

## BAB 3

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Manajemen Risiko

Beberapa definisi mengenai manajemen risiko dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Manajemen risiko merupakan suatu proses yang berfokus pada perencanaan (*Risk Management Planning*), identifikasi (*Risk Identification*), analisis (*Qualitative Risk Analysis* dan *Quantitative Risk Analysis*), penanganan (*Risk Response Planning*) dan pemantauan dan pengendalian (*Risk Monitoring and Control*) pada risiko proyek (*Project Management Institute, 2004*).
- b. Manajemen risiko merupakan tindakan atau praktek dalam menghadapi risiko yang meliputi perencanaan (*planning*), penilaian (*assessing*) (identifikasi (*identifying*) dan analisis (*analyzing*)) isu risiko, mengembangkan strategi penanganan risiko (*risk handling*) dan memonitor (*monitoring*) risiko untuk melihat bagaimana risiko tersebut telah berubah (*Kerzner, 2003*).
- c. Manajemen risiko merupakan suatu usaha untuk mengetahui, menganalisa serta mengendalikan risiko dalam setiap kegiatan perusahaan dengan tujuan untuk memperoleh efektifitas dan efisiensi yang lebih tinggi (*Darmawi, 1990*).

### 3.1.1. Pengertian risiko

Beberapa definisi risiko dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Risiko merupakan suatu kejadian atau kondisi yang tidak pasti yang jika terjadi, dapat memberikan efek positif dan negatif pada tujuan yang ingin dicapai dalam proyek (*Project Management Institute, 2004*).
- b. Risiko merupakan suatu ukuran probabilitas dan dampak yang ditimbulkan jika tujuan proyek tidak tercapai. Risiko tersebut merupakan fungsi dari kemungkinan (*likelihood*) dan dampak yang ditimbulkan (*impact*) (*Kerzner, 2003*).
- c. Risiko merupakan suatu kejadian atau keadaan tidak pasti yang mana jika terjadi akan memiliki efek pada pencapaian tujuan proyek (*Association for Project Management, 2000*).
- d. Arthur Williams dan Richard, M. H mendefinisikan risiko sebagai suatu variasi dari hasil-hasil yang dapat terjadi selama periode tertentu.
- e. Vaughn (1978) mengemukakan beberapa definisi resiko sebagai berikut :
  1. *Risk is the chance of loss* (Risiko adalah kans kerugian). *Chance of loss* biasanya dipergunakan untuk menunjukkan suatu keadaan di mana terdapat suatu keterbukaan (*exposure*) terhadap kerugian atau suatu kemungkinan kerugian.
  2. *Risk is the possibility of loss* (Risiko adalah kemungkinan kerugian). Istilah "*Possibility*" berarti bahwa probabilitas sesuatu peristiwa berada di antara nol dan satu. Definisi ini barangkali sangat mendekati dengan pengertian

risiko yang dipakai sehari-hari. Akan tetapi definisi ini agak longgar, tidak cocok dipakai dalam analisis kuantitatif.

3. *Risk is uncertainty* (Risiko adalah ketidakpastian). Tampaknya ada kesepakatan bahwa risiko berhubungan dengan ketidakpastian (*uncertainty*) yaitu adanya risiko itu sendiri karena adanya ketidakpastian.
4. *Risk is the dispersion of actual from expected* (Risiko merupakan penyebaran hasil aktual dari hasil yang diharapkan). Ahli statistik mendefinisikan risiko sebagai derajat penyimpangan sesuatu nilai di sekitar suatu posisi sentral atau di sekitar titik rata-rata.
5. *Risk is the probability of any outcome different from the one expected* (Risiko adalah probabilitas sesuatu outcome berbeda dengan outcome yang diharapkan). Variasi lain dari konsep risiko sebagai suatu penyimpangan yaitu risiko merupakan probabilitas obyektif bahwa *outcome* yang aktual dari suatu kejadian berbeda dari *outcome* yang diharapkan. Probabilitas obyektif dimaksudkan sebagai frekuensi relatif yang didasarkan pada perhitungan ilmiah.

### **3.1.2. Tujuan manajemen risiko**

Tujuan dari manajemen risiko yaitu pembagian secara tepat sumber yang terbatas sebagai usaha mengendalikan perbedaan dalam rangka peningkatan kualitas dan mengurangi biaya seefisien dan seefektif mungkin.

Pelaksanaan manajemen risiko berdasarkan pada dua konsep dasar yaitu:

a. *A holistic view of variation*

*Holistic* bermakna memfokuskan seluruh sistem yang lengkap dan tidak hanya sekedar sebuah analisa, perlakuan dan pemisahan ke dalam bagian-bagiannya.

b. *Identification process* (proses identifikasi), *assessment process* (proses penilaian), dan *mitigation process* (proses pengendalian).

Manajemen risiko dapat diterapkan pada proses perancangan produk baru atau juga untuk produk yang sudah ada. Manajemen risiko membutuhkan penggabungan dan keikutsertaan semua aspek yang berpengaruh pada kualitas produk, termasuk perancangan desain, proses produksi, kualitas, perancangan sistem, pelanggan dan penyedia (*supplier*). Dalam manajemen risiko, ada tiga hal utama yang harus dilakukan, yaitu proses identifikasi, proses pengukuran/penilaian, dan proses pengendalian.

### **3.1.3. Proses identifikasi**

Salah satu tujuan dari manajemen risiko adalah secara cepat mengidentifikasi daerah yang memiliki dampak terbesar dari suatu produk.

Langkah awal dalam proses identifikasi adalah sebagai berikut:

a. Mengidentifikasi suara dari konsumen

Pada tahap awal perancangan produk, anggota tim perancangan harus mengumpulkan informasi mengenai keinginan konsumen. Suara konsumen dapat dihimpun

melalui bagian pemasaran, pengendalian kualitas atau proses produksi.

b. Identifikasi perincian dan kebutuhan

Suara konsumen secara khusus ada dalam bentuk umum bukan secara teknik, sehingga perlu diterjemahkan menjadi bentuk kebutuhan secara teknik dalam perancangan produk selanjutnya yang akan dibuat.

c. Identifikasi terhadap *Critical System Requirement* (CSR)

CSR dapat digunakan sebagai masukan dalam rangkaian identifikasi. Untuk perancangan baru, dokumen kebutuhan dan perancangan sebelumnya digunakan untuk mengidentifikasi sistem secara terperinci. Untuk produk baru dan produk yang sudah ada, CSR dapat diidentifikasi dari beberapa sumber antara lain:

1. *Requirements Document*
2. *Interface Document*
3. *Failure Modes* dengan menggunakan FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)
4. *Manufacturing/Producibility Requirements*
5. *Customer Complaint and Warranty*
6. *Quality Plans and Reports*

#### **3.1.4. Proses penilaian**

Adapun proses penilaian suatu produk dibagi menjadi 2 bagian, yaitu:

a. Penilaian saat pengembangan produk

Pada saat ini sistem diurutkan berdasarkan tingkat risiko yang terjadi, karena perancangan produk baru belum ada maka tim perancangan produk

harus bersandar pada contoh, data sejarah dan prototipe produk dalam memprediksikannya.

Ada 4 langkah yang dilakukan dalam penilaian saat pengembangan produk, yaitu:

1. Menilai kekerapan cacat dan efeknya pada produk
  - a) Menghitung kemungkinan kegagalan tiap sistem.
  - b) Mengidentifikasi potensi penyebab kegagalan dari komponen dan proses.
2. Menghitung biaya produk cacat untuk setiap sistem
3. Menghitung risiko dan memasukkan ke dalam kategori sistem
4. Membuat laporan hasilnya

b. Penilaian saat proses produksi

Selama proses produksi, produk cacat dan biaya dari produk cacat dapat ditentukan. Pada proses produksi, dilakukan pengumpulan semua data mengenai biaya dan total cacat untuk menghitung biaya total yang terjadi dari adanya variasi produk.

Langkah-langkah penilaian pada produk yang sedang dalam proses produksi, antara lain:

1. Mengukur rata-rata produk cacat  
Pengukuran rata-rata produk cacat dilakukan dengan menggunakan sejumlah sumber data yang tersedia ataupun melalui pengambilan sampel yang terjadi dalam periode tertentu.
2. Menghitung efek biaya dari tiap perbedaan/ketidaksesuaian  
Penghitungan biaya dapat ditentukan dari awal proses atau dengan mengidentifikasi biaya dari tiap komponen dan prosesnya yang berhubungan secara langsung.

3. Membuat rencana penyimpanan data

Pembuatan metode untuk menyimpan data biaya dan total cacat dibuat berdasarkan banyaknya perbedaan jenis data yang ada.

4. Melakukan analisa efektivitas dari sistem pengendalian kualitas yang ada dengan menggunakan *scatter diagram* dan matrik kualitas efektivitas.

5. Dokumentasi

Hasil seluruhnya dibuat menjadi satu dokumentasi.

### **3.1.5. Proses pengendalian**

Tujuan utama tahap pengendalian adalah mengambil tindakan perbaikan setelah proses identifikasi dan penilaian. Tahap ini diharapkan mampu mengurangi sumber yang berpengaruh besar pada sistem.

Strategi pengendalian dapat berupa:

- a. Perubahan desain
- b. Perubahan dan perbaikan proses produksi
- c. Memantau proses produksi
- d. Percobaan dan pengecekan

Ada beberapa metode analisa risiko yang dapat digunakan antara lain:

a. *Hazard and Operability* (HAZOP)

*Hazard and Operability* menggunakan pendekatan *bottom-up*, yang ideal digunakan untuk suatu rancangan baru atau rancangan yang sangat kompleks. Langkahnya yaitu:

1. Parameter rancangan (*design parameter*) diantaranya: aliran, temperatur, tekanan, level (berat), komposisi, reaksi, waktu, dan rangkaian.

2. Kata penuntun (*guide word*), yaitu: lebih, kurang, tidak, baik, dan kata lainnya.

HAZOP digunakan untuk analisa sistem yang memiliki deviasi dari fungsi seharusnya. Deviasi fungsi merupakan kegagalan dari sistemnya. Pada *medical device*, HAZOP digunakan untuk menganalisis alat yang berhubungan langsung terhadap pasien, seperti makanan dan obat-obatan.

b. *Fault Tree Analysis* (FTA)

FTA menggunakan pendekatan analisis *top-down*. Dimulai dengan suatu akibat yang tidak diinginkan atau kejadian paling awal kemudian dicari penyebabnya, untuk kemudian memecah penyebab terjadinya kegagalan tersebut dengan menggunakan pohon logika. FTA umumnya digunakan untuk analisis di mana setiap kejadian dapat diestimasi dari data umum.

c. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

FMEA dapat menggunakan dua pendekatan yaitu *bottomup* dan *top-down*. Hanya saja FMEA lebih efektif digunakan untuk peralatan yang terdiri atas komponen-komponen mekanik dan elektrik.

### **3.2. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**

#### **3.2.1. Sejarah dan definisi FMEA**

FMEA pertama kali dikembangkan oleh *An offshoot of Military Procedure MIL-P-1629* dengan judul "*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*" pada tanggal 9 November 1949 yang digunakan sebagai metode analisis reliabilitas untuk menentukan dampak dari kegagalan sistem dan peralatan di mana

kegagalan tersebut diklasifikasikan berkaitan dengan dampaknya terhadap kesuksesan dari misi dan keselamatan dari personel maupun peralatan.

Pertama kali digunakan dan diaplikasikan secara umum oleh NASA pada tahun 1960 untuk memperbaiki dan memverifikasi reliabilitas dari *space program hardware*. Prosedur tersebut disebut dengan MIL-STD-1629A yang merupakan metode yang secara luas diterima pada industri militer maupun komersial. SAEJ1739 merupakan standar FMEA yang umum digunakan pada industri otomotif.

Beberapa definisi mengenai *failure mode and effects analysis* (FMEA) dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. *Failure mode and effects analysis* (FMEA) adalah sebuah pendekatan sistematis yang menggunakan metode tabular untuk membantu proses berpikir *engineer* dalam mengidentifikasi moda kegagalan potensial beserta dampaknya (Ford Motor Company, 1992).
- b. *Failure mode and effects analysis* (FMEA) merupakan suatu teknik dalam disiplin ilmu keteknikan (*engineering*) yang digunakan untuk menemukan, mengidentifikasi, dan menghilangkan moda kegagalan, masalah, kesalahan potensial dari sistem, desain, dan atau proses sebelum sampai ke *customer* (Omdahl 1988; ASQC 1983).
- c. *Failure mode and effects analysis* (FMEA) merupakan suatu *tool* yang digunakan secara luas pada industri otomotif, pesawat terbang, dan elektronik untuk mengidentifikasi, memprioritaskan dan menghilangkan kegagalan, permasalahan, dan kesalahan potensial

dari sistem selama desain sebelum produk dirilis (Stamatis, 1995).

- d. *Failure mode and effects analysis* (FMEA) merupakan sekumpulan aktifitas yang sistematis yang dimaksudkan untuk (a) mengenal dan mengevaluasi kegagalan potensial dari produk/proses dan dampak dari kegagalan tersebut, (b) mengidentifikasi tindakan yang dapat menghilangkan atau mengurangi kemungkinan dari kegagalan potensial terjadi, dan (c) mendokumentasikan keseluruhan proses (*Automotive Industry Action Group*, 2001).
- e. *Failure mode and effects analysis* (FMEA) merupakan prosedur dalam evaluasi desain yang digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan produk dan menentukan dampak dari tiap-tiap kegagalan tersebut terhadap kinerja sistem. Prosedur ini secara formal mendokumentasikan standar praktek, menghasilkan record historis, dan menyediakan basis data untuk perbaikan di masa mendatang. Prosedur FMEA ini merupakan urutan langkah logis yang dimulai dari analisis tingkatan sub-sistem atau komponen yang lebih rendah (Moblely, 1999).
- f. Menurut Unit *Engineering* PT. MAK (2004), FMEA secara umum dapat didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi 3 hal, yaitu:
  1. Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain dan proses suatu produk selama siklus hidupnya.
  2. Efek dari kegagalan yang potensial dari sistem, desain dan proses suatu produk.

3. Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi proses atau produk.

### **3.2.2. Tujuan *failure mode and effects analysis* (FMEA)**

Adapun tujuan FMEA menurut Ford Motor Company (1992) antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengidentifikasi moda kegagalan yang potensial dan tingkat keparahan dari tiap dampak yang ditimbulkan.
- b. Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan.
- c. Untuk mengurutkan dan mendapatkan prioritas potensi kegagalan dari sistem, desain dan proses.
- d. Untuk membantu engineer dalam memusatkan perhatian pada kekurangan produk dan proses yang penting serta membantu mencegah terjadinya kegagalan pada produk.

### **3.2.3. Tipe *failure mode and effects analysis* (FMEA)**

Secara umum terdapat tiga tipe FMEA yang sering digunakan antara lain :

- a. FMEA sistem (kadang-kadang disebut juga dengan FMEA konsep)
  - a. Digunakan untuk menganalisis sistem dan subsistem pada tahap awal konsep dan desain.
  - b. Berfokus pada mode kegagalan potensial antar fungsi sistem yang disebabkan kelemahan sistem dan melibatkan interaksi antara sistem dan elemen dalam sistem.
- b. FMEA desain
  - a. Digunakan untuk menganalisis produk sebelum produk tersebut dirilis untuk diproduksi.

- b. Berfokus pada mode kegagalan yang disebabkan kelemahan desain.
- c. FMEA proses
  - a. Digunakan untuk menganalisis proses manufaktur dan proses perakitan.
  - b. Berfokus pada moda kegagalan yang disebabkan kesalahan proses atau perakitan.

#### **3.2.4. Manfaat *failure mode and effects analysis* (FMEA)**

Menurut Ford Motor Company (1992), penggunaan FMEA dapat memberikan banyak manfaat bagi perusahaan. Secara umum, manfaat FMEA antara lain:

- a. Meningkatkan kualitas, keandalan, dan keamanan produk-produk yang dihasilkan perusahaan.
- b. Meningkatkan citra dan daya saing perusahaan.
- c. Membantu dalam meningkatkan kepuasan konsumen.
- d. Mengurangi biaya dan waktu pengembangan produk
- e. Mendokumentasikan dan melacak tindakan-tindakan yang pernah diambil untuk mengurangi risiko.

Adapun bila dilihat lebih detail, masing-masing FMEA memberikan manfaat yang lebih terperinci.

- a. FMEA Sistem
  - 1. Membantu memilih alternatif desain sistem yang optimum.
  - 2. Membantu membangkitkan rangking kejadian moda kegagalan yang dapat digunakan untuk memperkirakan apakah alternatif desain sistem tertentu dapat mencapai target keandalannya.
  - 3. Meningkatkan kemungkinan telah dipertimbangkannya semua efek potensial dari

moda kegagalan subsistem, perakitan, dan komponen.

4. Mengidentifikasi moda kegagalan sistem yang potensial yang disebabkan oleh interaksi sistem dengan sistem lain dan atau interaksi dengan subsistem.
5. Membantu menentukan perlu tidaknya tambahan perangkat keras atau peralatan.
6. Merupakan dasar untuk mengembangkan prosedur diagnostik pada tingkat sistem.
7. Merupakan dasar untuk mengembangkan teknik manajemen kesalahan sistem.

b. FMEA Desain

1. Membantu mengidentifikasi moda kegagalan produk yang potensial lebih awal dalam fase pengembangan produk.
2. Meningkatkan kemungkinan telah dipertimbangkannya semua moda kegagalan produk yang potensial beserta dampaknya pada level perakitan yang lebih tinggi.
3. Membantu dalam mengidentifikasi masalah keamanan yang potensial sehingga tindakan perancangan produk dapat digunakan untuk mengurangi kegagalannya.
4. Membantu dalam mengevaluasi kebutuhan dan alternatif desain produk.
5. Menyediakan informasi untuk membantu merencanakan sebuah *Design Verification Test Program* produk yang menyeluruh.
6. Membantu mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan yang potensial.

7. Mengembangkan prioritas untuk tindakan perbaikan desain.
8. Mendokumentasikan alasan-alasan rasional dibalik perubahan desain produk untuk membimbing pengembangan ke arah desain produk di masa mendatang.

c. FMEA Proses

1. Membantu dalam menganalisis proses-proses perakitan dan manufaktur yang baru.
2. Meningkatkan kemungkinan telah dipertimbangkannya semua moda kegagalan proses perakitan dan atau manufaktur yang potensial beserta dampaknya.
3. Mengidentifikasi kekurangan proses untuk memudahkan *engineer* dalam memusatkan perhatian pada pengendalian untuk mengurangi terjadinya tingkat kejadian produk yang tidak dapat diterima, atau pada metode untuk meningkatkan deteksi terhadap produk yang tidak dapat diterima.
4. Mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan serta membantu dalam pengembangan *Manufacturing Control Plans* yang menyeluruh.
5. Mengembangkan prioritas untuk tindakan perbaikan proses.
6. Mendokumentasikan alasan-alasan rasional dibalik perubahan proses untuk membimbing pengembangan ke arah proses perakitan atau manufaktur di masa mendatang.

### 3.2.5. Implementasi FMEA dan prosedur pembuatan FMEA

Kecenderungan untuk secara berkelanjutan memperbaiki produk dan proses sesering mungkin oleh industri saat ini menyebabkan implementasi FMEA sebagai suatu teknik untuk mengidentifikasi dan membantu mengurangi moda kegagalan potensial merupakan hal yang penting. Salah satu faktor yang paling penting untuk keberhasilan dari implementasi FMEA adalah ketepatan waktu (*timeliness*). Hal ini berarti bahwa untuk "bertindak sebelum kejadian", bukan "bertindak setelah terjadi".

Dalam mengembangkan FMEA, tim mengidentifikasi moda kegagalan dan tindakan yang dapat mengurangi atau menghilangkan kegagalan yang potensial terjadi. *Input* dicoba didapatkan dari sekelompok ahli yang meliputi berbagai bidang seperti desain, tes, kualitas, lini produk, pemasaran, manufaktur dan *customer* untuk memastikan semua moda kegagalan potensial teridentifikasi.

Menurut Ford Motor Company (1992), FMEA merupakan dokumen yang berkembang secara simultan sesuai dengan perubahan yang terjadi pada suatu produk atau proses. Perubahan ini dapat dan sering digunakan untuk mengenali moda kegagalan baru sehingga mengulas atau memperbaharui FMEA adalah penting terutama ketika:

- a. Produk atau proses baru diperkenalkan.
- b. Perubahan dibuat pada kondisi operasi produk atau proses diharapkan berfungsi.
- c. Perubahan dibuat pada produk atau proses (produk dan proses berhubungan), misalnya jika desain produk diubah maka proses terpengaruh, begitu sebaliknya.

d. Konsumen memberikan indikasi masalah pada produk atau proses.

Gambar 3.1 adalah gambar diagram alir yang menunjukkan prosedur dari implementasi FMEA secara umum.

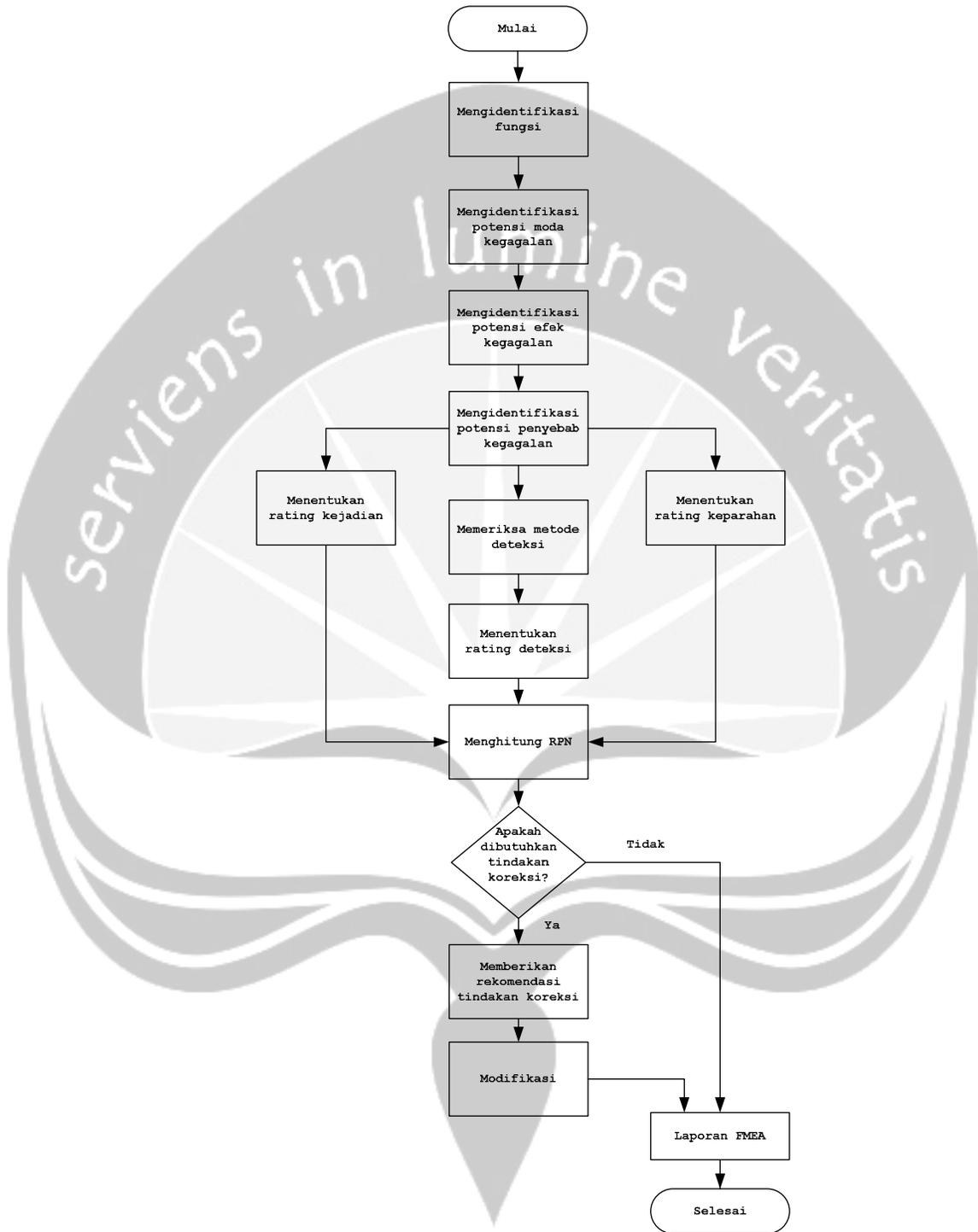
#### **3.2.6. FMEA sistem**

FMEA sistem (kadang-kadang disebut juga dengan FMEA konsep) biasanya diselesaikan melalui serangkaian tahapan yang meliputi desain konseptual, detail desain dan pengembangan, dan uji coba dan evaluasi. FMEA proses merupakan proses yang evolusioner yang melibatkan penerapan dari berbagai teknologi dan metode untuk menghasilkan *output* sistem yang efektif yang akan digunakan sebagai *input* untuk FMEA desain yang mana dari *output* yang dihasilkan FMEA desain akan menjadi *input* untuk FMEA proses/perakitan, ataupun FMEA *part*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.

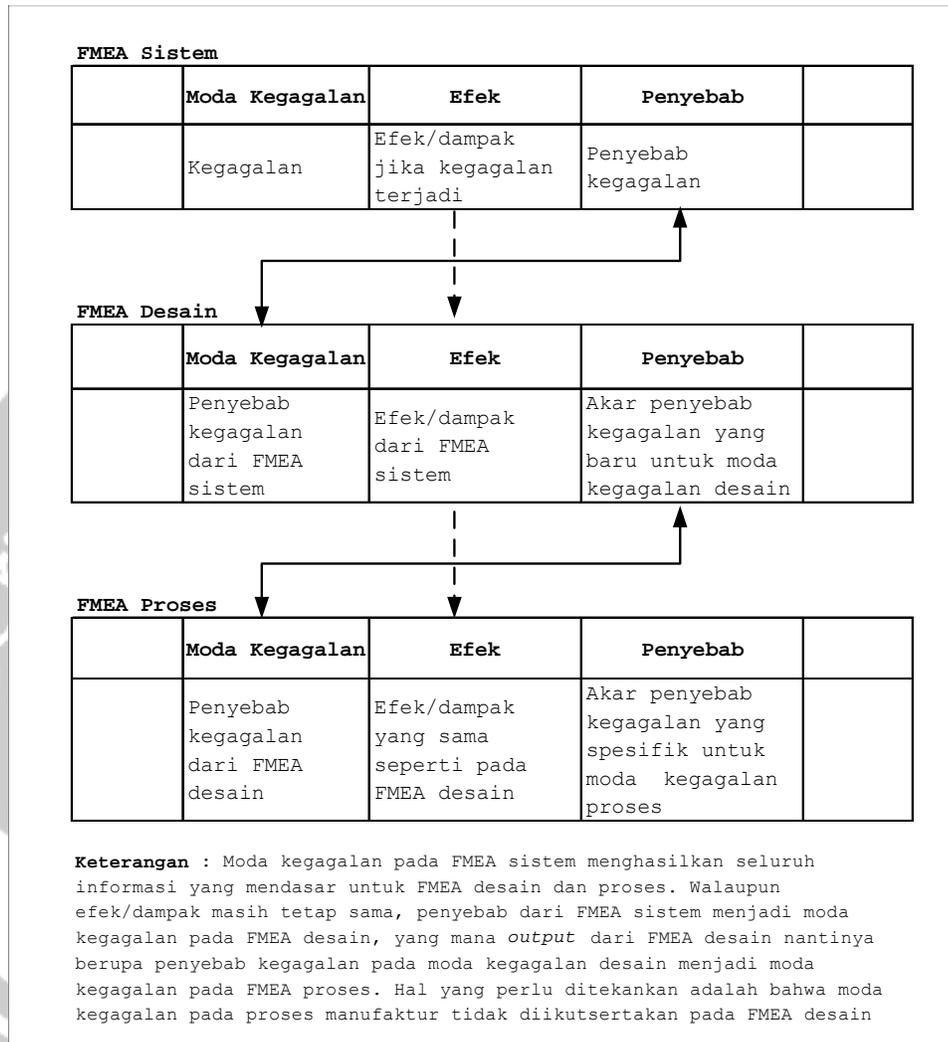
Prosedur implementasi dari FMEA sistem dapat dijelaskan sebagai berikut :

##### **a. Identifikasi fungsi**

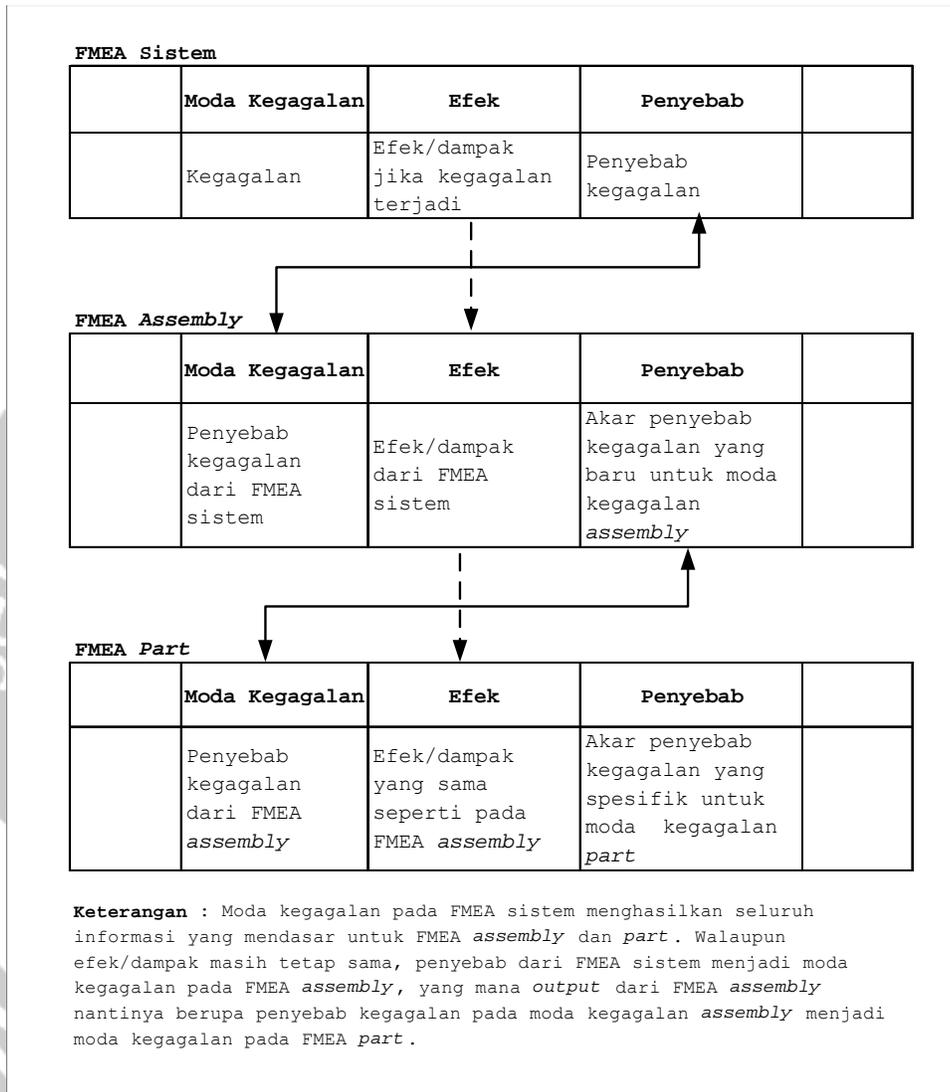
Dalam proses identifikasi fungsi, pada FMEA sistem terlebih dahulu diuraikan menjadi elemen dalam dan luar sistem serta fungsi sistem berdasarkan persyaratan keamanan, keselamatan, peraturan pemerintah dan pertimbangan lainnya.



Gambar 3.1. Prosedur dari implementasi FMEA (*Unit Engineering PT. MAK, 2004*)



Gambar 3.2. Hubungan FMEA sistem, FMEA desain, dan FMEA Proses (Stamatis, 1995)



Gambar 3.3. Hubungan FMEA sistem, FMEA *assembly*, dan FMEA *part* (Stamatis, 1995)

Tahapan-tahapan dalam mengidentifikasi fungsi pada FMEA sistem adalah sebagai berikut:

1. Membuat daftar semua fungsi sistem yang terbagi dalam beberapa level dan sub level dan pembatas elemen dalam dan luar sistem. Hal ini dapat

dibantu dengan menggunakan kombinasi kata kerja dan kata benda untuk menggambarkan fungsi sistemnya.

## 2. Membuat diagram blok fungsional sistem

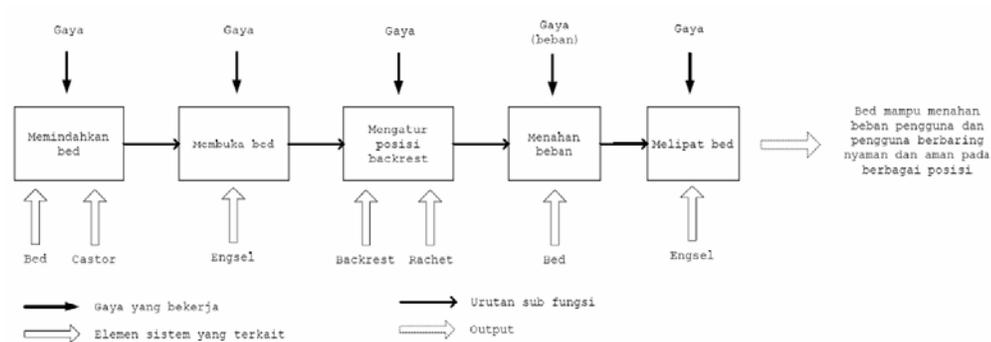
Diagram blok fungsional sistem menunjukkan elemen-elemen pada sistem yang bisa diuraikan. Identifikasi elemen utama sistem sangat penting untuk dapat memahami interaksi elemen dengan elemen di dalam maupun di luar sistem.

Ada beberapa garis besar dalam membuat diagram blok fungsional sistem ini yaitu:

- a) Memulai dari level tertinggi kepentingan
- b) Menentukan elemen-elemen dalam dan luar sistem pada level
- c) Memastikan setiap fungsi sudah masuk dalam blok elemen (dalam maupun luar)

Beberapa peraturan baku digunakan dalam membuat 2 macam diagram blok fungsional sistem (Unit Engineering PT MAK, 2004):

- a) Struktur fungsi dan struktur subfungsi sistem  
Contoh pembuatan diagram blok fungsional beserta keterangannya untuk menggambarkan struktur fungsi dan subfungsi sistem dapat dilihat pada Gambar 3.4.
- b) Hubungan fungsional keseluruhan sistem  
Contoh pembuatan diagram blok fungsional beserta keterangannya untuk menggambarkan hubungan fungsional sistem dapat dilihat pada Gambar 3.5.

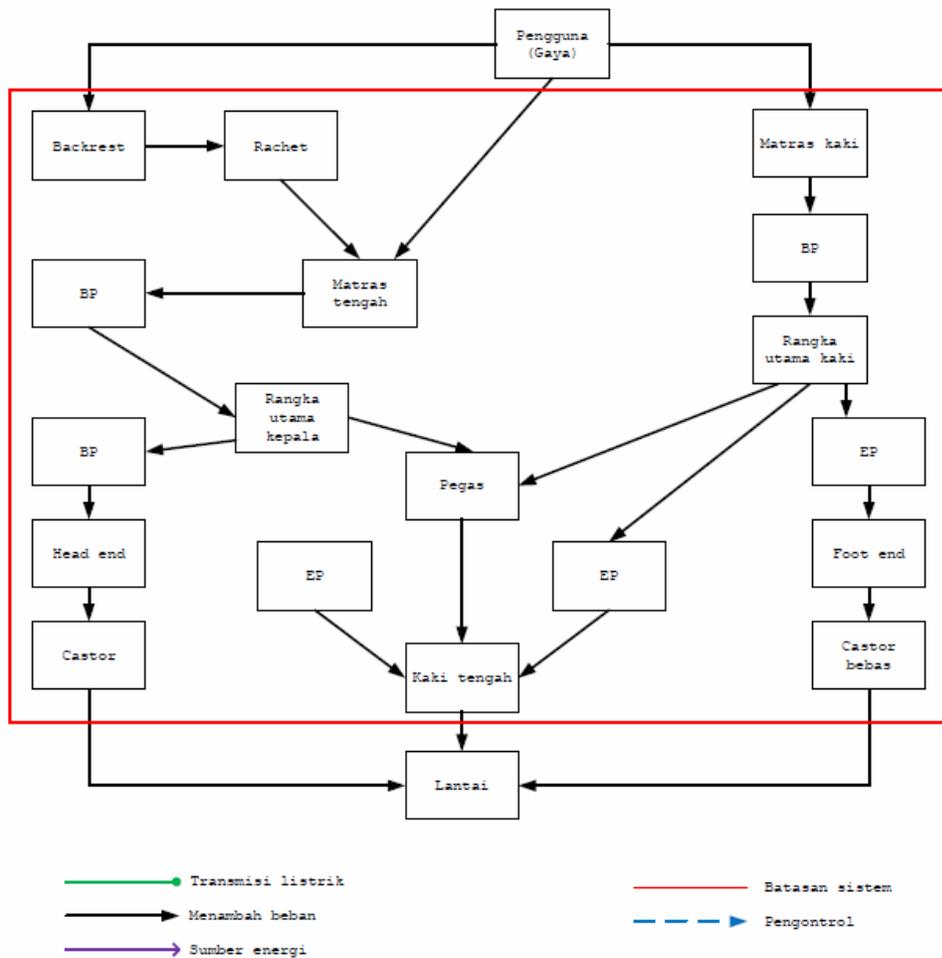


Gambar 3.4. Struktur fungsi sistem *Folding Bed* (Unit *Engineering* PT MAK, 2004)

Contoh dari fungsi sistem (kata kerja-kata benda) antara lain: menghasilkan nyala, membersihkan kaca depan (mobil), menghentikan peralatan, mengendalikan peralatan, mengendalikan kecepatan, dan sebagainya.

b. Identifikasi potensi moda kegagalan sistem

Untuk setiap fungsi sistem yang telah diidentifikasi, ditentukan moda kegagalan sistem yang mungkin terjadi. Moda kegagalan potensial digambarkan dalam terminologi hilangnya fungsi atau sebagai negasi fungsi. Yang terpenting dalam tahap ini adalah melakukan *brainstorming* moda kegagalan potensial pada sistem dengan menggunakan pertanyaan "Dengan cara apa sistem dapat mengalami kegagalan dalam melakukan fungsi yang diinginkan?".



Gambar 3.5. Hubungan fungsional sistem *Folding Bed*  
 (Unit Engineering PT MAK, 2004)

Contoh dari moda kegagalan sistem antara lain: tidak dapat menghasilkan nyala, tidak dapat membersihkan kaca depan (mobil), tidak dapat menghentikan peralatan, tidak dapat mengendalikan peralatan, tidak dapat mengendalikan kecepatan, dan sebagainya.

c. Identifikasi potensi efek kegagalan dan rangking *severity*

Efek kegagalan sistem merupakan akibat dari moda kegagalan sistem dalam hal dampaknya pada sistem lain, peralatan, *customer*, dan peraturan pemerintah. Untuk mengidentifikasi efek moda kegagalan maka memerlukan informasi data layanan dan dokumen yang serupa yang ada di perusahaan maupun data-data yang berhubungan lainnya seperti data *customer* complain, dokumen jaminan (*warranty*), data realibilitas, dan studi kelayakan.

*Severity* adalah rangking yang berhubungan dengan tingkat keparahan efek yang ditimbulkan oleh moda kegagalan sistem. Rangking *severity* diperoleh dengan melihat efek kegagalan yang timbul. Efek dirangking pada skala 1 sampai 10, dengan 10 sebagai tingkat keparahan yang paling tinggi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

d. Menentukan potensi penyebab kegagalan sistem dan rangking *occurrence*

Penyebab moda kegagalan potensial pada sistem adalah kelemahan dari desain sistem yang dihasilkan. Kunci dalam mengidentifikasi penyebab moda kegagalan potensial sistem adalah diagram blok fungsional sistem. Diagram blok menggambarkan elemen subsistem yang dibutuhkan untuk melaksanakan fungsi sistem.

Tabel 3.1. Rangking *severity* untuk FMEA sistem  
(Unit *Engineering* PT MAK, 2004)

<b>Efek</b>	<b>Rangking</b>	<b>Kriteria</b>
Tanpa efek	1	Tanpa efek.
Efek yang sangat ringan	2	Pelanggan tidak terpengaruh. Efek yang sangat ringan pada alat atau kinerja sistem.
Efek ringan	3	Pelanggan tidak terpengaruh. Efek yang ringan pada alat atau kinerja sistem.
Efek minor	4	Pelanggan mengalami pengaruh yang kecil. Efek minor pada alat atau kinerja sistem.
Efek manengah	5	Pelanggan mengalami beberapa ketidakpuasan. Efek menengah pada alat atau kinerja sistem.
Efek signifikan	6	Pelanggan mengalami ketidakseimbangan. Kinerja alat menurun tapi tetap bisa beroperasi dan aman. Kerugian partial pada fungsi sistem tetapi bisa dioperasikan.
Efek mayor	7	Pelanggan tidak terpuaskan (kecewa). Kinerja alat sangat terpengaruh tapi terkendali dan aman. Fungsi sistem terganggu.
Efek ekstrim	8	Pelanggan sangat kecewa. Peralatan tidak bisa dioperasikan dengan aman. Sistem tidak beroperasi.
Efek serius	9	Efek berbahaya potensial. Mampu menghentikan peralatan tanpa kecelakaan-kegagalan bertahap dengan adanya peringatan.
Efek berbahaya	10	Efek berbahaya. Efek tiba-tiba yang berhubungan dengan keamanan tanpa adanya peringatan

Langkah-langkah dalam mengidentifikasi penyebab moda kegagalan potensial pada sistem adalah sebagai berikut :

1. Analisis tiap-tiap elemen subsistem pada diagram blok seperti *input*, *output*, dan elemen yang terkait di dalamnya.
2. Tetapkan bagaimana tiap-tiap elemen subsistem tersebut dapat mengalami kegagalan dan menyebabkan moda kegagalan pada sistem. Secara umum, moda kegagalan elemen diartikan sebagai ketidakmampuan dari suatu elemen untuk melaksanakan fungsi atau operasi yang diinginkan.

Contoh dari penyebab moda kegagalan sistem antara lain: ketidakcukupan pemanasan, kesalahan manusia, kesalahan instalasi, kesalahan pemakaian, penyalahgunaan, umur pemakaian, korosi, dan sebagainya.

*Occurrence* merupakan kemungkinan dari penyebab moda kegagalan sistem akan terjadi. Untuk memperkirakan nilai *occurrence* menggunakan rangking skala 1 sampai 10, dengan 10 sebagai rangking *occurrence* yang paling tinggi yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Rangking *occurrence* untuk FMEA sistem  
(Automotive Industry Action Group, 2001)

Kemungkinan Kegagalan	Tingkat Kegagalan	Rangking
Sangat tinggi : kegagalan terus menerus terjadi	$\geq 100$ dari 1000 peralatan/item	10
	50 dari 1000 peralatan/item	9
Tinggi : kegagalan sering terjadi	20 dari 1000 peralatan/item	8
	10 dari 1000 peralatan/item	7
Manengah : kegagalan kadang-kadang terjadi	5 dari 1000 peralatan/item	6
	2 dari 1000 peralatan/item	5
	1 dari 1000 peralatan/item	4
Rendah : kegagalan sedikit terjadi	0,5 dari 1000 peralatan/item	3
	0,1 dari 1000 peralatan/item	2
Hampir tidak ada kegagalan terjadi	$\leq 0,01$ dari 1000 peralatan/item	1

e. Menentukan metode deteksi dan rangking deteksi

Rangking *detection* merupakan rangking yang berhubungan dengan kemungkinan metode deteksi akan mendeteksi penyebab moda kegagalan potensial pada sistem atau kemampuan metode pengendalian untuk mendeteksi moda kegagalan sistem. Rangking *detection* tergantung pada metode pengendalian yang digunakan saat ini. Rangking *detection* dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Rangkaian *detection* untuk FMEA sistem  
(Unit *Engineering* PT. MAK, 2004)

Deteksi	Rangking	Kriteria
Hampir pasti	1	Metode pencegahan tersedia pada tahap awal konsep.
Sangat tinggi	2	Program analisis komputer pencegahan tersedia dalam tahap awal konsep.
Tinggi	3	Teknik simulasi atau pemodelan tersedia dalam tahap awal konsep.
Cukup tinggi	4	Pengujian dalam prototipe awal elemen sistem.
Manengah	5	Pengujian dalam pra produksi elemen sistem.
Rendah	6	Pengujian dalam elemen sistem yang mirip.
Sangat rendah	7	Pengujian pada alat dengan prototipe elemen sistem terpasang.
Kecil	8	Pengujian keandalan pada alat dengan elemen sistem terpasang.
Sangat kecil	9	Hanya tersedia metode tak terbukti atau tidak dapat dipercaya.
Hampir tidak mungkin	10	Tidak diketahui metode deteksi yang sesuai.

Metode-metode deteksi yang digunakan PT. MAK antara lain:

1. Uji pada tahap awal konsep

Pengujian pada tahap awal konsep ini dilakukan dengan perhitungan matematis dan atau kinematis maupun pendekatan teoritis. Gejala kegagalan pada komponen atau rakitan produk telah dapat diprediksi sejak tahap awal konsep yaitu pada

tahap desain produk dan dapat diantisipasi dengan perhitungan matematis dan atau kinematis maupun pendekatan teoritis yang cukup.

2. Uji analisis komputer

Apabila hasil uji pada tahap awal konsep terhadap gejala kegagalan masih meragukan, dilakukan uji dengan mensimulasikan performa komponen, sub rakitan dan rakitan produk menggunakan program analisis komputer. Uji ini dilakukan pada tahap desain produk.

3. Uji simulasi atau pemodelan

Apabila hasil uji analisis komputer masih meragukan, dilakukan uji dengan mensimulasikan performa elemen produk lain yang mirip dengan elemen produk yang bersangkutan menggunakan program analisis komputer. Uji ini dilakukan pada tahap desain produk.

4. Uji prototipe awal

Pengujian ini dilakukan setelah desain produk diwujudkan menjadi prototipe fungsional atau prototipe profesional. Pengujian dilakukan terhadap komponen produk untuk menguji keterpenuhan fungsinya secara sistem (hubungan komponen itu sendiri dengan komponen lain) dan desain (komponen itu sendiri).

5. Uji pra produksi

Pengujian ini dilakukan pada prototipe komersial untuk menguji keterpenuhan fungsi dari komponen, sub rakitan dan rakitan produk.

6. Uji elemen mirip

Uji ini dilakukan pada prototipe komersial yang menggunakan komponen yang memiliki kemiripan (kemiripan bentuk atau kesamaan fungsi) dengan komponen produk lain.

7. Uji prototipe dengan elemen terpasang

Pengujian ini dilakukan pada prototipe komersial yang belum mengalami pengujian apapun sebelumnya dengan menggunakan komponen-komponen sebenarnya.

8. Uji produk dengan elemen terpasang

Pengujian ini dilakukan pada produk jadi (produk yang sudah selesai diproduksi) yang belum mengalami pengujian apapun sebelumnya. Pengujian yang dilakukan biasanya berupa uji beban dengan meletakkan sejumlah beban yang ekstrim diatas produk.

9. Uji dengan perkiraan

Pengujian berupa perkiraan yang tidak berdasar.

10. Tanpa uji deteksi

Produk langsung diproduksi tanpa uji deteksi sama sekali.

Prototipe dapat dibagi ke dalam tiga jenis prototipe, yaitu:

1. Prototipe fungsional

Pada prototipe ini desain diwujudkan dalam bentuk yang belum lengkap secara keseluruhan menggunakan proses manufaktur sebenarnya, di mana aspek yang dievaluasi hanya dari sisi fungsi.

2. Prototipe profesional

Selain menitikberatkan pada fungsi, prototipe juga menitikberatkan pada bentuk sebenarnya

secara keseluruhan dari produk yang dikembangkan meskipun belum menggunakan proses manufaktur secara penuh.

### 3. Prototipe komersial

Pada prototipe jenis ini sudah memiliki kelengkapan bentuk dan sudah dibuat dengan proses manufaktur sesuai yang telah direncanakan. Dalam pelaksanaannya, pembuatan prototipe produk tidak harus selalu meliputi 3 jenis prototipe tersebut karena tetap harus mempertimbangkan jenis dan fungsi produk yang akan dibuat. Apabila produk yang dibuat memiliki fungsi yang sederhana, biasanya desain langsung diwujudkan dalam prototipe komersial. Jenis prototipe yang paling jarang dibuat adalah prototipe profesional.

Pada tiap-tiap jenis prototipe dilakukan dua jenis pengujian, yaitu:

#### 1. Verifikasi desain

Meninjau desain melalui transformasi desain ke dalam bentuk prototipe fungsional, profesional dan komersial yang selanjutnya prototipe tersebut dievaluasi kesesuaiannya terhadap persyaratan fungsi, persyaratan estetika, ergonomik, manufaktur dan aspek komersialnya.

#### 2. Validasi desain

Desain yang dilakukan validasi dilihat dari sisi kesesuaiannya terhadap persyaratan-persyaratan produksi dan mutu produk di jalur produksi untuk kepentingan produksi perdana yang berhubungan dengan QECP (*Quality Confirmation for the first product*).

f. Menghitung *Risk Priority Number* (RPN)

RPN adalah hasil kali nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$RPN = Sev \times Occ \times Det \quad (3.1)$$

Dengan:

Sev = Rangka *severity* atau tingkat keparahan efek kegagalan

Occ = Rangka *occurrence* atau tingkat kemungkinan munculnya penyebab kegagalan

Det = Rangka *detection* atau tingkat deteksi metode pengendalian yang digunakan saat ini

Rangka dan RPN hanya digunakan untuk mengurutkan dan melihat tingkatan nilai pada hasil identifikasi terhadap kelemahan yang potensial sehingga dapat dipertimbangkan tindakan-tindakan rekomendasi yang mungkin diambil untuk mengurangi kelemahan tersebut sehingga akan diperoleh proses yang lebih handal dan dapat meminimalisasi kegagalan yang akan terjadi. Urutan tertinggi dari nilai RPN dengan batasan tertentu sesuai hasil *brainstorming* dengan pihak perusahaan akan diberikan tindakan rekomendasi pencegahan.

g. Menganalisis hasil dan memberi rekomendasi tindakan yang perlu diambil

Tindakan diambil untuk mengurangi rangka *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Tujuannya adalah untuk menghilangkan kelemahan yang ada pada desain sistem yang dengan demikian akan menghilangkan moda kegagalan sistem. Tindakan

rekomendasi perbaikan perlu dipertimbangkan pada kondisi sebagai berikut:

1. Moda kegagalan dengan efek/dampak yang memiliki rangking *severity* yang tertinggi.
2. Moda kegagalan dengan penyebab kegagalan yang memiliki rangking *occurrence* tertinggi.
3. Moda kegagalan yang memiliki nilai RPN tertinggi.

Tindakan rekomendasi perbaikan yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut :

1. Modifikasi desain subsistem untuk menghilangkan moda kegagalan atau mengurangi tingkat kejadiannya.
2. Menambahkan subsistem tambahan yang dapat beroperasi untuk melanjutkan operasi dari subsistem yang mengalami kegagalan.
3. Menambahkan alat deteksi pada peralatan untuk memberikan peringatan kepada *customer* untuk mengambil tindakan dalam rangka mencegah terjadinya kegagalan atau mengurangi tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan.

### **3.2.7. FMEA desain**

FMEA desain merupakan suatu metode atau analisis dalam mengidentifikasi moda kegagalan potensial dan kemudian memberikan tindakan penanganan atau perbaikan sebelum produksi pertama berlangsung. Produksi pertama berlangsung berarti bahwa perusahaan menghasilkan produk atau jasa dengan tujuan untuk memperoleh bayaran dari *customer*.

FMEA desain biasanya diselesaikan melalui serangkaian tahapan yang meliputi komponen,

subsistem/subrakitan dan atau sistem/perakitan. FMEA desain merupakan proses yang evolusioner yang melibatkan penerapan dari berbagai teknologi dan metode untuk menghasilkan *output* desain yang efektif yang akan digunakan sebagai *input* untuk FMEA proses/perakitan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.

Prosedur implementasi dari FMEA desain dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Identifikasi fungsi

Identifikasi fungsi pada FMEA desain dilakukan terhadap komponen dan sub rakitan produk. Cara penentuan fungsi menggunakan deskripsi dua kata yang terdiri atas kata kerja dan kata benda dan sedapat mungkin kata benda terukur. Sebisa mungkin menghindari penggunaan kata kerja umum seperti menyediakan, memfasilitasi, dan sebagainya untuk menggambarkan persyaratan fungsional.

Contoh fungsi dari *part*/komponen antara lain: mendukung transmisi, mengatur arus, mengendalikan aliran dan sebagainya.

b. Identifikasi potensi moda kegagalan desain

Moda kegagalan potensial pada desain adalah bagaimana suatu *part*/komponen mengalami kegagalan untuk memenuhi fungsi yang diinginkan. Untuk membantu mengidentifikasi moda kegagalan potensial pada desain dapat dilakukan dengan *brainstorming* dengan menggunakan pertanyaan antara lain :

1. Dengan cara apa komponen/*part* dapat mengalami kegagalan dalam melaksanakan fungsi yang diinginkan?

2. Jika fungsi komponen/*part* telah diuji coba, bagaimana moda kegagalan *part* dapat dideteksi?
3. Bagaimana nantinya komponen/*part* beroperasi?
4. Dengan kondisi seperti apa nantinya komponen/*part* akan beroperasi?
5. Bagaimana nantinya komponen/*part* berinteraksi dengan komponen/*part* lainnya?

Contoh dari moda kegagalan desain antara lain: retak, berubah bentuk, bocor, teroksidasi, rusak, pecah, dan sebagainya.

- c. Identifikasi potensi efek kegagalan dan rangking *severity*

Efek kegagalan desain merupakan akibat dari moda kegagalan desain dalam hal dampaknya pada perakitan berikutnya, sistem, peralatan, *customer*, dan peraturan pemerintah. Untuk mengidentifikasi efek moda kegagalan desain maka memerlukan informasi data layanan dan dokumen yang serupa yang ada di perusahaan maupun data-data yang berhubungan lainnya seperti data komplain *customer*, dokumen jaminan (*warranty*), data realibilitas, dan studi kelayakan.

Rangking *severity* adalah rangking yang berhubungan dengan tingkat keparahan efek yang ditimbulkan oleh moda kegagalan desain. Rangking *severity* FMEA desain sama dengan rangking *severity* pada FMEA sistem yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

- d. Menentukan potensi penyebab kegagalan desain dan rangking *occurrence*

Penyebab moda kegagalan potensial pada desain adalah kelemahan dari desain yang dihasilkan. Contoh dari penyebab moda kegagalan potensial desain antara

lain : kesalahan spesifikasi material, mengalami pembebanan berlebihan, kesalahan spesifikasi toleransi, pemanasan yang berlebihan, kesalahan spesifikasi friksi material, kesalahan instruksi perawatan dan sebagainya.

*Occurrence* merupakan kemungkinan dari penyebab moda kegagalan desain akan terjadi. Rangkings *occurrence* pada FMEA desain sama dengan rangking *occurrence* pada FMEA sistem yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

e. Menentukan metode deteksi dan rangking *detection*

Rangkings *detection* merupakan rangking yang berhubungan dengan kemungkinan metode deteksi akan mendeteksi penyebab moda kegagalan potensial pada desain sebelum dirilis untuk diproduksi atau kemampuan metode pengendalian untuk mendeteksi moda kegagalan desain. Rangkings *detection* tergantung pada metode pengendalian yang digunakan saat ini. Rangkings *detection* FMEA desain sama dengan rangking *detection* pada FMEA sistem yang dapat dilihat pada Tabel 3.3.

f. Menghitung *Risk Priority Number* (RPN)

Perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada FMEA desain sama dengan perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada FMEA sistem yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya.

g. Menganalisis hasil dan memberi rekomendasi tindakan yang perlu diambil

Tindakan diambil untuk mengurangi rangking *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Tujuannya adalah untuk menghilangkan kelemahan yang ada pada

desain yang dengan demikian akan menghilangkan moda kegagalan desain. Tindakan rekomendasi perbaikan perlu dipertimbangkan pada kondisi sebagai berikut:

1. Efek kegagalan yang memiliki rangking *severity* 9 atau 10.
2. Hasil kali rangking *severity* dan *occurrence* dari suatu moda kegagalan atau penyebab moda kegagalan tinggi (berdasarkan konsensus tim).
3. Kombinasi moda kegagalan-penyebab kegagalan, moda kegagalan-metode pengendalian memiliki RPN yang tinggi (berdasarkan konsensus tim).

Dalam rangka untuk mengurangi rangking *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang sangat tinggi tersebut, dapat dipertimbangkan tindakan-tindakan rekomendasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.4.

---

Tabel 3.4. Rekomendasi tindakan yang dapat diambil untuk FMEA desain (Unit *Engineering* PT MAK, 2004)

<b>Untuk mengurangi:</b>	<b>Tindakan yang dapat dipertimbangkan:</b>	<b>Tujuan:</b>
<i>Severity</i>	Mengubah desain (contohnya: ukuran atau material)	Untuk menghilangkan mode kegagalan
<i>Occurrence</i>	Mengubah desain (ukuran, material, memperbaiki spesifikasi teknis)	Untuk mencegah penyebab kegagalan atau mengurangi tingkat kejadian
<i>Detection</i>	Menambah atau mengembangkan metode pengendalian	Meningkatkan kemampuan untuk mendeteksi mode

---

Tabel 3.4. Lanjutan

Untuk mengurangi:	Tindakan yang dapat dipertimbangkan:	Tujuan:
<i>Detection</i>	(melaksanakan evaluasi desain pada tahap awal, meningkatkan jumlah sampel, menambah peralatan deteksi)	kegagalan atau mendeteksi penyebab kegagalan sebelum kegagalan terjadi

#### 3.2.8. FMEA proses

FMEA proses merupakan suatu metode atau analisis dalam mengidentifikasi moda kegagalan potensial dan kemudian memberikan tindakan penanganan atau perbaikan sebelum produksi pertama berlangsung. Produksi pertama berlangsung berarti bahwa perusahaan menghasilkan produk atau jasa dengan tujuan untuk memperoleh bayaran dari *customer*.

FMEA proses biasanya diselesaikan melalui serangkaian tahapan yang meliputi tenaga kerja, mesin, metode, material, pengukuran, dan pertimbangan lingkungan. FMEA proses merupakan proses yang evolusioner yang melibatkan penerapan dari berbagai teknologi dan metode untuk menghasilkan *output* proses yang efektif. Hasil yang diperoleh adalah produk yang bebas cacat atau informasi yang dapat digunakan sebagai *input* untuk FMEA *part*.

Prosedur implementasi dari FMEA proses dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Identifikasi fungsi dan deskripsi proses

Dalam identifikasi fungsi dan deskripsi proses pada FMEA proses dapat dilakukan dengan membuat diagram alir dari proses yang berkaitan. Pada diagram alir proses akan mengidentifikasi secara berurutan aliran dari operasi antara pekerja dan interaksi antara pekerja dengan peralatan yang digunakan.

Cara penentuan dari fungsi dan deskripsi proses yang efektif adalah menggunakan pernyataan yang singkat, jelas dan mudah dipahami dengan menggunakan kata kerja dan kata benda. Contoh : melubangi komponen A, las komponen A pada komponen B, pasang komponen X pada komponen Y, dan lain sebagainya.

b. Identifikasi potensi moda kegagalan proses

Moda kegagalan potensial pada proses merupakan alasan yang menyebabkan komponen ditolak (*rejected*). Komponen dapat ditolak karena karakteristik dari komponen tidak berada dalam spesifikasi teknis. Karakteristik komponen merupakan fitur dari komponen seperti dimensi, ukuran, bentuk, lokasi, orientasi, tekstur, kekerasan, tegangan tarik, dan lain sebagainya. Sebagai contoh, karakteristik komponen dapat tertuju pada dimensi yang ada pada gambar teknik, atau kebutuhan kekerasan yang ada pada spesifikasi teknis.

Contoh mode kegagalan potensial pada proses antara lain : perubahan bentuk, retak, korosi, bocor, melengkung, permukaan terlalu kasar,

permukaan terlalu halus, lubang *undersized*, lubang *oversized*, posisi lubang tidak tepat, dan lain sebagainya.

c. Identifikasi potensi efek kegagalan dan rangking *severity*

Efek kegagalan proses merupakan akibat dari moda kegagalan proses dalam hal dampaknya pada operasi berikutnya, sistem, kinerja peralatan, *customer*, mesin, operator dan peraturan pemerintah. Untuk mengidentifikasi efek moda kegagalan proses maka memerlukan informasi data layanan dan dokumen yang serupa yang ada di perusahaan maupun data-data yang berhubungan lainnya seperti data komplain *customer*, dokumen jaminan (*warranty*), data realibilitas, dan studi kelayakan.

Rangking *severity* adalah rangking yang berhubungan dengan tingkat keparahan efek yang ditimbulkan oleh moda kegagalan proses. Rangking *severity* pada FMEA proses terdiri dari 2 jenis, yaitu rangking *severity* jika dilihat efek/dampaknya pada *customer* dan rangking *severity* jika dilihat efek/dampaknya pada proses manufaktur/perakitan. Rangking *severity* jika dilihat efek/dampaknya pada *customer* sama dengan rangking *severity* pada FMEA sistem dan desain yang dapat dilihat pada Tabel 3.1, sedangkan rangking *severity* jika dilihat efek/dampaknya pada proses manufaktur/perakitan dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Rangking severity (efek pada proses manufaktur/perakitan) (McDermott dkk, 2009)

<b>Efek</b>	<b>Kriteria</b>	<b>Rangking</b>
Berbahaya tanpa ada peringatan	Dapat membahayakan operator (mesin atau perakitan) tanpa adanya peringatan	10
Berbahaya dengan peringatan	Dapat membahayakan operator (mesin atau perakitan) dengan peringatan	9
Gangguan bersifat mayor	Seluruh (100%) komponen yang dihasilkan tidak dapat digunakan ( <i>scrap</i> )	8
Gangguan yang signifikan	Sebagian (< 100%) komponen yang dihasilkan tidak dapat digunakan ( <i>scrap</i> )	7
Gangguan bersifat sedang	Seluruh (100%) komponen yang dihasilkan perlu dilakukan pengerjaan ulang secara <i>off-line</i> dan diterima ( <i>rework</i> )	6
	Sebagian (< 100 %) komponen yang dihasilkan perlu dilakukan pengerjaan ulang secara <i>off-line</i> dan diterima ( <i>rework</i> )	5
Gangguan bersifat sedang	Seluruh (100%) komponen yang dihasilkan perlu dilakukan pengerjaan ulang <i>in-station</i> sebelum menuju proses selanjutnya	4
	Sebagian (< 100 %) komponen yang dihasilkan perlu dilakukan pengerjaan ulang <i>in-station</i> sebelum menuju proses selanjutnya	3
Gangguan bersifat minor	Efek yang kecil pada proses, operasi atau operator	2
Tidak ada	Tanpa efek	1

- d. Menentukan potensi penyebab kegagalan proses dan rangking *occurrence*

Penyebab moda kegagalan potensial pada proses adalah kelemahan dari proses manufaktur/perakitan yang menyebabkan timbulnya moda kegagalan proses. Contoh dari penyebab moda kegagalan proses antara lain : kesalahan pengelasan (arus, waktu, tekanan), ketidaktepatan pengukuran, kesalahan perlakuan panas (waktu, temperatur), kesalahan penempatan komponen, *tool* yang rusak, kesalahan *setup* mesin, kesalahan pemrograman, dan lain sebagainya.

*Occurrence* merupakan kemungkinan dari penyebab moda kegagalan proses akan terjadi. Rangking *occurrence* pada FMEA proses dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Rangking *occurrence* untuk FMEA proses (Automotive Industry Action Group, 2001)

<b>Kemungkinan Kegagalan</b>	<b>Tingkat Kegagalan</b>	<b>Rangking</b>
Sangat tinggi : kegagalan terus menerus terjadi	$\geq 100$ dari 1000 satuan	10
	50 dari 1000 satuan	9
Tinggi : kegagalan sering terjadi	20 dari 1000 satuan	8
	10 dari 1000 satuan	7
Manengah : kegagalan kadang-kadang terjadi	5 dari 1000 satuan	6
	2 dari 1000 satuan	5
	1 dari 1000 satuan	4
Rendah : kegagalan sedikit terjadi	0,5 dari 1000 satuan	3
	0,1 dari 1000 satuan	2
Hampir tidak ada kegagalan terjadi	$\leq 0,01$ dari 1000 satuan	1

e. Menentukan metode deteksi dan rangking deteksi

Rangking *detection* merupakan rangking yang berhubungan dengan kemungkinan metode deteksi akan mendeteksi penyebab moda kegagalan sebelum komponen meninggalkan rantai produksi/manufaktur. Rangking *detection* tergantung pada metode pengendalian yang digunakan saat ini. Rangking *detection* untuk FMEA proses dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Rangking *detection* untuk FMEA proses  
(Automotive Industry Action Group, 2001)

Deteksi	Tipe Inspeksi			Kriteria	Rangking
	A	B	C		
Hampir Tidak Mungkin			X	Tidak dapat mendeteksi.	10
Sangat kecil			X	Kontrol deteksi dilakukan hanya dengan pemeriksaan secara random.	9
Kecil			X	Kontrol deteksi dilakukan hanya dengan pemeriksaan secara visual.	8
Sangat rendah			X	Kontrol deteksi dilakukan dengan pemeriksaan ganda secara visual.	7
Rendah		X	X	Kontrol deteksi dilakukan dengan metode SPC ( <i>Statistical Process Control</i> ).	6
Sedang		X		Kontrol deteksi berdasarkan pengukuran setelah komponen meninggalkan stasiun ( <i>variable gauging</i> ), atau <i>Go/No Go gauging</i> dilakukan pada 100% dari komponen setelah komponen meninggalkan stasiun.	5
Cukup tinggi	X	X		<i>Error detection</i> pada operasi berikutnya, atau pengukuran saat <i>setup</i> dan pemeriksaan pada komponen pertama yang dihasilkan ( <i>first-piece-</i>	4

Tabel 3.7. Lanjutan

Deteksi	Tipe Inspeksi			Kriteria	Rangking
	A	B	C		
				<i>check</i> ).	
Tinggi	X	X		<i>Error detection in station, atau error detection pada operasi berikutnya dengan tipe penerimaan (acceptance) yang berlapis : supply, select, install, verify. Tidak dapat menerima komponen yang tidak sesuai.</i>	3
Sangat Tinggi	X	X		<i>Error detection in station (automatic gauging dengan fitur pemberhentian secara otomatis). Tidak dapat melewati komponen yang tidak sesuai.</i>	2
Hampir pasti	X			Komponen yang tidak sesuai tidak dapat dihasilkan.	1

Tipe Inspeksi :  
 A : *Error-proofed*  
 B : *Gauging*  
 C : Inspeksi manual

f. Menghitung *Risk Priority Number* (RPN)

Perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada FMEA proses sama dengan perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada FMEA desain dan FMEA sistem yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya.

g. Menganalisis hasil dan memberi rekomendasi tindakan yang perlu diambil

Tindakan diambil untuk mengurangi rangking *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Tujuannya adalah untuk menghilangkan kelemahan yang ada pada proses yang dengan demikian akan menghilangkan moda kegagalan proses. Tindakan rekomendasi perbaikan perlu dipertimbangkan pada kondisi sebagai berikut:

1. Efek kegagalan yang memiliki rangking *severity* 9 atau 10.
2. Hasil kali rangking *severity* dan *occurrence* dari suatu moda kegagalan atau penyebab moda kegagalan tinggi (berdasarkan konsensus tim).
3. Kombinasi moda kegagalan-penyebab kegagalan, moda kegagalan-metode pengendalian yang digunakan saat ini memiliki RPN yang tinggi (berdasarkan konsensus tim).

Dalam rangka untuk mengurangi rangking *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang sangat tinggi tersebut, dapat dipertimbangkan tindakan rekomendasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.8.

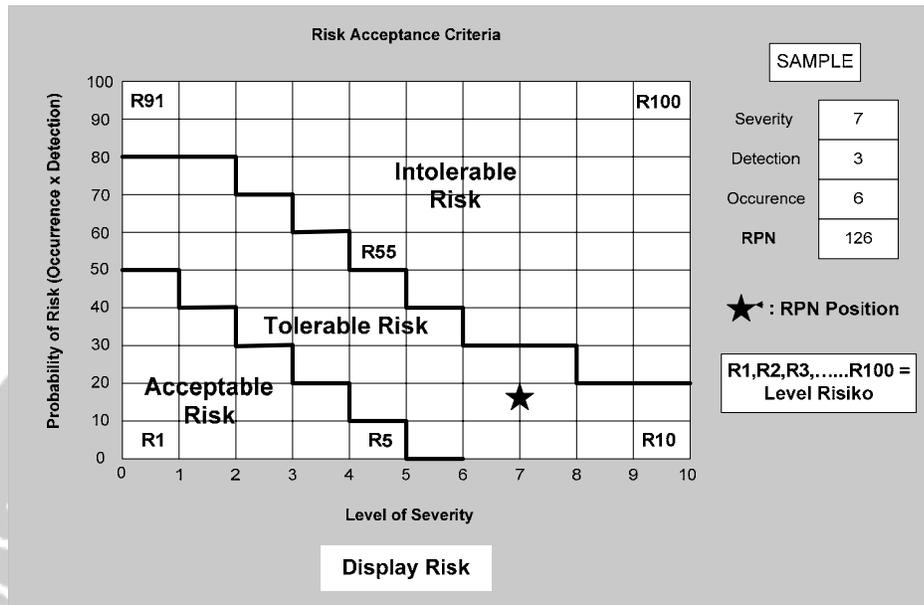
Tabel 3.8. Rekomendasi tindakan yang dapat diambil untuk FMEA proses (Unit *Engineering PT MAK*, 2004)

<b>Untuk mengurangi:</b>	<b>Tindakan yang dapat dipertimbangkan:</b>	<b>Tujuan:</b>
<i>Severity</i>	Mengubah desain (contohnya: ukuran atau material)	Untuk menghilangkan mode kegagalan
<i>Occurrence</i>	Mengubah desain atau proses	Untuk mencegah penyebab kegagalan atau mengurangi tingkat kejadian
<i>Detection</i>	Menambah atau mengembangkan metode pengendalian (melaksanakan uji coba yang lebih baik, menambah peralatan deteksi)	Meningkatkan kemampuan untuk mendeteksi mode kegagalan atau mendeteksi penyebab kegagalan sebelum kegagalan terjadi

### 3.3. Evaluasi Risiko dengan ISO 14971

Dalam mengevaluasi risiko untuk memutuskan aman tidaknya peralatan kesehatan yang dihasilkan, PT. MAK menggunakan kriteria penerimaan risiko (*risk acceptance criteria*) berdasarkan ISO 14971. Evaluasi risiko dengan ISO 14971 dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

1. Mengevaluasi risiko berdasarkan nilai RPN dari tiap-tiap moda kegagalan yang diperoleh dari hasil perkalian *severity*, *occurrence*, dan *detection* pada kriteria penerimaan risiko berdasarkan ISO 14971.
2. Menetapkan derajat toleransi untuk tiap-tiap moda kegagalan sesuai dengan kriteria yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Jika dilihat pada gambar, terdapat 3 zona dalam kriteria penerimaan risiko, yaitu :
  - a. *Intolerable Risk* : risiko bahaya/kegagalan pada saat realisasi terlalu tinggi dan tidak direkomendasi untuk digunakan sebelum diperbaiki.
  - b. *Tolerable Risk* : risiko bahaya/kegagalan masih dalam batasan ditoleransi, tetapi perlu penanganan perbaikan.
  - c. *Acceptable Risk* : risiko bahaya/kegagalan dapat diterima.



Gambar 3.6. Kriteria penerimaan risiko (Unit Engineering PT MAK, 2008)

3. Memutuskan apakah peralatan kesehatan aman atau tidak berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan pada langkah 1 dan 2. Jika peralatan kesehatan diputuskan aman, maka peralatan kesehatan dapat digunakan, sedangkan jika peralatan kesehatan diputuskan tidak aman, maka perlu dilakukan tindakan untuk mengurangi risiko kegagalan tersebut (mengurangi nilai RPN).

### **3.4. Failure Mode and Effects Analysis based on Fuzzy Utility Cost Estimation**

*Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) merupakan suatu *tool* yang digunakan secara luas pada industri otomotif, pesawat terbang, dan elektronik untuk mengidentifikasi, memprioritaskan dan menghilangkan

kegagalan, permasalahan, dan kesalahan potensial dari sistem selama desain sebelum produk dirilis. (Stamatis, 1995).

Dalam FMEA mode kegagalan potensial beserta dampaknya ditentukan dengan cara melakukan *brainstorming* oleh anggota dalam tim. Nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* dari tiap-tiap mode kegagalan ditentukan berdasarkan skala rangking nilai 1-10. Risiko diukur berdasarkan nilai *risk priority number* (RPN) yang merupakan hasil perkalian dari nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Nilai RPN yang tinggi menggambarkan resiko yang tinggi pula. Kelemahan dari FMEA tradisional adalah bahwa ketiga nilai yang digunakan untuk perhitungan nilai RPN merupakan skala variabel yang diurutkan (*ordinal scale*). Dengan begitu perkalian dari ketiga nilai tersebut kurang berarti.

Pada pendekatan *failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation* menggunakan teori utilitas dan fungsi *fuzzy membership* untuk penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Teori utilitas digunakan untuk menjelaskan hubungan nonlinear antara biaya kegagalan dan urutan rangking sedangkan fungsi *fuzzy membership* digunakan untuk mendeskripsikan pendapat atau opini dari tim yang lebih baik. Kemudian *Risk Priority Index* (RPI) dikembangkan untuk memprioritaskan mode kegagalan yang ada.

#### **3.4.1. Biaya kegagalan (*failure cost*) dan teori utilitas (*utility theory*)**

Pada pendekatan FMEA tradisional menggunakan angka yang berurutan (*ordinal scale*) untuk mengurutkan

*severity*, *occurrence*, dan *detection* sehingga menyebabkan metode ini tidak memberikan perkiraan biaya berkaitan dengan kegagalan di mana biaya kegagalan yang memiliki rangking 10 tidak selalu 10 kali dari kegagalan yang memiliki rangking 1. Karena tujuan utama dari FMEA adalah mengurangi biaya berkaitan dengan kegagalan, dengan demikian biaya berkaitan dengan kegagalan tersebut seharusnya menjadi tujuan dalam membuat keputusan. *Expected Cost* (E(C)) berkaitan dengan mode kegagalan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E(C) = C_{fm}P_{fm}(1-P_d) \quad (3.2)$$

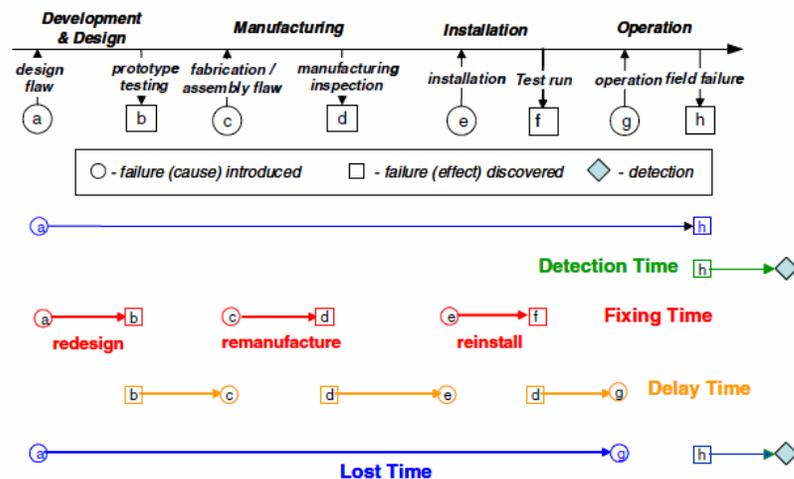
Di mana  $C_{fm}$  merupakan biaya berkaitan dengan mode kegagalan,  $P_{fm}$  merupakan probabilitas dari mode kegagalan tersebut dan  $P_d$  merupakan probabilitas mode kegagalan akan terdeteksi. Dari persamaan di atas menunjukkan bahwa *Expected Cost* (E(C)) berkaitan dengan mode kegagalan akan meningkat ketika memiliki efek yang serius, seringkali terjadi, dan kemungkinan kecil untuk dideteksi.

Booker dkk (2001) mengategorikan biaya kegagalan menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. Biaya kegagalan internal merupakan biaya kegagalan yang muncul sebelum produk sampai ke *customer* meliputi *scrap*, *rework*, dan perubahan desain. Biaya *rework* merupakan biaya perbaikan terhadap cacat yang terjadi pada produk, dan biaya *scrap* merupakan biaya tenaga kerja, material dan *overhead* pabrik pada produk cacat yang tidak dapat diperbaiki.
- b. Biaya kegagalan eksternal merupakan biaya kegagalan yang muncul setelah produk sampai ke *customer*

meliputi klaim jaminan, pembatalan produk, dan pertanggungjawaban berkaitan dengan klaim dari *customer*.

Kegagalan bisa saja terjadi pada saat kapan pun dan dapat dideteksi pada saat yang sama atau pada saat berikutnya. Biaya kegagalan akan rendah jika kegagalan terjadi pada saat yang sama dengan deteksi, dan sebaliknya biaya kegagalan akan tinggi jika kegagalan terjadi pada saat yang berbeda dengan deteksi. Pada Gambar 3.7 menunjukkan empat kemungkinan tahap ketika kegagalan muncul dan empat kemungkinan tahap ketika kegagalan terdeteksi. Empat kemungkinan tahap ketika kegagalan muncul adalah saat desain, manufaktur, instalasi, dan operasi sedangkan empat kemungkinan tahap ketika kegagalan terdeteksi saat *design review*, inspeksi, uji coba/testing dan operasi.



Gambar 3.7. Tahap saat kegagalan muncul dan tahap saat kegagalan terdeteksi (Rhee dan Ishii, 2002)

Biaya *detection* merupakan biaya kegagalan yang timbul akibat dari metode deteksi memiliki kemungkinan untuk tidak mendeteksi moda kegagalan yang terjadi. Biaya *detection* dapat diperoleh dari hasil perkalian antara biaya kegagalan yang timbul jika moda kegagalan tidak terdeteksi dengan probabilitas dari moda kegagalan tidak terdeteksi. Rangkaian kemungkinan metode deteksi tidak dapat mendeteksi moda kegagalan (*non-detection*) dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Rangkaian kemungkinan metode deteksi tidak dapat mendeteksi moda kegagalan

Kemungkinan tidak mendeteksi kegagalan	Skor	Probabilitas tidak terdeteksi (%)
Sangat rendah	1	0 - 5
Rendah	2	6 - 15
	3	16 - 25
Sedang	4	26 - 35
	5	36 - 45
	6	46 - 55
Tinggi	7	56 - 65
	8	66 - 75
Sangat tinggi	9	76 - 85
	10	86 - 100

Karena *severity*, *occurrence*, dan *detection* dari mode kegagalan menentukan biaya kegagalan, ketiga nilai tersebut dapat disebut dengan *cost drivers* dalam teori utilitas (*utility theory*). Teori utilitas merupakan suatu usaha untuk mengambil keputusan pada nilai yang bersifat subjektif, atau utilitas, dari berbagai pilihan. Teori utilitas dapat digunakan baik dalam pengambilan keputusan pada kondisi risiko

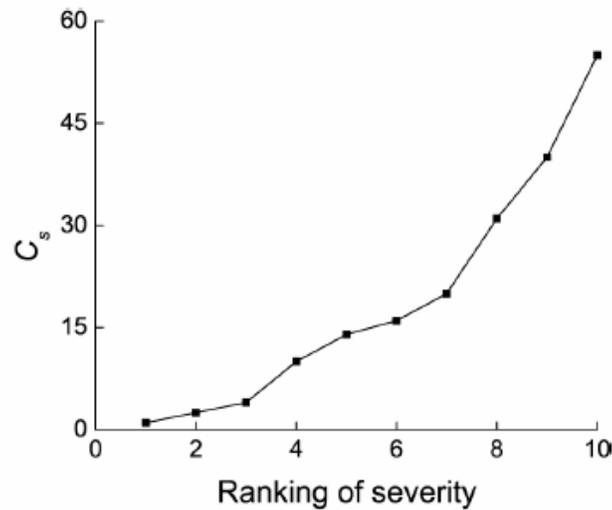
(probabililitas diketahui) maupun dalam pengambilan keputusan pada kondisi ketidakpastian (probalilitas tidak diketahui) (Chensong Dong, 2007), di mana tiap-tiap *cost driver* dirangking dari 1 sampai dengan 10. Nilai utilitas ditentukan untuk tiap-tiap rangking dari *cost driver* untuk melihat pengaruhnya pada *expected failure cost*. Semakin tinggi rangkingnya, semakin besar pula nilai utilitas.

Menetapkan nilai utilitas pada rangking yang ada terdiri dari 2 langkah proses. Yang pertama, nilai biaya untuk masing-masing *cost driver* ditentukan. Nilai tersebut ditentukan oleh *engineer* berdasarkan hasil analisis dan pengalaman. Nilai rangking yang paling rendah selalu sama dengan 1. Nilai biaya untuk rangking yang lain ditentukan berdasarkan besarnya biaya dibandingkan dengan rangking yang paling rendah. Nilai biaya untuk rangking  $i$  disimbolkan dengan  $C_i$ ,  $i = 1...10$ . Kedua, nilai biaya dikonversi menjadi nilai utilitas dengan cara membagi nilai biaya dengan nilai biaya yang berada pada rangking yang paling tinggi untuk tiap-tiap *cost driver*. Setelah konversi ini, nilai utilitas berada antara 0 dan 1.

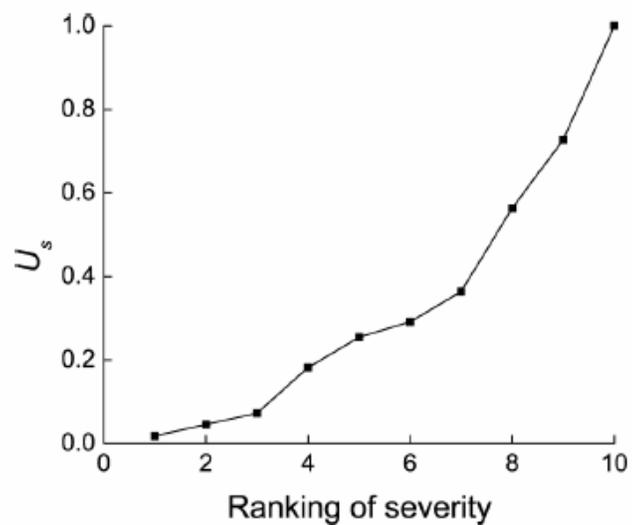
$$U_i = C_i / C_{10} \quad (3.3)$$

Sebagai contoh, nilai biaya yang ditentukan untuk tiap-tiap rangking *severity* ditunjukkan pada Gambar 3.8, yang mana menggambarkan hubungan *nonlinear* antara biaya berkaitan dengan kegagalan dan rangking dari *severity*. Berdasarkan pada nilai biaya, nilai utilitas diperoleh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.

Nilai biaya dan utilitas untuk *detection* dapat diperoleh dengan cara yang sama dengan *severity*.



Gambar 3.8. Biaya *severity* vs ranking *severity*  
(Chensong Dong, 2007)



Gambar 3.9. Nilai utilitas vs ranking *severity*  
(Chensong Dong, 2007)

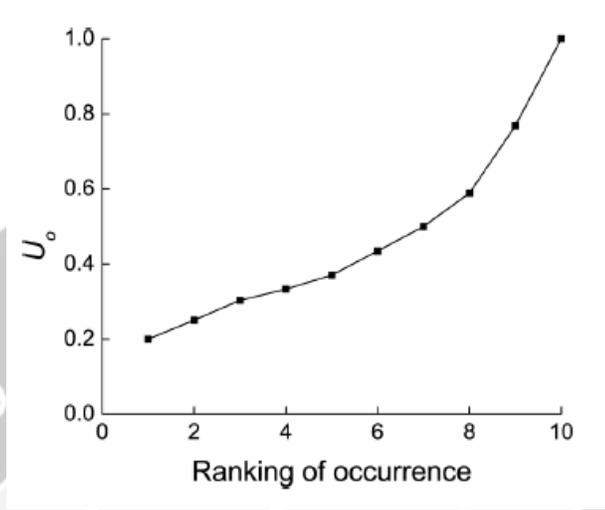
Evaluasi untuk *occurrence* berbeda dengan *severity* dan *detection*. Karena probabilitas dari kegagalan diberikan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.6, nilai probabilitas tersebut dikonversikan ke nilai utilitas dengan persamaan sebagai berikut :

$$U_o = -1/\log P_o \quad (3.4)$$

Di mana  $P_o$  merupakan probabilitas dari mode kegagalan yang terjadi. Setelah dikonversi, nilai utilitas untuk *occurrence* berada antara 0 dan 1. Evaluasi nilai utilitas untuk rangking *occurrence* dapat dilihat pada Tabel 3.10 dan grafik nilai utilitas vs rangking dari *occurrence* ditunjukkan pada Gambar 3.10.

Tabel 3.10. Evaluasi nilai utilitas untuk rangking *occurrence*

Kemungkinan Kegagalan	Rangking	Tingkat kemungkinan kegagalan per ribuan unit	Tingkat kemungkinan kegagalan per satuan unit ( $P_o$ )	Log $P_o$	Nilai Utilitas ( $U_o$ )
Sangat Rendah	1	0,01	0,00001	-5,000	0,200
	2	0,1	0,0001	-4,000	0,250
Rendah	3	0,5	0,0005	-3,301	0,303
	4	1	0,001	-3,000	0,333
Sedang	5	2	0,002	-2,699	0,371
	6	5	0,005	-2,301	0,435
	7	10	0,01	-2,000	0,500
Tinggi	8	20	0,02	-1,699	0,589
	9	50	0,05	-1,301	0,769
Sangat Tinggi	10	100	0,1	-1,000	1,000



Gambar 3.10. Nilai utilitas vs ranking *occurrence*  
(Chensong Dong, 2007)

Setelah nilai utilitas untuk *severity*, *occurrence*, dan *detection* diperoleh, nilai *Risk Priority Index* (RPI) ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$RPI = (U_{sns} U_{ono} U_{dnd})^{1/3} \quad (3.5)$$

Di mana  $n_s$ ,  $n_o$ , dan  $n_d$  merupakan level dari *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Akar 1/3 digunakan untuk memastikan bahwa nilai RPI berada pada skala yang sama dengan nilai utilitas. Sebagai contoh jika nilai  $U_{sns} = U_{ono} = U_{dnd} = 0.01$ ,  $RPI = 0.01$ . Nilai RPI berkisar antara 0 sampai dengan 1.

### 3.4.2. Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility theory

FMEA pada dasarnya merupakan usaha tim di mana beberapa *engineer* ikut dilibatkan. Selama tahap awal pengembangan produk, dampak dari mode kegagalan

potensial sangat tidak jelas. Dengan begitu, pendapat yang berbeda akan muncul saat melakukan perangkingan. Oleh karena itu, untuk menghitung perbedaan tersebut *Fuzzy Utility Theory* (FUT) digunakan.

Dalam FUT, nilai utilitas dirumuskan sebagai *membership functions instead of real Numbers* (Ting dkk, 1999). Penggunaan FUT dalam FMEA adalah untuk menghitung opini/pendapat dari engineer yang berbeda-beda dalam penentuan nilai *severity, occurrence, dan detection* dari mode kegagalan. Mengingat *severity* diurutkan dari 1 sampai dengan 10, nilai biaya untuk rangking  $i$  yang diberikan oleh *engineer*  $j$  ditunjukkan sebagai  $C_{sij}$ ,  $i = 1 \dots 10$ ,  $j = 1 \dots n$ , di mana  $n$  merupakan jumlah *engineer*.

$$U_{sij} = C_{sij}/C_{s10j} \quad (3.6)$$

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan *triangular membership functions*, di mana nilai utilitas minimum dan maksimum yang diberikan oleh *engineer* membentuk dua titik bawah, dan nilai rata-rata utilitas membentuk titik atas.

$$U_L = \min(U_j)$$

$$U_M = \sum_{j=1}^n U_j/n \quad (3.7)$$

$$U_U = \max(U_j)$$

Nilai *membership* untuk nilai utilitas  $U_L$  dan  $U_U$  adalah 0 dan nilai *membership* untuk nilai utilitas  $U_M$  adalah 1. Hal ini berdasarkan pada asumsi bahwa di antara nilai utilitas yang diberikan oleh *engineer*,

rata-rata dari nilai tersebut lebih mencerminkan biaya kegagalan yang sebenarnya dibandingkan dengan nilai minimum maupun nilai maksimum.

Untuk mode kegagalan yang spesifik, tiap-tiap *engineer* menentukan nilai biaya  $C_{si}$  untuk *severity* dan ranking dari *severity*. Nilai utilitas diperoleh menggunakan persamaan (3.6) dan *membership function* untuk *severity* diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.7). Dengan cara yang sama, *membership function* untuk *occurrence* dan *detection* dapat diperoleh.

Hasil dari nilai RPI adalah *fuzzy* dan dirumuskan dengan *membership function* sebagai berikut :

$$\mu(RPI) = [\mu(U_s) \mu(U_o) \mu(U_d)]^{1/3} \quad (3.8)$$

Di mana :

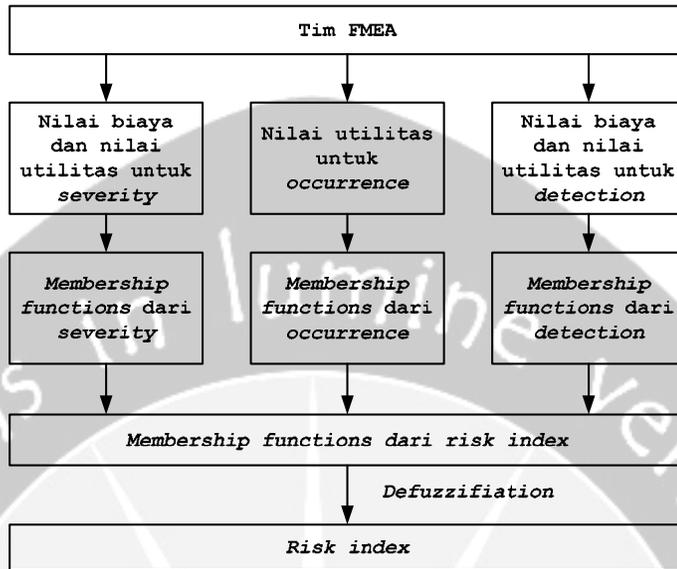
$\mu(RPI)$  : *membership function* dari *Risk Priority Index*.

$\mu(U_s)$  : *membership function* dari nilai utilitas untuk *severity*.

$\mu(U_o)$  : *membership function* dari nilai utilitas untuk *occurrence*.

$\mu(U_d)$  : *membership function* dari nilai utilitas untuk *detection*.

*Membership function* dari RPI membutuhkan proses *defuzzification* untuk memperoleh nilai RPI. Metode *defuzzification* yang umum digunakan adalah metode *Center of Maximum* (COM). Pada metode COM, rata-rata dari nilai utilitas minimum dan nilai utilitas maksimum RPI digunakan sebagai nilai ekspektasi RPI. Proses pada *failure mode and effects analysis based on fuzzy utility theory* ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. *Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility theory* (Chensong Dong, 2007)