

Analisa kecelakaan kerja pekerjaan pemasangan *stopper clamp* dengan metode *fault tree analysis* (studi kasus: proyek *jetty upper structure*, pltu jawa 9 dan 10)

Azka Farouq Hasyimi^{1*}, Fitri Nugraheni¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Work Accidents
Jetty
Stopper Clamp
FTA (Fault Tree Analysis)
Method

Corresponding Author:

Azka Farouq Hasyimi
Azkaf.hayimi27@gmail.com

Abstract

The construction sector is an important sector that plays a role in the progress of Indonesia, one of which is the development of construction projects. The construction of construction projects cannot be separated from the risk of work hazards, so an Occupational Safety and Health (K3) program is needed to avoid and reduce the number of work accidents among workers. The application of K3 is needed in construction project work, one of which is jetty construction in stopper clamp installation work. The aim of this research is to find out and analyze the roots of the problems that cause work accidents in the work of installing stopper clamps on the jetty upper structure project and to provide appropriate risk control. The data source for this research was obtained by observing the conditions of the accident and interviewing internal project parties. Apart from that, it uses operational standard document data and accident investigation reports as a complement. Then, analyze using the FTA (Fault Tree Analysis) method to trace and analyze various system errors or work accidents (failures) as top events, then narrow down to find the causes and factors for accidents. The results of this research obtained 9 combinations of basic events, namely 2 combinations of environmental factor events, 3 combinations of worker factor events, 1 combination of equipment factor events, and 3 combinations of K3 management factor events. Apart from that, there are ideas for completing risk controls that need to be implemented based on the risk control hierarchy guidelines.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Bidang konstruksi yaitu bidang penting yang berperan untuk kemajuan Negara Indonesia. Proyek konstruksi adalah rangkaian kegiatan pemanfaatan sumber daya yang ada untuk membangun sarana dan prasarana demi mencukupi kebutuhan masyarakat dalam durasi waktu tertentu. Setiap tahun, proyek konstruksi berkembang seiring dengan kebutuhan fasilitas masyarakat Indonesia. Hal tersebut, berhubungan dengan menambahnya perusahaan di bidang konstruksi, sehingga tenaga kerja

juga bertambah. Risiko bahaya kerja akan selalu muncul pada setiap pekerjaan, salah satunya proyek bidang konstruksi sehingga diperlukan program Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) adalah komponen dan upaya dalam memberikan perlindungan pekerja, perusahaan, masyarakat, dan lingkungan dari hal yang merugikan pekerjaan (Prabowo et al. 2020). Program ini sangat penting dalam pekerjaan terutama pekerjaan konstruksi. Risiko kerugian yang diakibatkan dari kecelakaan kerja, dapat

dikurangi dengan program K3 (Triswandana, 2020). Berdasarkan data yang diperoleh dari BPJS Ketenagakerjaan pada tahun 2017-2021

terjadi peningkatan korban kecelakaan akibat kerja setiap tahunnya dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Jumlah Kecelakaan Kerja Indonesia Tahun 2017-2021
(Sumber: BPJS Ketenagakerjaan)

Berdasarkan catatan Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan pada gambar 1 bahwa kecelakaan akibat kerja di Indonesia berjumlah 234.270 kasus pada 2021. Hal ini mengalami kenaikan 5,65% dari tahun sebelumnya yang sebesar 221.740 kasus. Apabila melihat dari *trend* yang ada, bahwa kasus kecelakaan akibat kerja di Indonesia semakin bertambah. Pada tahun 2017, telah tercatat sebanyak 123.040 kasus kecelakaan kerja. Jumlahnya kasus meningkat dari 40,94% menjadi 173.415 kasus pada 2018. Setahun kemudian, kecelakaan akibat kerja kembali bertambah dari 5,43% menjadi 182.835 kasus. Kemudian tahun 2020 terjadi peningkatan kasus kecelakaan kerja dari 21,28% menjadi 221.740 kasus.

Fokus penelitian pada pembangunan *Jetty Upper Structure* PLTU Jawa 9 dan 10 adalah kecelakaan kerja pada saat melakukan pemasangan *stopper clamp*. Kecelakaan tersebut menimpa salah satu pekerja sebagai *welder* (pekerja las) yang mengakibatkan korban terluka. Hal

ini dikarenakan area kerja sulit, di mana area tersebut terletak pada ketinggian 5 meter dari MSL (*Mean Sea Level*) dan kedalaman laut rata-rata 19 meter.

Metode FTA (*Fault Tree Analysis*) yaitu salah satu metode penyelesaian permasalahan dengan menelusuri dan melakukan analisis berbagai kesalahan sistem dari objek yang saling berinteraksi dalam bentuk akar-akar penyebab permasalahan (Ayomi, 2019). FTA bermanfaat dalam melakukan analisis kegagalan di beberapa bidang, salah satunya bidang industri.

Terdapat penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini. Pertama, Analisis Penyebab Kecelakaan Kerja pada Pekerjaan *Scaffolding* dengan Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) (Studi Kasus: Proyek RS UII) oleh Fadilah (2023). Permasalahan dari penelitian ini terdapat kecelakaan kerja pada pekerjaan *scaffolding*. Tujuan dari penelitian tersebut untuk mengidentifikasi kecelakaan kerja, mengetahui akar permasalahannya, dan memberikan solusi yang sesuai.

Kedua, Analisis Pencegahan Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan Konstruksi Atap dan Konstruksi Instalasi *Lift* oleh Juhindra (2023). Permasalahan dari penelitian tersebut dijelaskan bahwa proyek konstruksi instalasi *lift* memiliki ruang sempit sehingga menimbulkan bahaya kecelakaan kerja. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu melakukan analisis untuk mencari potensi bahaya yang timbul pada pekerjaan konstruksi atap dan konstruksi instalasi *lift*, menganalisis akar masalah dari setiap potensi bahaya di proyek konstruksi atap dan konstruksi instalasi *lift*, membuat rekomendasi tindakan pengendalian untuk menghilangkan potensi bahaya yang telah diidentifikasi.

Ketiga, Identifikasi Faktor Penyebab Berkontribusi Terjadinya Kegagalan Konstruksi Jalan dengan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) oleh Arman, Melasari, dan Saputri (2020). Permasalahan yang terjadi adalah terdapat kegagalan konstruksi yang mengakibatkan keruntuhan bangunan yang disebabkan dari kesalahan dan kerusakan dari hasil pekerjaan. Tujuan dari penelitian tersebut untuk mengetahui faktor-faktor penyebab dominan dari kegagalan struktur jalan menggunakan metode FTA dan MOCUS.

Keempat, *Constraint and Fault Tree Analysis in Safety Construction System Integration* oleh Fitri, Bhaskara, dan Purbiantoro (2022). Dijelaskan dalam penelitian ini bahwa keselamatan kerja adalah aspek penting yang wajib dan terus diperbarui berdasarkan informasi yang berasal dari segi kemanusiaan, hukum, akuntabilitas, serta lainnya. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi keselamatan kerja berdasarkan teknis, identifikasi dan analisis potensi risiko kecelakaan menggunakan FTA dan solusi untuk mengurangi kecelakaan yang terjadi.

Berdasarkan latar belakang yang ada, perlu dilakukan kajian ulang pada penerapan *safety* di proyek *jetty upper structure*. Dalam penelitian ini, tujuannya untuk melakukan analisis kecelakaan kerja pada proyek *jetty upper structure* saat pekerjaan pemasangan *stopper clamp* dengan menemukan akar penyebab kecelakaan. Kemudian, memberikan pengendalian risiko yang sesuai, sehingga kecelakaan kerja tidak terjadi kembali dan potensi kecelakaan minim pada proyek ini ataupun proyek lain.

Adapun batasan penelitian ini sebagai berikut. Lokasi penelitian terdapat pada Pekerjaan Pembangunan *Jetty Upper Structure* PLTU Jawa 9 dan 10, Suralaya, Banten. Data-data lapangan diperoleh dengan durasi 4 bulan dimulai pada bulan Februari 2023 hingga Juni 2023. Penelitian difokuskan pada item pekerjaan pemasangan *stopper clamp* di proyek tersebut. Analisis kegagalan menggunakan metode FTA.

Landasan Teori

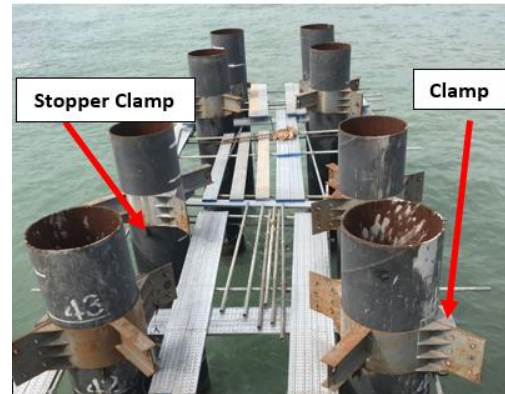
Proyek konstruksi adalah rangkaian aktivitas yang dilakukan hanya sekali, ada awal dan akhir, dan umumnya memiliki waktu yang cepat (Erviyanto dalam Supriyanti 2019). Terdapat jenis-jenis proyek konstruksi, seperti proyek konstruksi industri, teknik sipil, bangunan gedung, dan bangunan perumahan/pemukiman.

Kecelakaan kerja adalah kejadian yang tidak terkendali, tidak direncanakan dan terduga (*uncontrolled, unplanned, and undesired*) saat bekerja sehingga dapat memicu korban baik manusia maupun harta benda (Darwis et., al, 2020). Faktor pemicu dari kecelakaan kerja dapat ditemukan sesuai dengan kondisi pada suatu pekerjaan. Setiap pekerjaan konstruksi harus dianalisis dan dicari faktor memicu timbulnya kecelakaan kerja. Menurut Suma'mur dalam Listyaningsih (2021) bahwa terdapat beberapa faktor penyebab kecelakaan kerja, yaitu faktor manusia, faktor pekerjaan, dan faktor lingkungan. Selain itu, terdapat jenis-jenis

tingkatan pada kecelakaan kerja, yaitu kecelakaan kerja ringan, sedang, dan berat.

Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) merupakan bentuk upaya dalam menciptakan lingkungan kerja yang sehat dan aman sehingga dapat meminimalisir potensi kecelakaan kerja yang dapat mengakibatkan kerugian langsung dan tidak langsung (Juliana et., al, 2023). Keselamatan kerja tidak hanya berkaitan dengan dengan lingkungan kerja, tetapi juga dengan kondisi peralatan dan metode pelaksanaan kerja. Dalam Permen PUPR No 10 Tahun 2021 dijelaskan bahwa setiap perusahaan konstruksi harus memiliki dan memenuhi syarat rencana keselamatan konstruksi (RKK). Dalam mencegah kecelakaan kerja diperlukan penggunaan alat pelindung diri bagi pekerja. Alat pelindung diri (APD) adalah alat untuk melindungi diri pekerja dari bahaya di lingkungan tempat bekerja.

Clamp steel pipe pile terdiri dari *support clamp* atau *stopper clamp*, dan *clamp* itu sendiri. *Clamp* merupakan salah satu komponen yang berfungsi sebagai penahan beban vertikal bekisting atau landasan *platform* yang menempel pada pipa tiang pancang pada proyek konstruksi pelabuhan. *Stopper Clamp* atau *Support Clamp* adalah salah satu komponen tambahan yang berfungsi sebagai penahan beban vertikal *Clamp*. *Stopper Clamp* dan *Clamp* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. *Stopper Clamp* dan *Clamp*
(Sumber: Dokumentasi Proyek *Jetty Upper Structure* Jawa 9 dan 10)

Dilakukannya pengendalian risiko untuk mengendalikan bahaya-bahaya yang ditemukan dalam proses identifikasi bahaya. Risiko kesehatan dan keselamatan kerja adalah kombinasi dari kemungkinan kejadian atau peristiwa berbahaya yang berhubungan dengan pekerjaan dan parahnya cedera serta gangguan kesehatan (Alfiansah et al. 2020). Hierarki pengendalian risiko merupakan acuan untuk menentukan pengendalian risiko guna menyediakan pendekatan secara sistematis sebagai peningkatan keselamatan dan kesehatan, mengurangi bahaya, serta mengendalikan potensi bahaya bekerja (Mario & Widiawan, 2022).

Dalam hierarki pengendalian risiko terdapat simbol segitiga terbalik dengan keterangan-keterangan berdasarkan keefektifan dari metode pengendalian. Simbol hierarki dapat dilihat pada gambar 3.









Gambar 3. Hierarki Pengendalian Risiko

Berdasarkan gambar 3 bahwa konsep dasar dari FTA yakni melakukan identifikasi dan analisis suatu kejadian kegagalan atau

kesalahan dari sistem dalam bentuk diagram visual (model grafis) dan model logika. Diagram visual dapat memberikan suatu bentuk model grafis sehingga menggambarkan hubungan dengan akar-akar permasalahan yang terjadi. Simbol *Fault Tree Analysis* dibagi beberapa jenis yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Simbol-simbol FTA

Simbol	Keterangan
	<i>Top Event</i>
	<i>Logic Event Or</i>
	<i>Logic Event And</i>
	<i>Transferred Event</i>
	<i>Undevelope Event</i>
	<i>Basic Event</i>

Berdasarkan tabel 1 bahwa *Top event* merupakan penggambaran pada kejadian puncak dari sebuah kejadian kecelakaan atau bahaya yang akan terjadi. *Logic Event Or* adalah kejadian yang akan terjadi atau muncul apabila satu ataupun lebih kejadian kegagalan yang merupakan inputnya. *Logic Event And* digunakan dalam melihat hasil output yang muncul hanya jika input terjadi. *Transferred Event* titik dimana sub-*fault tree* bisa dimulai sebagai kelanjutan pada *transfers out*. *Undevelope event* digunakan untuk menyatakan *undeveloped event* atau kejadian yang tidak dapat berkembang. *Basic Event* simbol lingkaran ini adalah batas akhir penyebab suatu peristiwa atau kejadian.

Hukum aljabar boolean

Diagram pohon kesalahan hanya digunakan untuk menjelaskan kejadian yang benar dan salah, maka dari itu hukum Aljabar *Boolean* digunakan. Terdapat jenis-jenis dari aljabar yang

digunakan seperti: assosiatif, distributif, komutatif, idempotent, dan penyerapan.

Metodologi

Penelitian dimulai dengan menentukan Proyek *Jetty Upper Structure* Jawa 9&10 CFSPP Suralaya, Banten sebagai lokasi penelitian. Kemudian menentukan topik penelitian berupa kecelakaan kerja pada pekerjaan pemasangan *stopper clamp*, tujuan penelitian, dan mencari studi literatur yang relevan dengan topik penelitian. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan 2 jenis data, yaitu primer dan sekunder (Sugiyono, 2019). Pengumpulan data primer oleh peneliti, yakni mengobservasi secara langsung dengan mengamati kondisi dan kejadian kecelakaan kerja di lapangan yang menimpa pekerja hingga tercebur. Kemudian peneliti melakukan wawancara terhadap pihak internal proyek yakni sebagai HSE (*Health Safety Environment*) yang bertanggung jawab pada saat itu terkait kejadian kecelakaan kerja yang terjadi. Data sekunder yang digunakan penelitian ini yakni dokumen standar, seperti perundang-undangan, standar operasional, serta data laporan investigasi kecelakaan kerja secara merinci dan jelas (Mahanum, 2021). Setelah data terkumpul, dilanjutkan untuk memulai analisis dengan metode FTA.

Analisis dimulai dengan melakukan pendeskripsian mengenai kejadian kecelakaan kerja pada pekerjaan pemasangan *stopper clamp* untuk menentukan *top event* yang digunakan sebagai topik model rancangan bentuk grafis *Fault Tree Analysis*. Dibuat rancangan model grafis FTA dengan menjabarkan kejadian kegagalan berdasarkan *top event*. Evaluasi kesesuaian FTA dan digunakan gerbang logika untuk mengembangkan kemungkinan yang terjadi. Dilakukan perhitungan *minimum cut set* dengan Aljabar *Boolean*. Didapatkan kombinasi dari kegagalan yang terjadi dan diberikan pengendalian risiko yang sesuai. Kemudian melakukan validasi dengan petugas HSE (*Health Safety Environment*) terkait. Setelah

mendapatkan hasil yang valid dilakukan pembahasan sehingga mendapatkan kesimpulan dan saran.

Kronologi Kecelakaan Kerja

Kecelakaan menimpa salah satu welder (pekerja las) yang sedang memasang stopper clamp. Kronologi singkatnya, cuaca pada saat itu sedang mendung. Terdapat informasi melalui HT (*handy talkie*) dan mendapat arahan dari pihak PM (*project manager*) perusahaan maincon untuk tetap melanjutkan pekerjaan karena sedang mengejar *progres*. Sesaat kemudian, cuaca berubah menjadi hujan rintik dan angin mulai berhembus secara berkala. Datang hujan deras disertai badai dengan angin mencapai 40 knots dan tinggi gelombang mencapai hampir 3 meter. Terdapat 1 pekerja welder sedang memasang stopper clamp pada tangga gantung di tiang pancang. Welder tersebut terjebak karena tidak sempat turun ke *drum pontoon*. Tiang pancang bergoyang-goyang dikarenakan terkena ombak laut dan angin, sehingga menyebabkan pekerja tersebut kurang berkonsentrasi serta kehilangan keseimbangan. Ditambah lagi, tidak sesuai tempat pengait *hook* APD *full body harness* yang digunakan pekerja pada tiang pancang. Pada saat itu pekerja tergelincir dan terjatuh. *Hook* dari APD *full body harness* terpuntir dan meleset sehingga terlepas dari tiang pancang. Pekerja hampir tenggelam, untungnya ada pekerja pada *drum pontoon* dengan cepat melempar *ring buoy* ke arah korban sehingga korban dapat diselamatkan. Hanya saja, pada korban

terdapat luka pada jari tengah dan bahunya terkilir.

Berdasarkan kronologi singkat tersebut, dapat disimpulkan bahwa kecelakaan yang terjadi dikarenakan cuaca buruk dan kesalahan pada APD yang digunakan sehingga pekerja terjatuh dan tercebur.

Top event

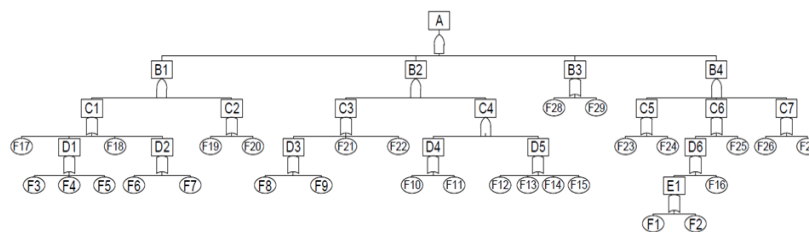
Dalam kasus ini, permasalahan utama yang terjadi adalah kecelakaan kerja yang terjadi pada pekerjaan pemasangan stopper clamp pada Proyek *Jetty Upper Structure* yaitu pekerja yang terjatuh dan tercebur.

Faktor penyebab kecelakaan

Dalam kejadian kecelakaan pekerja terjatuh dan tercebur pada Proyek Pembangunan *Jetty Upper Structure CFSPP* Jawa 9 dan 10, didapatkan 4 faktor penyebab kecelakaan diantaranya faktor lingkungan, faktor pekerja, faktor peralatan dan faktor manajemen K3. Faktor tersebut adalah *intermediate event* yang artinya masih terdapat faktor mendasar lain yang dapat disimpulkan dari penyebab terjadinya kecelakaan.

Penggambaran fault tree analysis

Penggambaran dilakukan dengan menyusun rencana model grafis pekerja terjatuh dan tercebur. Rencana model grafis berisikan terkait kejadian-kejadian yang dapat muncul dan berhubungan serta urutannya logis. Kemudian tiap kejadian diberikan simbol notasi dan angka untuk mempermudah penyusunan pohon kesalahan. Penggambaran pohon kesalahan dapat dicermati pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik FTA Pekerja Terjatuh dan Tercebur

Kombinasi basic event

Berdasarkan dari hasil penggambaran grafik FTA (*Fault Tree Analysis*) yang telah didapatkan, kemudian menentukan *cut set*. *Cut set* merupakan kombinasi-kombinasi menjadi bentuk pohon analisa kesalahan atau *Fault Tree Analysis*. Jika semua *cut set* terjadi, maka menjadi penyebab dari peristiwa puncak terjadi. Setelah peneliti menentukan *cut set*, dilanjutkan pada tahap menentukan *minimum cut set* yang artinya *cut set* yang telah habis direduksi sehingga peneliti tidak dapat mencari tanpa mengubah arti dari *cut set* yang asli. *Cut set* dan *minimum cut set* didapatkan oleh peneliti menggunakan analisa MOCUS (*Method for Obtaining Cut Sets*) dengan menerapkan prinsip Hukum Aljabar *Boolean*.

Pertama, peneliti akan menganalisis mengenai *basic event* yang mengarah pada *top event* dengan cara mencari *minimum cut set* yang telah didapatkan dari hasil analisis menggunakan hukum Aljabar *Boolean* dengan sifat distributif. Deskripsi notasi huruf dan angka mengenai FTA dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Deskripsi notasi huruf dan angka

A	Pekerja terjatuh dan tercebur	F6	Tangga besi gantung terkena air hujan
B1	Faktor lingkungan	F7	Tangga besi gantung terkena embun air laut
B2	Faktor pekerja	F8	Gaji terlambat
B3	Faktor peralatan	F9	Masalah keluarga
B4	Faktor manajemen K3	F10	Kantin jauh dari site
C1	Area kerja sulit	F11	Tidak ada jatah makan siang
C2	Cuaca ekstrim	F12	Kejar <i>progres</i> yang tertinggal
C3	Tidak konsentrasi	F13	Kerja lembur
C4	Kelelahan	F14	Tekanan dari pimpinan

C5	Kurang pengawasan dan peringatan	F15	Perjalanan dari <i>gate</i> ke <i>site</i> yang jauh
C6	Kesalahan aturan penggunaan APD	F16	Kurangnya evaluasi dari dampak berbahaya yang timbul
C7	Pelanggaran syarat atau aturan bekerja	F17	Bekerja pada ketinggian + 5 meter diatas <i>Mean Sea Level</i>
D1	Area kerja bergoyang	F18	Ruang gerak sempit
D2	Area kerja licin	F19	Kecepatan angin mencapai 40 knots
D3	Melamun	F20	Tinggi gelombang mencapai 3 meter
D4	Kelaparan	F21	Kehilangan keseimbangan
D5	Kurang waktu istirahat	F22	Tergelincir
D6	Penggunaan APD <i>Full Body Harness</i> yang tidak aman	F23	Tidak terdapat tim HSE di area kecelakaan kerja
E1	Tidak terdapat tempat pengait <i>hook</i> yang baik	F24	Tim HSE kurang disiplin
F1	<i>Hook</i> terpuntir dan meleset	F25	Ketidacocokan penggunaan APD <i>full body harness</i>
F2	<i>Hook</i> terlepas	F26	Pimpinan tim HSE kurang tegas
F3	Tiang pancang terkena angin dan ombak laut	F27	Informasi yang tidak tersampaikan dengan baik
F4	Tiang pancang tertabrak <i>pontoon</i>	F28	Kabel peralatan las terlalu panjang
F5	Tiang pancang menahan beban tali tambang <i>pontoon</i>	F29	Anak tangga kecil

Notasi dari Aljabar *Boolean* yang digunakan untuk gerbang *OR* (*OR Gate*) adalah penjumlahan dengan simbol (+). Sedangkan notasi untuk gerbang *AND* (*AND Gate*) adalah berbentuk perkalian dengan simbol (.). Berikut merupakan *cut sets* dengan Aljabar *Boolean*

$$A = B1.B2.B3.B4$$

Persamaan

$$B1 = C1.C2$$

$$B2 = C3.C4$$

$$B3 = F28+F29$$

$$B4 = C5.C6.C7$$

Persamaan

$$C1 = F17+D1+F18+D2$$

$$C2 = F19 + F20$$

$$C3 = D3+F21+F22$$

$$C4 = D4.D5$$

$$C5 = F23 + F24$$

$$C6 = D6 + F25$$

$$C7 = F26 + F27$$

Persamaan

$$D1 = F3 + F4 + F5$$

$$D2 = F6 + F7$$

$$D3 = F8 + F9$$

$$D4 = F10 + F11$$

$$D5 = F12+F13+F14+F15$$

$$D6 = E1+F16$$

Persamaan

$$E1 = F1+F2$$

Persamaan

Cut sets Aljabar Boolean di atas merupakan uraian untuk mendapatkan akar-akar permasalahan. *Cut sets* kombinasi *event* A didapatkan dari komponen B1, B2, B3, dan B4 begitu juga dengan komponen lain didapatkan dari susunan komponen di atas. Setelah menentukan *cut set* menggunakan prinsip hukum Aljabar Boolean, selanjutnya melakukan kombinasi *event* sehingga untuk hasil akhirnya tidak dapat disederhanakan, dikurangi, atau direduksi lagi. Hasil akhir dari kombinasi *event* yang didapatkan nantinya merupakan bentuk dari

kejadian utama penyebab kejadian puncak. Berikut ini merupakan kombinasi *event* yang dilakukan.

(1)

$$A = B1 . B2 . B3 . B4 = (C1 . C2) . (C3 . C4) . (F28 + F29) . (C5 . C6 . C7)$$

(2)

$$= ((F17 + D1 + F18 + D2) . (F19 + F20)) . ((D3 + F21 + F22) . (D4 . D5)) . (F28 + F29) . ((F23 + F24) . (D6 + F25) . (F26 + F27))$$

(3)

$$= ((F17 + (F3 + F4 + F5) + F18 + (F6 + F7) . (F19 + F20)) . (((F8 + F9) + F21 + F22) . ((F10 + F11) . (F12 + F13 + F14 + F15)))) . (F28 + F29) . ((F23 + F24) . ((E1 + F16) + F25) . (F26 + F27))$$

$$= ((F17 + (F3 + F4 + F5) + F18 + (F6 + F7) . (F19 + F20)) . (((F8 + F9) + F21 + F22) . ((F10 + F11) . (F12 + F13 + F14 + F15)))) . (F28 + F29) . ((F23 + F24) . ((F1 + F2) + F16) + F25) . (F26 + F27))$$

$$= (F17 + F3 + F4 + F5 + F18 + F6 + F7) . (F19 + F20) . (F8 + F9 + F21 + F22) . (F10 + F11) . (F12 + F13 + F14 + F15) . (F28 + F29) . (F23 + F24) . (F1 + F2 + F16 + F25) . (F26 + F27)$$

(4) Dari hasil data kombinasi *event* dari penggunaan prinsip Aljabar Boolean, peneliti mendapatkan 9 minimum *cut set*.

(5) Pada grafik FTA (*Fault Tree Analysis*) sebelumnya, peneliti mendapatkan 29 *basic event*. Sedangkan dengan penggunaan analisa MOCUS (*Method for Obtaining Cut Sets*) dan penerapan prinsip hukum Aljabar Boolean peneliti mendapatkan 9 kombinasi kegagalan.

Pembahasan

Hasil *minimum cut set* diperoleh melalui kombinasi *event* sesuai dengan yang tertera pada sub bab kombinasi *event* pada analisis sebelumnya. Dari hasil kombinasi *event* itu didapatkan *minimum cut set* yang menjadi akar akar penyebab terjadinya *top event*. Kombinasi *event* dapat didefinisikan sebagai

kombinasi kegagalan yang terjadi pada *top event* pekerja terjatuh dan tercebur. Pada kombinasi *event* yang telah didapatkan oleh peneliti, terdapat 4 faktor kegagalan dan didapatkan akar-akar permasalahan penyebab kegagalan pada tiap faktor. Setelah itu, didapatkan pengendalian risiko berdasarkan dengan hierarki pengendalian risiko. Berikut ini merupakan rincian dari faktor penyebab kegagalan serta pengendalian risiko yang diberikan.

Pertama, faktor lingkungan. Pada faktor lingkungan terdapat area kerja yang sulit dan cuaca yang ekstrim. Dengan pengendalian risiko yang diberikan pihak HSE (*Health Safety Environment*) memastikan pekerja memiliki sertifikat keterampilan kerja, menggunakan alternatif metode kerja yang baik, memastikan pekerja dengan APD yang tepat, pengecekan ramalan cuaca pada BMKG secara rutin, pengecekan kecepatan angin dengan anemometer, dan melakukan simulasi evakuasi bencana.

Kedua, faktor pekerja. Terdapat pekerja yang tidak konsentrasi karena melamun memikirkan masalah keluarga sehingga tergelincir, pekerja kelelahan disebabkan lapar dan kurang waktu istirahat. Pengendalian risiko yang dilakukan dengan diberikan acara senam pagi setiap 2 minggu sekali, pemberian *reward* uang tunai pada pekerja yang dapat menjawab kuis, diberikan informasi tanda sirine apabila terdapat gelombang tinggi, penambahan jumlah pekerja dan penerapan shift kerja, pemberian jasa logistik makan siang, serta fasilitas angkut pekerja.

Ketiga, faktor peralatan. Kabel las yang terlalu panjang dan anak tangga gantung yang kecil. Hal itu membuat gerak pekerja terbatas. Pengendalian yang diberikan dengan penataan alat kerja dengan rapi dan rekayasa metode pekerjaan pemasangan *stopper clamp* dengan alat *man basket*.

Keempat, faktor manajemen K3. Kurang pengawasan dan peringatan tim HSE (*Health Safety Environment*) karena kurang disiplin, ketidaktepatan aturan dengan penggunaan APD *Full Body Harness*, dan pelanggaran syarat aturan bekerja. Pengendalian risiko yang diberikan dengan diterapkan kebijakan *punishment* bagi HSE yang kurang disiplin, diadakan kegiatan *safety patrol*, evaluasi ulang terkait penggunaan *Full Body Harness* dan diganti dengan APD *lifejackets/workvest*, inspeksi kelayakan APD, dan diberikan informasi syarat bekerja setiap kegiatan *toolbox meeting*.

Dari setiap faktor di atas terdapat beberapa pengendalian dan tindakan untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan pemasangan *stopper clamp* sesuai dengan jenis hierarki pengendalian risiko. Jenis hierarki pertama yaitu eliminasi. Tindakan eliminasi merupakan pengendalian utama dengan menghilangkan unsur yang menyebabkan risiko, sehingga tidak ada risiko yang harus dihadapi. Contohnya tindakan menghentikan pekerjaan apabila ramalan kondisi cuaca BMKG tidak memungkinkan, memberikan jasa logistik makan siang selama bulan puasa, dan memberikan fasilitas transportasi angkut pekerja dari *gate* ke *site*

Kedua, substitusi yaitu menggantikan unsur, alat, atau komponen yang berbahaya dengan sesuatu yang lebih aman atau kurang berisiko. Tindakan substitusi yang dapat dilakukan meliputi, memberikan *reward* uang tunai pada pekerja yang dapat menjawab pertanyaan terkait dengan K3, dan mengganti aturan penggunaan APD dari *Full Body Harness* ke *Workvest/lifejackets*. Ketiga, rekayasa teknologi yakni perancangan kembali desain fasilitas kerja atau perbaikan alat, serta menambah peralatan yang digunakan. Rekayasa teknologi yang dapat dilakukan meliputi, tindakan penggunaan alat *man basket* agar ruang gerak pekerja lebih luas dan meminimalisir terjadinya kondisi bergoyang pada saat bekerja

Keempat, pengendalian administratif yakni dengan pembuatan SOP, peringatan bahaya, *safety sign*, dan lain-lain. Tindakan pengendalian administratif yang dapat dilakukan meliputi, peninjauan ulang mengenai penggunaan APD *Full body Harness* dengan memperhatikan dampak bahaya yang timbul, pengadaan rapat evaluasi antara pihak direksi dan divisi HSE mengenai penyikapan pada aturan yang telah dilanggar, mengecek kelayakan sertifikat keterampilan kerja, pengecekan kecepatan angin di lapangan menggunakan anemometer secara berkala dan memberikan informasi melalui HT (*handy talkie*). Selain itu, perlu diberikan pelatihan simulasi evakuasi bencana pada pekerja, diberikan acara senam pagi setiap 2 minggu sekali, diberikan informasi tanda bunyi sirine apabila terdapat gelombang laut yang tinggi, dilakukan penjelasan materi dan tanya jawab terkait dengan K3 pada kegiatan *Toolbox Meeting*, dilakukan penambahan jumlah pekerja sehingga pekerjaan dapat lebih cepat, diterapkan aturan *shift* kerja, dilakukan pengecekan dan tindakan penataan selang gas oksigen maupun *acetylen* dan kabel las dengan rapi, diadakan kegiatan *safety patrol*, dan dilakukan inspeksi kelayakan APD *Full Body Harness* seminggu sekali. Dan langkah tindakan terakhir dengan menggunakan APD (Alat Pelindung Diri) dengan baik dan benar.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa akar-akar permasalahan penyebab terjadinya kecelakaan kerja pekerja terjatuh dan tercebur terdapat 9 kombinasi *basic event* yaitu 2 kombinasi *event* faktor lingkungan, 3 kombinasi *event* faktor pekerja, 1 kombinasi *event* faktor peralatan, dan 3 kombinasi *event* faktor manajemen K3.

Selain itu, pengendalian dan tindakan yang tepat pada pekerjaan pemasangan *stopper clamp* untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja pekerja terjatuh dan tercebur sesuai dengan hierarki dengan hierarki pengendalian risiko meliputi eliminasi, substitusi, rekayasa teknologi, pengendalian administratif, dan APD.

Daftar Pustaka

- Alfiansah, Y., Kurniawan, B., Ekawati, E. (2020). Analisis Upaya Manajemen K3 Dalam Pencegahan Dan Pengendalian Kecelakaan Kerja Pada Proyek Konstruksi Pt.X Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(5), pp.595–600. (<https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=5jKEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Pengantar+Metodologi+Penelitian.+Feb+2024.+Yogyakarta:+Suka-Press+UIN+Sunan+Kalijaga>). Diakses 11 Mei 2024).
- Arman, U. D. A., Melasari, J., Saputri, S. E. (2020). Identifikasi Faktor-Faktor Penyebab Berkontribusi Terjadinya Kegagalan Konstruksi Jalan dengan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA). *Civil Engineering Collaboration*, 53-63. (<https://doi.org/10.35134/jcivil.v6i2.33>). Diakses 8 Mei 2024).
- Ayomi. (2019). Mengenal Metode FTA (*Fault Tree Analysis*) dalam Menganalisis Kecacatan Suatu Produk. *Laboratorium Analisis Data dan Rekayasa Kualitas*, 4.
- Darwis, A.M., Noviponiharwani, N., Latief, A.W.L., Ramadhani, M., Nirwana, A. (2020). Kejadian Kecelakaan Kerja Di Industri Percetakan Kota Makassar. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Maritim*. (<https://doi.org/10.30597/jkmm.v3i2.10430>). Diakses 8 Mei 2024).
- Ervianto, W.I. (2023). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Google Books. Penerbit Andi. (<https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=jHLDEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Ervianto>). Diakses 2 Mei 2024).
- Fadilah, M. N. (2023). Analisis Penyebab Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan *Scaffolding* Dengan Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) (Studi Kasus: Proyek Rs Uii). (Tugas Akhir Sarjana, Universitas Islam Indonesia). (<https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/44920/18511011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>). Diakses 2 April 2023).
- Juhindra, M. H. (2023). *Analisis Pencegahan Kecelakaan Kerja pada Pekerjaan Konstruksi Atap dan Konstruksi Instalasi Lift (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia)*.

- (<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/45044>. Diakses 2 Maret 2023).
- Julia, J., Aryati, S. (2021). Kegiatan Pagelaran Seni Di Smp Negeri 5 Lhokseumawe. *Cross-border*, 4(1), pp.600–607. (<https://journal.iaisambas.ac.id/index.php/CrossBorder/article/view/907/725>. Diakses 12 Maret 2024).
- Listyaningsih, D., Harianto, F. (2021). Iklim Keselamatan Kerja Pada Proyek Konstruksi Di Surabaya. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 10(1), 70-83. (<https://doi.org/10.22225/pd.10.1.2247.70-83>. Diakses 17 Maret 2024)
- Mahanum (2021). Tinjauan Kepustakaan. *Alacrity: Journal of Education*, 1(2), pp.1–12. (<https://doi.org/10.52121/alacrity.v1i2.20>. Diakses 13 Maret 2024)
- Mario, S., Widiawan, K. (2022). Upaya Pengurangan Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode *Hazard Identification, Risk Assessment, Risk Control* (HIRARC) di PT. X. *Jurnal Titra*, 10(2). (<https://publication.petra.ac.id/index.php/teknikindustri/article/view/13001>. Diakses 8 Mei 2024)
- Nugraheni, F., Bhaskara, A., Purbiantoro, A. (2022). *Constraint and Fault Tree Analysis in Safety Construction System Integration. In International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials* (pp. 1119-1136). Singapore: Springer Nature Singapore. (https://doi.org/10.1007/978-981-16-7924-7_72. Diakses 10 April 2024)
- Prabowo, A., Sudiajeng, L., Mudhina, M. M. (2020). Analisis Penerapan Sistem Manajemen Kesehatan Keselamatan Kerja (SMK3) Pada Proyek Reklamasi Apron Barat Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai–Bali. *In Proceedings* (Vol. 1, No. 1, pp. 79-84). (<https://ojs.pnb.ac.id/index.php/Proceedings/article/view/1666>. Diakses 9 Mei 2024).
- Sugiyono. (2019). Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. *Alfabeta*. Bandung (https://www.researchgate.net/publication/377469385_Metode_Penelitian_Kuantitatif_Kualitatif_Dan_Rd. Diakses 26 April 2024)
- Supriyanti, D. (2019). Faktor-Faktor Penyebab Pekerjaan Ulang pada Pelaksana Konstruksi Anggota Gapensi di Kota Malang untuk Proyek Konstruksi. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 4(2), p.44. (<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v4i2.1408>. Diakses 26 Maret 2024).
- Triswandana, E. (2020). Penilaian Risiko K3 dengan Metode HIRARC. *UKaRsT*, 4(1), 96. (<https://doi.org/10.30737/ukarst.v4i1.788>. Diakses 19 April 2024).