risiko proyek berpartisipasi tanpa nama atau *anonumously* dan difisilitasi dengan suatu kuisioner untuk mendapatkan ide tentang risiko proyek yang dominan. Respon yang ada diringkas, kemudian disirkulasi ulang kepada para ahli untuk komentar lebih lanjut. Konsensus mungkin dicapai didalam beberapa kali putaran proses. *Delphi technique* sangat membantu untuk mengurangi bias pada data dan menjaga untuk tidak dipengaruhi oleh pendapat yang tidak semestinya (PMBOK@ Guide (2004), halaman 248).

3. *Interviewing*

Interviewing atau wawancara adalah teknik untuk mengumpulkan data tetang risiko proyek. Wawancara dilakukan terhadap anggota tim proyek dan *stakeholder* lainnya yang telah berpengalaman dalam risiko proyek.

4. *Root cause identification*

Teknik ini dilakukan untuk mengetahui penyebab risiko yang esensial dan yang akan mempertajam definisi risiko, kemudian dibuat kedalam grup berdasarkan penyebab.

5. *Strength, Weaknerss, Opportunities and Threats (SWOT) analysis*

Teknik ini dilakukan berdasarkan perspektif SWOT untuk meningkatka pemahaman risiko yang lebih luas. Hasil utama dari proses identifikasi risiko adalah adanya daftar risiko (*risk register*) yang harus didokumentasikan sebagai bagian dari rencana manajemen proyek (*project management plan*).

Selanjutnya menurut Diberardinis, L. J. (1999) proses identifikasi yang biasa dilakukan dapat berupa:

1. *Cheklis safety*

Cheklis safety biasa digunakan sebagai langkah awal atau tinjauan dari aspek keselamatan dalam suatu situasi. *Cheklis* dapat diterapkan setiap melakukan tinjauan. Dapat digunakan selama evaluasi setiap bagian peralatan.

2. *Job Safety Analysis (JSA)*

Job Safety Analysis (JSA) adalah sebuah teknik analisis bahaya yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya yang ada pada pekerjaan seseorang dan untuk mengembangkan pengendalian yang tepat untuk mengurangi risiko. JSA umumnya tidak digunakan untuk melakukan peninjauan desain atau memahami bahaya dari suatu proses kompleks.

JSA merupakan suatu analisis yang menghasilkan sebuah rekomendasi dari tinjauan proses *hazard* yang lebih detail. Hasil dari JSA ini harus dituliskan dalam bentuk formal yaitu berupa prosedur untuk setiap pekerjaan.

3. *What if*

What if merupakan teknik analisis dengan metode *brainstorming* untuk menentukan hal-hal apa saja yang mungkin salah dan risiko dari setiap situasi.

Tujuan teknik ini adalah mengidentifikasi kemungkinan adanya kejadian yang tidak diinginkan dan menimbulkan suatu konsekuensi serius. Melalui teknik ini dapat dilakukan penilaian terhadap kemungkinan terjadinya penyimpangan rancang bangun, konstruksi atau modifikasi dari yang diinginkan.

4. *Hazard And Operability Analysis (HAZOP)*

Hazard And Operability Analysis (HAZOP) merupakan teknik identifikasi bahaya yang digunakan untuk industri proses seperti industri kimia, petrokimia dan kilang minyak. Metode ini sebaiknya dilakukan oleh orang yang tepat. Penilaian dilakukan dengan menggunakan kata-kata kunci.

Teknik HAZOP merupakan sistem yang sangat terstruktur dan sistematis sehingga dapat menghasilkan kajian yang komprehensif. Kajian HAZOP juga bersifat multidisiplin sehingga hasil kajian akan lebih mendalam dan rinci karena telah ditinjau dari berbagai latar belakang, disiplin dan keahlian.

5. *Event Tree Analysis (ETA)*

Event Tree Analysis (ETA) menunjukkan dampak yang mungkin terjadi diawali dengan mengidentifikasi pemicu kejadian dan proses dalam setiap tahapan yang menimbulkan terjadinya kecelakaan. Sehingga dalam ETA perlu diketahui pemicu dari kejadian dan fungsi sistem keselamatan atau prosedur kegawatdaruratan yang tersedia untuk menentukan langkah perbaikan yang ditimbulkan oleh pemicu kejadian (Diberardinis, 1999)

6. *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) ditunjukkan untuk menilai potensi kegagalan dalam proses. Metode ini digunakan untuk manajemen risiko. FMEA adalah suatu tabulasi dari sistem, peralatan pabrik dan pola kegagalan serta efek terhadap operasi. FMEA adalah uraian mengenai bagaimana suatu peralatan dapat mengalami kegagalan. FMEA sangat bermanfaat untuk memberikan gambaran mengenai tingkat kerawanan dari suatu komponen atau sub sistem atau dapat membantu dalam menentukan skala prioritas dalam program pemeliharaan, penyediaan komponen dan pengoperasian suatu alat, menekan biaya operasi dan pemeliharaan fasilitas.

7. *Fault Tree Analysis (FTA)*

Fault Tree Analysis (FTA) menggunakan analisis yang bersifat deduktif. Dimulai dengan menetapkan kejadian yang dapat menimbulkan akibat dari kejadian puncak diidentifikasi dalam bentuk pohon logika kearah bawah. FTA merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana suatu kecelakaan spesifik dapat terjadi.

Metode *Failure Mode And Effects Analysis (FMEA)*

Menurut Gaspersz (2002), *Failure Mode And Effects Analysis (FMEA)* merupakan teknik analisa risiko secara sirkulatif yang digunakan untuk mengidentifikasi bagaimana suatu peralatan, fasilitas/sistem dapat gagal serta akibat yang dapat ditimbulkannya. Hasil FMEA berupa rekomendasi untuk meningkatkan kehandalan tingkat keselamatan fasilitas, peralatan/sistem. Dalam konteks Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), kegagalan yang dimaksudkan dalam definisi ini merupakan suatu bahaya yang muncul dari suatu proses. Pencegahan terjadinya kecelakaan kerja dapat dilakukan dengan cara mengontrol terjadinya kecelakaan kerja yang mempunyai risiko tinggi baik dalam hal akibatnya, kemungkinan terjadinya dan kemudahan pendeteksiannya. Berdasarkan hal itu FMEA merupakan metode yang tepat untuk dilakukan karena metode FMEA mengukur tingkat risiko kecelakaan kerja secara konvensional berdasarkan tiga parameter yaitu keparahan/*Severity (S)*, kejadian/*Occurance (O)* dan deteksi/*Detection (D)*.

Disamping keunggulan dan kemudahan metode FMEA, terdapat beberapa kelemahan yang tidak dapat dihindarkan. Menurut Xu et al. (2002) dan Yeh dan Hsieh (2007) yang dikutip oleh Marimin et al. (2013) dan Apriyan J. et al (2017), beberapa kelemahan metode FMEA antara lain: (1) pernyataan dalam FMEA sering bersifat subjektif dan kualitatif sehingga tidak jelas dalam bahasa ilmiah, (2) ketiga parameter (keparahan, kejadian dan deteksi) biasanya

memiliki kepentingan yang sama padahal seharusnya ketiga parameter tersebut memiliki kepentingna yang berbeda, (3) nilai RPN yang dihasilkan dari perkalian S, O, dan D sering sama, padahal sebenarnya mempersentasikan nilai risiko yang berbeda. Demi mengatasi kelemahan yang dimiliki metode FMEA tersebut, biasanya metode ini digabungkan dengan metode lainnya seperti metode-metode khusus dalam bidang keselamatan kerja yaitu Fault Tree Analysis (FTA) dan Job Safety Analysis (JSA). Meskipun demikian, kedua metode tambahan tersebut tidak dapat menghasilkan data yang benar-benar kuantitatif (nilai rill) sebagai dasar pertimbangan pengambilan keputusan.

Metode Fault Tree Analysis (FTA)

Menurut Thomas Pyzdek, (2002) dalam Setyadi (2013), *Fault Tree Analysis* (FTA) suatu model diagram yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan. Secara sederhana FTA dapat diuraikan sebagai suatu teknik analitis dimana suatu status yang tidak diinginkan menyangkut kesalahan suatu sistem yang dianalisa dalam konteks operasi dan lingkungannya untuk menemukan semua cara yang dapat dipercaya dalam peristiwa yang tidak diinginkan dapat terjadi. FTA bersifat *top-down*, artinya analisa yang dilakukan dimulai dari kejadian umum (kerusakan secara umum) selanjutnya penyebabnya (khusus) dapat ditelusuri ke bawahnya. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. Simbol diagram yang dipakai untuk menyatakan hubungan tersebut disebut gerbang logika (*logic gate*). *Output* dari sebuah gerbang logika ditentukan oleh *event* yang masuk ke gerbang tersebut.

Simbol-simbol Fault Tree Analysis (FTA)

Simbol-simbol dalam FTA dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Simbol-simbol gerbang (*gate*).
Simbol *gate* digunakan untuk menunjukkan hubungan antar kejadian dalam sistem. Setiap kejadian dalam sistem dapat secara pribadi atau bersama-sama menyebabkan kejadian lain muncul. Adapun simbol-simbol hubungan yang digunakan dalam FTA dapat dilihat pada tabel.1.
2. Simbol-simbol kejadian (*event*)
Simbol kejadian digunakan untuk menunjukkan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol-simbol kejadian ini akan lebih memudahkan dalam mengidentifikasi kejadian yang terjadi. Adapun simbol-simbol kejadian yang digunakan dalam FTA seperti yang dicantumkan pada tabel.2

Tabel 1. Simbol-simbol gerbang FTA

No	Simbol gate	Nama dan keterangan
1		<i>And gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika semua <i>input event</i> terjadi secara bersamaan.
2		<i>Or gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika paling tidak satu <i>input event</i> terjadi.
3		<i>k out of n gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika paling sedikit <i>k output</i> dari <i>n input event</i> terjadi.
4		<i>Exclusive OR gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika satu <i>input event</i> , tetapi tidak terjadi.
5		<i>Inhibit gate</i> . <i>Input</i> menghasilkan <i>output</i> jika <i>conditional event</i> ada.
6		<i>Priority AND gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika semua <i>input event</i> terjadi baik dari kanan maupun kiri.
7		<i>Not gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika <i>input event</i> tidak terjadi.

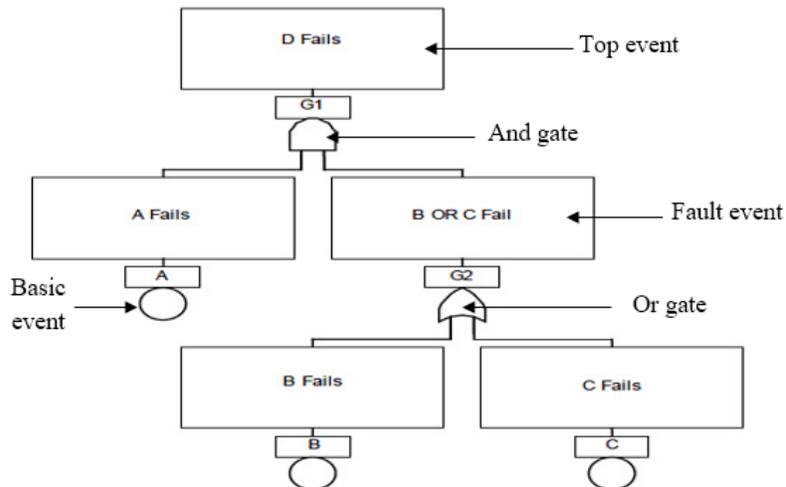
Sumber : Blanchard, 2004

Tabel 2. Simbol-simbol kejadian FTA

No	Simbol gate	Nama dan keterangan
1		<i>Elipse</i> Gambar <i>elipse</i> menunjukkan kejadian pada level paling atas (<i>top level event</i>) dalam pohon kesalahan
2		<i>Rectangle</i> Gambar <i>rectangle</i> menunjukkan kejadian pada level menengah (<i>intermediate fault event</i>) dalam pohon kesalahan
3		<i>Cirsel</i> Gambar <i>cirsel</i> menunjukkan kejadian pada level paling bawah (<i>lowest level failure event</i>) atau disebut kejadian paling dasar (<i>basic event</i>)
4		<i>Diamond</i> Gambar <i>diamond</i> menunjukkan kejadian yang tidak terduga (<i>undeveloped event</i>). Kejadian - kejadian tak terduga dapat dilihat pada pohon kesalahan dan dianggap sebagai kejadian paling awal yang menyebabkan kerusakan.
5		<i>House</i> Gambar <i>house</i> menunjukkan kejadian <i>input (input event)</i> dan merupakan kegiatan terkendali (<i>signal</i>). Kegiatan ini dapat menyebabkan kerusakan

Sumber : Blanchard, 2004

Selanjutnya setiap *fault* ini akan saling berhubungan secara *horizontal* dengan hubungan “*and*” atau “*or*”. Jika hubungan yang terjadi antara dua kejadian adalah “*and*” berarti kejadian di atasnya baru dapat terjadi jika kedua kejadian dibawah terjadi, namun jika penghubungnya adalah “*or*” maka kejadian di atasnya dapat terjadi jika salah satu kejadian dibawahnya terjadi. Contoh penggambaran *faault tree* seperti yang dicantumkan pada gambar 1.



Sumber : *Fault tree handbook with aerospace applications*

Gambar 1. Diagram alir penelitian

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap. Tahap pertama bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kecelakaan kerja yang dapat terjadi pada proyek pembangunan gedung. Tahap kedua bertujuan untuk menilai tingkat risiko kecelakaan kerja yang dilakukan dengan metode FMEA dengan menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) dari tiap risiko kecelakaan kerja. Nilai RPN merupakan perkalian dari nilai S, O, dan D seperti yang telah diuraikan di atas. Tahap ketiga bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi-kombinasi penyebab potensi kecelakaan terjadi.

Identifikasi potensi kecelakaan kerja (Tahap I)

Pada tahap awal ini dilakukan identifikasi potensi kecelakaan kerja yang dapat terjadi pada proyek pembangunan gedung berdasarkan temuan dari penelitian-penelitian terdahulu: Yetti (2011), Taufiq J. et al. (2013), Yolanda Y. S. et al. (2014), Bryan (2014), Fahmi et al. (2014) dan enny (2014). Berdasarkan hasil identifikasi pada penelitian-penelitian terdahulu seperti yang telah diuraikan, maka diperoleh 103 kecelakaan kerja yang potensial terjadi pada proyek bangunan gedung. Selanjutnya kecelakaan kerja yang potensial terjadi disusun dalam bentuk kuisioner. Setelah itu dikonfirmasi kepada beberapa kontraktor dari perusahaan yang berbeda dan dianggap berpengalaman dalam hal keselamatan kerja. Responden yang diminta untuk mengkonfirmasi berasal dari proyek yang berbeda karena kuisioner konfirmasi ini untuk menilai potensi bahaya kecelakaan kerja secara umum. Responden tersebut antara lain adalah *project manager*, *site manager* dan staf HSE. Tujuan dari konfirmasi ini adalah mendapat kepastian kemungkinan timbulnya potensi kecelakaan kerja berdasarkan kenyataan yang terjadi di lapangan. Selanjutnya dari 103 potensi bahaya kecelakaan kerja setelah di konfirmasi oleh sembilan responden secara umum maka menghasilkan 69 potensi bahaya kecelakaan kerja yang mungkin terjadi pada pekerjaan struktur gedung. 69 potensi kecelakaan kerja kemudian di *cross-check* dengan kecelakaan kerja yang telah terjadi pada pekerjaan yang sudah dilaksanakan pada proyek yang menjadi obyek penelitian ini. Hasilnya diperoleh tiga belas kecelakaan kerja yang telah terjadi pada proyek tersebut. Tiga belas kecelakaan kerja ini terjadi pada tiga belas kegiatan yang dikelompokkan dalam tiga pekerjaan, yaitu pekerjaan bekisting, pembesian dan pengecoran plat lantai.

Penentuan nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O) dan *Detection* (D) metode FMEA (Tahap II)

Setelah diperoleh item risiko maka langkah berikutnya adalah penentuan tingkat keparahan/*Severity* (S), kemungkinan terjadinya/*Occurrence* (O) dan deteksi/*Detection* (D). Penentuan rating didapatkan melalui proses *brainstorming* dengan

para pihak yang dianggap berpengalaman di proyek yang diteliti. Penentuan ketiga *rating* tersebut akan sangat menentukan proses memprioritaskan daftar risiko/penentuan risiko kritis. Risiko kritis ini yang akan dianalisis lebih lanjut menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA)

Severity (S)

Saverity menunjukkan tingkat keseriusan akibat yang ditimbulkan. Skala/*ranking* yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan standar *incident severity scale* (Priest, 1996). Standar ini memberi dampak dari potensi kecelakaan kerja mengenai luka, penyakit, bahaya sosial dan *psychological* serta bahaya terhadap mesin atau peralatan. Penelitian ini hanya melihat dampak yang ditimbulkan dari potensi kecelakaan kerja berupa luka yang ditimbulkan. Skala untuk *severity* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Skala *Severity*

Tingkat	Dampak	Akibat luka
10	Kehilangan nyawa atau merubah kehidupan individu	Kematian beberapa individu (masal)
9		Kematian individu (seseorang)
8		Perlu perawatan seirus dan menimbulkan cacat permanen
7	Berdampak besar pada individu sehingga tidak ikut lagi dalam aktivitas	Dirawat lebih dari 12 jam, dengan luka pecah pembuluh darah, hilang ingatan hebat, kerugian besar, dll
6		Dirawat lebih dari 12 jam, patah tulang, tulang bergeser, radang dingin, luka bakar, susah bernafas dan lupa ingatan sementara, jatuh/terpeleset
5	Dampak yang diterima sedang (individu hanya 1 sampai 2 hari tidak ikut dalam aktivitas)	Keseleo/terkilir, retak/patah ringan, kram atau kejang
4		Luka bakar ringan, luka gores/tersayat, <i>frosnip</i> (radang dingin/panas)
3	Dampak diterima kecil (individu masih dapat ikut dalam aktivitas)	Melepuh, tersengat panas, keseleo ringan, tergelincir atau terpeleset ringan
2		Tersengat matahari, memar, teriris ringan, tergores
1	Tidak berdampak (individu tidak mendapat dampak yang terasa)	Terkena serpihan, tersengat serangga, tergigit serangga

Sumber : *National incident database report*, 2011 dan Wang, et al (2009)

Occurance (O)

Occurance merupakan frekuensi dari penyebab kegagalan (potensi kecelakaan kerja) secara spesifik dari suatu proyek yang terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan. Skala yang digunakan dari satu (hampir tidak pernah) sampai dengan sepuluh (hampir sering). Skala untuk *Occurance* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Skala *Occurance*

Probabilitas kejadian	Tingkat kejadian	Nilai
Sangat tinggi dan tidak bisa dihindari	>1 in 2	10
	1 in 3	9
Tinggi dan sering terjadi	1 in 8	8
	1 in 20	7
Sedang dan kadang terjadi	1 in 80	6
	1 in 400	5
Rendah dan relatif jarang terjadi	1 in 2.000	4
	1 in 15.000	3
Sangat rendah dan hampir tidak pernah terjadi	1 in 150.000	2

Probabilitas kejadian	Tingkat kejadian	Nilai
	1 in 1.500.000	1

Sumber : Y.M. Wang, et al (2009)

Detection (D)

Detection merupakan pengukuran terhadap kemampuan mendeteksi atau mengontrol kegagalan (potensi kecelakaan kerja) yang bisa terjadi. Skala yang digunakan dari satu (alat bisa mengontrol atau mendeteksi kegagalan) sampai dengan sepuluh (alat tidak bisa mengontrol atau mendeteksi kegagalan). Skala untuk *detection* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Skala *Detection*

Deteksi	Kemungkinan Terdeteksi	Ranking
Hampir tidak mungkin	Tidak ada alat pengontrol yang mampu mendeteksi	10
Sangat jarang	Alat pengontrol saat ini sangat sulit mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan	9
Jarang	Alat pengontrol saat ini sangat sulit mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan	8
Sangat rendah	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab sangat rendah	7
Rendah	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab rendah	6
Sedang	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab sedang	5
Agak tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab sedang sampai tinggi	4
Tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab tinggi	3
Sangat tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab sangat tinggi	2
Hampir pasti	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab hampir pasti	1

Sumber : Y.M. Wang, et al (2009)

Untuk menentukan nilai S, O, D digunakan kuisioner. Maka diperoleh nilai S, O, D untuk tiap potensi risiko. Hasil nilai S, O, D pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai S, O, D

Kegiatan	Severity (S)				Occurance (O)				Detection (D)			
	Responden			Rata-rata	Responden			Rata-rata	Responden			Rata-rata
	K1	K2	K3		K1	K2	K3		K1	K2	K3	
Pekerjaan bekisting												
1	4	5	5	4.67	3	4	3	3.33	4	3	3	3.33
2	3	2	3	2.67	4	4	4	4.00	4	3	4	3.67
3	6	6	6	6.00	3	4	4	3.67	4	5	4	4.33
Pekerjaan pembesian												
4	3	2	2	2.33	3	4	4	3.67	4	5	4	4.33
5	3	2	3	2.67	3	3	3	3.00	2	5	5	4.00
6	4	4	4	4.00	3	3	3	3.00	2	2	2	2.00
7	5	4	5	4.67	3	4	3	3.33	4	5	5	4.67
8	7	7	7	7.00	3	4	4	3.67	4	5	5	4.67
9	5	4	5	4.67	4	3	4	3.67	4	4	4	4.00
10	5	4	3	4.00	3	4	3	3.33	3	4	4	3.67
Pekerjaan pengecoran plat lantai												
11	4	4	4	4.00	3	4	3	3.33	5	4	5	4.67
12	4	5	4	4.33	3	2	3	2.67	5	4	5	4.67
13	4	5	4	4.33	3	2	3	2.67	5	4	5	4.67

Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) merupakan bagian penting dalam FMEA karena dari nilai RPN akan diketahui prioritas risiko yang termasuk risiko kritis. Nilai RPN dihitung dengan mengalikan nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O) dan *Detection* (D). Hasil hitungan nilai RPN untuk seluruh kecelakaan kerja dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Nilai RPN

No	Kegiatan	S	O	D	RPN
Pekerjaan bekisting					
1	Pemotongan bekisting	4.67	3.33	3.33	51.85
2	Pengangkutan bekisting manual	2.67	4.00	3.67	39.11
3	Pemasangan bekisting	6.00	3.67	4.33	95.33
Pekerjaan pembesian					
4	Pengangkutan besi tulangan manual	2.33	3.67	4.33	37.07
5	Pemotongan besi tulangan	2.67	3.00	4.00	32.00
6	Pembengkokan besi tulangan	4.00	3.00	2.00	24.00
7	Penganyaman besi tulangan	4.67	3.33	4.67	72.59
8	Pengangkutan besi anyaman ke lapangan	7.00	3.67	4.67	119.78
9	Penempatan anyaman dilapangan	4.67	3.67	4.00	68.44
10	Penyambungan tulangan di lapangan	4.00	3.33	3.67	48.89
Pekerjaan pengecoran plat lantai					
11	Persiapan atau pembersihan lahan untuk pengecoran	4.00	3.33	4.67	62.22
12	Pengecoran dengan <i>ready mix</i>	4.33	2.67	4.67	53.93
13	Pemerataan pengecoran beton dengan <i>vibrator</i> dan juga alat	4.33	2.67	4.67	53.93

Berdasarkan pengolahan data FMEA diperoleh nilai RPN tertinggi yang terjadi pada kegiatan pengangkutan besi anyaman ke lapangan dengan nilai 119,78. dengan demikian kegiatan ini merupakan kegiatan dengan risiko kecelakaan kerja tertinggi pada suatu pekerjaan struktur proyek bangunan gedung di Yogyakarta yang dijadikan obyek penelitian ini.

Fault Tree Analysis (FTA) (Tahap II)

Hasil analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) diperoleh nilai RPN tertinggi pada kegiatan “pengangkutan besi anyaman ke lapangan”. Selanjutnya dilakukan wawancara bersama pihak *Health Safety Environment* (HSE) PT.X untuk mengetahui jenis kecelakaan yang terjadi pada kegiatan tersebut. Dari hasil wawancara diketahui bahwa, jenis kecelakaan yang terjadi pada kegiatan tersebut adalah kecelakaan berupa “tertimpa” besi anyaman.

Penentuan *Intermediate event* dan *basic event*

Untuk mengidentifikasi variabel risiko *intermediate event* dan *basic event* maka digunakan *delphi* untuk mendapatkan kesepakatan potensi penyebab kecelakaan menurut para pakar yang dianggap mempunyai pengalaman pada pelaksanaan program keselamatan kerja pada proyek konstruksi.

Metode *delphi* di sini dilakukan dalam tiga putaran. Putaran I untuk menentukan *intermediate event*, putaran II untuk menentukan *basic event* dan putaran III untuk membentuk hubungan antara *top event*, *intermediate event* dan *basic event*. Tiga putaran tersebut seperti yang dijelaskan sebagai berikut:

Putaran I

Pada putaran pertama peneliti menghubungi tiga pakar yang dianggap memiliki pengalaman dan pengetahuan tentang kecelakaan kerja dan diminta kesediaannya untuk menjadi responden. Maka diperoleh tiga orang pakar dari proyek yang berbeda-beda yang terdiri dari satu orang *project manager* dan dua orang anggota *Health Safety Environment* (HSE).

Selanjutnya ketiga pakar tersebut diminta untuk mengisi kuisioner konfirmasi putaran I. tujuannya adalah untuk memperoleh kesepakatan dari hasil wawancara yang dilakukan beresama anggota HSE di PT.X tentang potensi penyebab terjadinya kecelakaan “tertimpa” pada kegiatan “pengangkutan besi anyaman ke lapangan”, dintinjau dari faktor manusia/perilaku, faktor karakteristik/lingkungan, faktor metode kerja dan faktor manajemen” yang dirangkum dari hasil

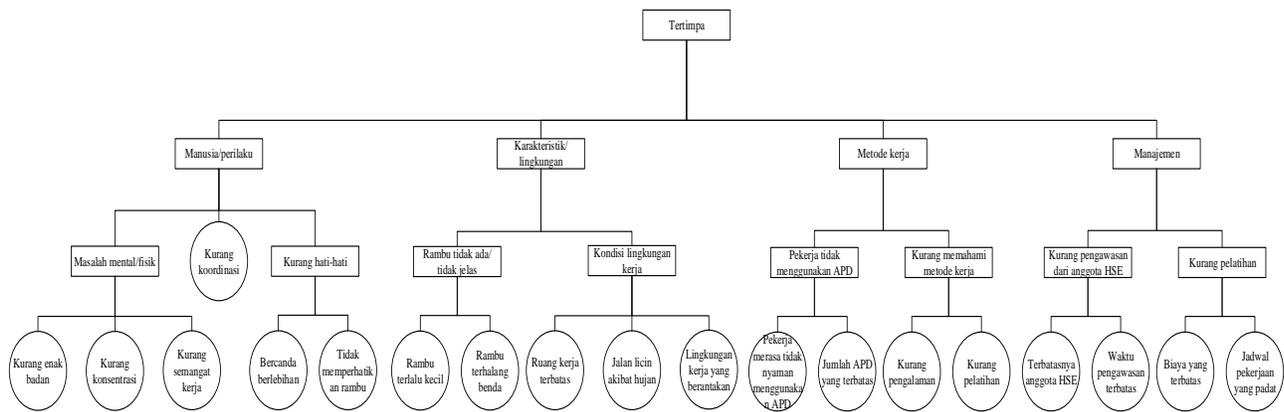
wawancara bersama anggota HSE di PT.X.

Putaran II

Pada putaran II, Peneliti memilih lima responden agar data yang didapat lebih banyak. Responden tersebut terdiri dari tiga responden sebelumnya pada putaran I dan dua responden baru. Kedua responden tersebut masing-masing berposisi sebagai *project manager* di perusahaan yang berbeda. Para responden diminta untuk memberikan pendapat atau masukan mengenai potensi yang dapat menyebabkan *intermediate event* yang diperoleh pada putaran I terjadi. Dari penyebaran kuisisioner diperoleh 35 potensi yang dapat menyebabkan terjadinya *intermediate event*. Selanjutnya Peneliti merangkumnya dan disebarakan lagi kepada para responden untuk memperoleh kesepakatan. Berdasarkan kesepakatan para responden maka diperoleh 19 potensi yang merupakan *basic event*.

Putaran III

Pada putaran III, Peneliti menggambarkan diagram penyebab kecelakaan “tertimpa” pada kegiatan “pengangkutan besi anyaman ke lapangan” berdasarkan tabel 6.4 yang telah di peroleh pada putaran II. Selanjutnya kelima responden yang sama pada putaran II diminta untuk mengkonfirmasi sehingga diperoleh kesepakatan. Selanjutnya digambarkan diagram alir penyebab kecelakaan “tertimpa” pada kegiatan “pengangkutan besi anyaman ke lapangan” seperti yang digambarkan pada gambar 2.



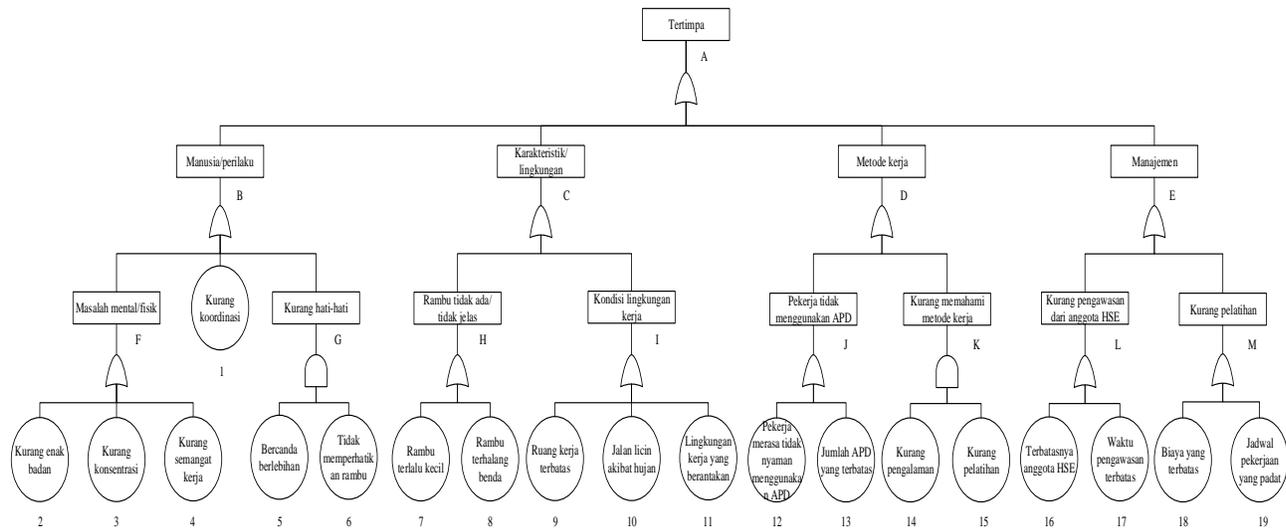
Gambar 2. Diagram penyebab kecelakaan tertimpa

Penggambaran *Fault Tree Analysis* (FTA)

Langkah selanjutnya adalah melakukan penggambaran FTA. Penggambaran FTA dilakukan dengan berdiskusi bersama pihak HSE PT.X agar diperoleh alur yang logis sesuai dengan kejadian yang terjadi di lapangan. Penggambaran dimulai dari *top event* kemudian *intermediate event* sampai dengan *basic event*. Penggambaran juga menentukan gerbang logika (*logic gate*). Gerbang logika adalah suatu model yang digambarkan dalam bentuk simbol *and gate* dan *or gate* yang menghubungkan kejadian pada kontribusi pertama, kedua dan seterusnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara *top event* dengan *intermediate event* atau *intermediate event* dengan *basic event*. Hasil dari penggambaran FTA seperti yang diperlihatkan pada gambar 3. Dari gambar 3, maka diperoleh *cut set* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 GA &= GB + GC + GD + GE & GD &= GJ + GK \\
 GB &= 1 + GF + GG & &= (12+13) + GK \\
 &= 1 + (2+3+4) + GG & &= (12+13) + (14 \times 15) \\
 &= 1 + (2+3+4) + (5 \times 6) \\
 GC &= GH + GI & GE &= GL + GM \\
 &= (7+8) + GI & &= (16+17) + GM \\
 &= (7+8) + (9+10+11) & &= (16+17) + (18+19)
 \end{aligned}$$

Maka *minimal cut set* dari gambar 6.3 adalah {1}, {2}, {3}, {4}, {5,6}, {7}, {8}, {9}, {10}, {11}, {12}, {13}, {14,15}, {16}, {17}, {18}, {19}



Gambar 3. Digram FTA penyebab kecelakaan tertimpa

Berdasarkan FTA kecelakaan tertimpa pada kegiatan pengangkutan besi anyaman ke lapangan menghasilkan 19 kombinasi *basic event*. *Basic event* tersebut seperti yang tercantum pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil *cut set*

No	Kode	Minimal cut set
1	1	Kurang koordinasi
2	2	Kurang enak badan
3	3	Kurang konsentrasi
4	4	Kurang semangat kerja
5	5,6	Bercanda berlebihan, Tidak memperhatikan rambu
6	7	Rambu terlalu kecil
7	8	Rambu terhalang benda
8	9	Ruang kerja terbatas
9	10	Jalan licin akibat hujan
10	11	Lingkungan kerja yang berantakan
11	12	Pekerja merasa tidak nyaman menggunakan APD
12	13	Jumlah APD yang terbatas
13	14,15	Kurang pengalaman, Kurang pelatihan
14	16	Terbatasnya anggota HSE
15	17	Waktu pengawasan terbatas
16	18	Biaya yang terbatas
17	19	Jadwal pekerjaan yang padat

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode FMEA yang dilakukan pada PT.X menghasilkan kegiatan paling kritis terjadi pada kegiatan pengangkutan besi tulangan ke lapangan. Berdasarkan hasil wawancara, diketahui bahwa pada kegiatan pengangkutan besi

tulangan ke lapangan pernah terjadi kecelakaan. Kecelakaan yang terjadi berupa jenis kecelakaan tertimpa anyaman besi.

2. Hasil FTA penyebab terjadinya kecelakaan tertimpa pada kegiatan pengangkutan besi anyaman ke lapangan menghasilkan 19 kombinasi *basic event*. Kombinasi-kombinasi tersebut adalah kurang koordinasi, kurang enak badan, kurang konsentrasi, kurang semangat kerja, bercanda berlebihan, tidak memperhatikan rambu, rambu terlalu kecil, rambu terhalang benda, ruang kerja terbatas, jalan licin akibat hujan, lingkungan kerja yang berantakan, pekerja merasa tidak nyaman menggunakan APD, jumlah APD yang terbatas, kurang pengalaman, kurang pelatihan, terbatasnya anggota HSE, waktu pengawasan terbatas, biaya yang terbatas, jadwal pekerjaan yang padat.
3. Setiap proyek konstruksi memiliki faktor penyebab kecelakaan kerja dan kombinasinya masing-masing, sehingga konstruksi FTA pun bisa berbeda-beda. Namun perbedaan itu tidak akan begitu jauh berbeda mengingat karakter pekerjaan konstruksi hampir sama.

DAFTAR PUSTAKA

- A Guide To The Project Management Body Of Knowledge (PMBOK Guide) Fourth Edition. Pennsylvania, USA : Project Management Institute Inc, 2008.*
- Ervianto, W. I. 2005. *Manajemen proyek konstruksi*, penerbit andi offset, Yogyakarta.
- Mansoer, H. 1989, *Pengantar manajemen*. Departamen pendidikan dan kebudayaan, Dirjen Dikti, Jakarta.
- Diberardinis, L. J. 1999, *Handbook of occupational safety and health. 2nd edition. Environmental health services, Massachusetts Institue of tchnology. John wiley & sons, INC.*
- Gaspersz, V, 2002, DR: *Pedoman implementasi program six sigma terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA dan HACCP*. Gramedia pustaka utama, Jakarta.
- Marimin, D. T. et al. 2013, *Teknik dan Analisis Pengambilan Keputusan FUZZY Dalam Manajemen Rantai Pasok*, IPB Press, Bogor.
- Apriyan, J. et al. 2017, *Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Proyek Bangunan Gedung Dengan Metode FMEA*. Jurnal. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Wang, Y. M, Chin. K.S, Poon G.K.K, & Yang J.B. 2009, *Risk Evaluation in Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzyweighted Geometric Mean*, Expert Systems with Applications 36 (2009) 1995-1207, Science Direct.
- Pyzdek, T. 2002, *The six sigma handbook*. Selemba Empat, Jakarta.
- Indra, S. 2013, *Analisis penyebab kecacatan produk celana jeans dengna menggunakan metode fault tree analysis dan failure mode and effect analysis di cv fragile din co*. Jurnal teknik industri.
- Blanchard, B. S. 2004, *System engineering management*. John wiley and sons, New Jersey.
- Riris, Y. T. S. 2011, *Manajemen keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan (K3L) pada pembangunan gedung*. Universitas HKBP Nommensen, Medan.
- Yolanda, Y. S. Cahyono B. N. dan Joko T. W. A. 2014, *Identifikasi Dan Analisa Risiko Kecelakaan Kerja Dengan Metode FMEA (Failure Mode And Effect Analysis) Dan FTA (Fault Tree Analysis) Di Proyek Jalan Tol Surabaya – Mojokerto*. Jurnal Teknik POMITS Vol.1, No.1 (2014). Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).