BAB III

METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA)

3.1 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode And Effects Analysis (FMEA) pertama kali diperkenalkan pada akhir tahun 1940an di dalam dunia militer oleh US *Armed Foreces*. *Failure Mode And Effects Analysis* (FMEA) adalah teknik rekayasa yang digunakan untuk mendefinisikan, mengidentifikasi, masalah, kesalahan dan sebagainya dari sistem, desain, proses dan/atau jasa sebelum suatu produk atau jasa diterima oleh konsumen (Mayangsari dkk, 2015).

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 (Gaspersz, 2002).

Menurut Purdianta, FMEA adalah suatu alat yang secara sistematis mengidentifikasi akibat atau konsekuensi dari kegagalan sistem atau proses, serta mengurangi atau mengeleminasi peluang terjadinya kegagalan. Sedangkan menurut stamatis yang mengutip Omdahl dan ASQC, FMEA adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mendefinisikan, mengenali dan mengurangi kegagalan, masalah, kesalahan dan seterusnya yang diketahui dan atau potensial dari sebuah sistem, desain, proses atau servis sebelum mencapai ke konsumen.

Dari definisi - definisi FMEA di atas dapat disimpulkan bahwa FMEA merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa suatu kegagalan dan akibatnya untuk menghindari kegagalan tersebut.

Dalam konteks Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), kegagalan yang dimaksudkan dalam definisi ini merupakan suatu bahaya yang muncul dari suatu proses.

Failure Mode And Effects Analysis (FMEA) merupakan sebuah teknik sederhana. Modus kesalahan dari setiap komponen dalam sistem dicatat dalam tabel dan efek dari kesalahan tersebut didokumentasikan. Metode ini merupakan metode yang sistematis, efektif dan rinci. Meskipun kadang-kadang disebut sebagai metode yang memakan waktu berulang-ulang.

Secara umum, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu:

1. Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk dan proses selama siklus hidupnya.
2. Efek dari kegagalan tersebut.
3. Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

3.1.1 Tujuan failure mode and effect analysis (FMEA)

Tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan jika menggunakan penerapan FMEA adalah (Hariadi, 2006):

1. Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahannya.
2. Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikansi.

3. Untuk mengurutkan proses pekerjaan.
4. Untuk membantu fokus *engineer* dalam mengurangi perhatian terhadap proses dan membantu mencegah timbulnya permasalahan.
5. Menyediakan dokumen yang lengkap tentang perubahan proses untuk memandu pengembangan proses pekerjaan di masa mendatang.

3.1.2 Langkah – langkah *Failure Mode And Effect Analyse* (FMEA)

Berikut langkah-langkah metode FMEA (Yeh dan Hsieh, 2007):

1. Identifikasi fungsi sitem atau proses dan bentuk sebuah struktur *hierarki*, dengan membagi sistem atau proses menjadi beberapa subsistem atau fungsi proses.
2. Tentukan mode kegagalan dari setiap komponen dan dampaknya. Tentukan tingkat Keparahan/*Severity* (S) dari masing-masing mode kegagalan masing-masing sesuai dengan efek pada sistem.
3. Tentukan penyebab kegagalan mode dan memperkirakan kemungkinan setiap kegagalan terjadi. Tentukan tingkat Terjadinya/*Occurance* (O) dari masing – masing mode kegagalan sesuai dengan kemungkinan terjadinya.
4. Identifikasi pendekatan untuk mendeteksi kegagalan dan mengevaluasi kemampuan sistem untuk mendeteksi kegagalan sebelum kegagalan terjadi. Tentukan Deteksi/*Detection* (D) dari masing – masing mode kegagalan.
5. Hitung nilai risiko prioritas/*Risk Priority Number* (RPN) dan tentukan prioritas untuk diperhatikan.
6. Tetapkan tindakan yang perlu disarankan untuk meningkatkan kinerja sistem.
7. Tampilkan laporan FMEA dalam bentuk tabel.

3.2 Fault tree analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah suatu model diagram yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara pararel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan (Thomas Pyzdek, 2002:591 dalam Setyadi, 2013).

Fault Tree Analysis (FTA) awalnya diperkenalkan pertama kali pada tahun 1962 di *Bell Telephone Laboratories* oleh HA Watson, di bawah US *Air force* divisi balistik sistem yang berkaitan dengan studi tentang evaluasi keselamatan sistem peluncuran *minuteman misile* antar benua. *Boeing company* memperbaiki teknik yang dipakai oleh *Bell Telephone laboratories* dan memperkenalkan program komputer untuk melakukan analisis dengan memanfaatkan *fault tree* baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

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.

Fault Tree Analysis (FTA) disini 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.

Output yang diperoleh setelah melakukan FTA adalah peluang munculnya kejadian terpenting dalam sistem dan memperoleh penyebab akar permasalahan. Akar permasalahan tersebut kemudian digunakan untuk memperoleh prioritas perbaikan permasalahan yang tepat pada sistem. Grafik *enumerasi* akan menggambarkan bagaimana permasalahan bisa terjadi, penggambaran grafik *enumerasi* menggunakan simbol – simbol *boolean*.

Grafik *enumerasi* ini merupakan pohon kesalahan (*fault tree*) yang akan dianalisis berdasarkan peluang masing – masing penyebab kesalahan. Grafik *enumerasi* disebut pohon kesalahan (*fault tree*) karena susunannya seperti pohon, yaitu mengerucut pada suatu kejadian serta semakin ke bawah dipecah menjadi cabang – cabang kejadian yang lain.

Pada bagian atas dari FTA disebut *top event*. *Top event* ini merupakan suatu kejadian yang tidak diinginkan atau ingin dicari tau penyebabnya. Selanjutnya setelah *top event* dibawahnya akan ada *fault event* yang lain. *Fault event* ini ada beberapa jenis, diantaranya:

1. *Primary faults*

   Primary faults adalah kesalahan yang terjadi akibat kerusakan pada komponen itu sendiri yang gagal.

2. *Secondary faults*

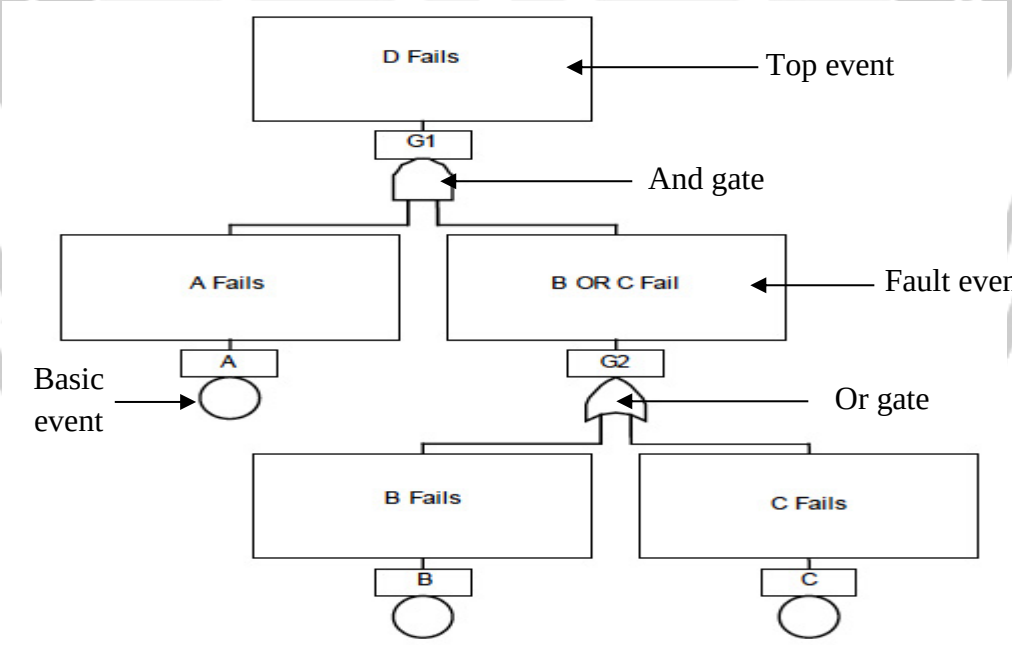
   Secondary faults adalah kesalahan yang terjadi akibat komponen berada pada

kondisi yang tidak tepat namun komponen tersebut tidak rusak.

3. *Command faults*

   Command faults adalah kesalahan yang terjadi akibat komponen berada pada waktu dan tempat yang salah.

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 diatasnya baru dapat terjadi jika kedua kejadian dibawah terjadi, namun jika penghubungnya adalah *"or"* maka kejadian diatasnya dapat terjadi jika salah satu kejadian dibawahnya terjadi. Contoh penggambaran *fauult tree* seperti yang dicantumkan pada gambar 3.2



Sumber : *Fault tree handbook with aerospace applications*

Gambar 3.2 Fault tree

Pada FTA yang paling penting bagi penggunanya adalah menemukan *minimum cut set*. *Minimum cut set* ini merupakan jarak terpendek antara *primary*

fault dengan *top event*. Semakin pendek jaraknya biasanya akan semakin besar *probabilitas* terjadinya. Oleh karena itu diambil *cut set* terpendek.

Metode FMEA dan FTA adalah teknik analisis yang sering digunakan untuk mengidentifikasi suatu risiko kegagalan. FMEA digunakan untuk menganalisis suatu risiko kegagalan/kecelakaan, sedangkan FTA digunakan untuk menganalisa kemungkinan sumber-sumber risiko sebelum timbulnya kerugian.

3.2.1 Tujuan FTA (*Fault Tree Analysis*)

Tujuan dari digunakannya FTA menurut Sutanto H, (2010) adalah:

1. Dilakukan untuk mengidentifikasi kombinasi dari *equipment failure* dan *human error* yang dapat menyebabkan terjadinya suatu kejadian yang tidak dikehendaki.
2. Dilakukan untuk prediksi kombinasi kejadian yang tidak dikehendaki, sehingga dapat dilakukan koreksi untuk meningkatkan produk *safety*.

3.2.2 Kelebihan dan kekurangan *Fault Tree Analysis* (FTA)

Penerapan FTA dalam aktualisasi di lapangan memiliki kelebihan dan kekurangan (marvin, 2005), yaitu:

1. Kelebihan
    a. Disiapkan dalam tahap awal desain dan detail dikembangkan lebih lanjut secara bersamaan dengan pengembangan desain.
    b. Mengidentifikasi dan merakam jalur kesalahan logis secara sistematis dari efek yang spesifik ke penyebab utama.
    c. Mudah dikonversi ke pengukuran probabilitas.
2. Kekurangan

a. Dapat menyebabkan pohon kesalahan menjadi sangat besar jika analisis diperdalam.
b. Tergantung pada kemampuan menganalisis.
c. Sulit diterapkan pada sistem dengan kesuksesan parsial.
d. Biaya yang dibutuhkan untuk penerapan bisa mahal.

Jika dibandingkan dengan metode analisis yang sejenis, kelebihan FTA adalah metode ini dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Maksudnya adalah:

1. Kuantitatif

   Metode kuantitatif pada FTA ini menggunakan probabilitas. Jadi kita dapat menentukan mana risiko yang harus diprioritaskan berdasarkan probabilitas kejadian yang terbesar.

2. Kualitatif

   Metode ini menggunakan *boolean*, maksudnya dalam menentukan prioritas risiko dapat digunakan *shortcut minimum* yang biasa dianalisa mengunakan fungsi *"and"* dan *"or"*. Meskipun bersifat kualitatif tetapi tidak perlu menggunakan *rankking* di FTA, sehingga subjektivitas dapat dikurangi.

3.2.3 Langkah-langkah *Fault Tree Analysis* (FTA)

Berikut langkah-langkah metode FTA (Yessi, 2014):

1. Mengidentifikasi kejadian/peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*). Langkah pertama dalam FTA ini merupakan langkah penting karena akan mempengaruhi hasil analisis sitem. Pada tahap ini, dibutuhkan pemahaman tentang sistem dan pengetahuan tentang jenis-jenis kerusakan (*undesired*

event) untuk mengidentifikasi akar permasalahan sistem. Pemahaman tentang sistem dilakukan dengna mempelajari semua informasi tetang sistem dan ruang lingkupnya.

2. Membuat pohon kesalahan

   Setelah permasalahan terpenting teridentifikasi, langkah berikutnya adalah menyusun urutan sebab akibat pohon kesalahan. Pada tahap ini, *couse and effect diagram* (Ishikawa) dapat digunakan untuk menganalisis kesalahan dan mengeksploraso keberadaan kerusakan-kerusakan yang tersembunyi.

   Pembuatan pohon kesalahn dilakukan dengan menggunakan simbol-simbol *Boolean*. Standarisasi simbol-simbol tersebut diperlukan untuk komunikasi dan konsistenan pohon kesalahan.

3. Menganalisa pohon kesalahan.

   Analisis pohon kesalahan diperlukan untuk memperoleh informasi yang jelas dari suatu sistem dan perbaikan-perbaikan apa yang harus dilakukan pada sistem. Tahap-tahap analisis pohon kesalahan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

   a. Menyederhanakan pohon kesalahan

      Tahap pertama analisis pohon kesalahan adalah menyederhanakan pohon kesalahan dengan menghilangkan cabang-cabang yang memiliki kemiripan karakteristik. Tujuan penyederhanaan ini adalah untuk mempermudah dalam melakukan analisis sistem lebih lanjut.

   b. Menentukan peluang munculnya kejadian atau peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*).

Setelah pohon kesalahan disederhanakan, tahap berikutnya adalah menentukan peluang kejadian paling penting dalam sistem. Pada langkah ini, peluang semua *input* dan logika hubungan digunakan sebagai pertimbangan penentuan peluang.

c. *Review* hasil analisis

Review hasil analisis dilakukan untuk mengetahui kemungkinan perbaikan yang dapat dilakukan pada sistem.

3.2.4 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 3.1.

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 3.2

3.2.5 Contoh *Fault Tree Analysis* (FTA)

Untuk memudahkan dalam memahami *Fault Tree Analysis* (FTA) kecelakaan kerja, simak contoh studi kasus berikut:

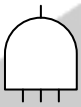
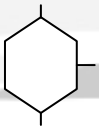
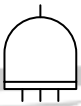
Misal di salah satu proyek konstruksi yang sedang berlangsung, sering mengalami

kecelakaan kerja. Setelah diidentifikasi, kecelakaan kerja yang sering terjadi adalah akibat terjatuh, terpeleset dan tersandung. Maka dengan menggunakan metode FTA bisa diidentifikasi seperti pada gambar 3.4

Berdasarkan gambar 3.4 dapat disimpulkan bahwa ada sembilan faktor penyebab kecelakaan terjatuh, terpeleset dan tersandung, yaitu:

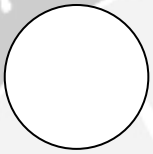
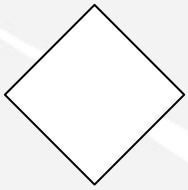
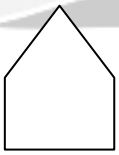
1. Kekuatan fisik pekerja yang tidak sesuai dengan pekerjaan
2. Terburu-buru untuk menyelesaikan pekerjaan
3. Bekerja sambil bercanda
4. Meletakkan perkakas disembarang tempat
5. Tidak mengikuti instruksi kerja
6. Melanggar peraturan
7. Terkena tumpahan air minyak
8. Tidak ada petugas khusus yang ditempatkan untuk membersihkan
9. Tidak ada inisiatif pekerja untuk membersihkan karena malas.

Tabel 3.1 Simbol – simbol hubungan dalam FTA

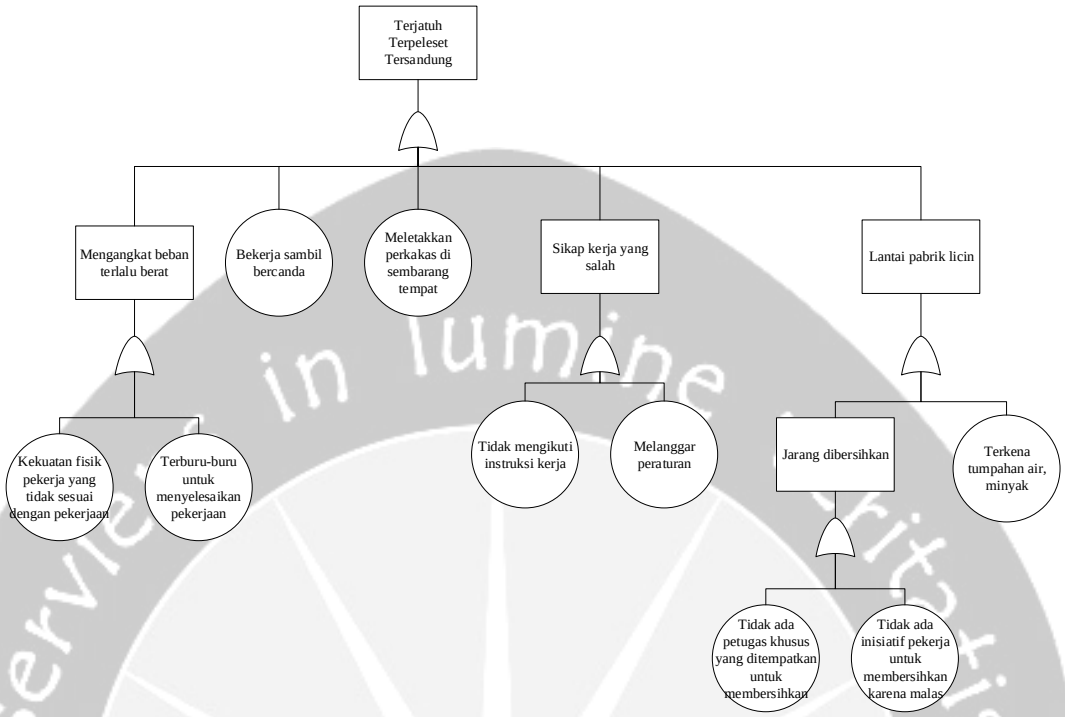
No	Simbol *gate*	Nama dan keterangan
1		*And gate. Output event* terjadi jika semua *input* event terjadi secara bersamaan.
2		*Or gate. Output event* terjadi jika paling tidak satu *input event* terjadi.
3		k *out of n gate. Output event* terjadi jika paling sedikit *k output* dari *n input event* terjadi.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

Sumber : Blanchard, 2004

Tabel 3.2 Simbol – simbol kejadian dalam FTA

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

Sumber : Blanchard, 2004



Sumber: Sulistyoko E. (2008)

Gambar 3.4 Contoh identifikasi menggunakan *fault tree analysis*