

Bab 2

Landasan Teori

2.1 *Failure* (kegagalan)

Suatu perusahaan harus fokus pada perluasan jenis dan sifat produk untuk bersaing dengan perusahaan yang berbeda. Secara keseluruhan, organisasi harus memiliki opsi untuk membatasi kegagalan produk. Produk yang telah gagal dalam siklus pembuatannya dan produk tersebut telah diakui oleh pembeli akan mengurangi kepercayaan dan keuntungan organisasi. Perusahaan harus membidik komponen yang menyebabkan kegagalan ini dan harus dilihat dari sudut pandang yang berbeda, misalnya, bahan, teknik, bahan baku, mesin, atau bahkan individu yang bekerja. Tidak akan pernah ada satu bagian pun yang menyebabkan kegagalan yang sebanding seperti yang terjadi pada kemajuan. Kegagalan produk baru mungkin karena ketidaksanggupan perusahaan untuk secara tepat mengenali dan mengintegrasikan kebutuhan pembeli ke dalam rencana produk. Hal penting kemajuan perusahaan adalah memenuhi kebutuhan kliennya. Bisnis yang dapat mengatasi masalah klien sebenarnya mampu bertahan dalam persaingan industri untuk waktu yang lama [9].

2.1.1 Jenis Kegagalan

Suatu produk menghadirkan risiko yang wajar dan tidak cacat jika [10]:

1. Produk memenuhi harapan pelanggan.
2. Risiko dikurangi semaksimal mungkin dengan fitur desain atau keselamatan.
3. Produk berisi peringatan yang memadai bahwa ada risiko yang terkait dengan produk.
4. Pengguna diberikan informasi yang cukup untuk memutuskan apakah akan menerima risiko atau tidak.
5. Manfaat tidak dapat diperoleh dengan cara yang kurang berisiko.
6. Tidak layak secara ekonomi untuk mengurangi keparahan.
7. Mengevaluasi produk secara keseluruhan, manfaatnya lebih besar daripada risikonya.

Produk dapat didefinisikan sebagai cacat karena:

1. Menyimpang dari kondisi yang diinginkan oleh pabrikan.
2. Tidak aman dikarenakan cacat desain meskipun diproduksi sempurna.
3. Tidak mampu memenuhi klaim kinerja tersirat atau tersurat mereka.
4. Berbahaya karena tidak memiliki peringatan dan instruksi yang memadai.

2.1.1.1 Cacat Desain

Cacat desain adalah cacat yang mempengaruhi seluruh lini produk dan merupakan hasil dari analisis ketimpangan, analisis manfaat biaya dan kebutuhan pelanggan. Cacat desain terjadi ketika suatu produk tidak cukup melindungi dari risiko cedera, gagal menjalankan fungsi yang dimaksudkan dengan aman, tidak cukup melindungi dari bahaya yang seharusnya dijaga, menciptakan efek samping berbahaya yang tidak wajar atau gagal meminimalkan yang dapat dihindari [10].

2.1.1.2 Cacat Manufaktur

Cacat manufaktur ada ketika produk tidak memenuhi spesifikasi pabrikan sendiri ini bisa jadi karena bahan baku atau komponen yang digunakan dalam pembuatan produk mungkin mengandung cacat yang tidak dapat diterima dan ada kesalahan perakitan. Masalah utama dalam kasus cacat manufaktur adalah apakah cacat tersebut memang terjadi kesalahan dalam desain, pembuatan, penggunaan normal atau penyalahgunaan [10].

2.1.1.3 Cacat Layanan

Cacat layanan muncul ketika layanan tidak memenuhi kriteria yang ditentukan dari desain dan pelanggan. FMEA dapat dan memang menyediakan metode untuk analisis masalah yang diketahui dan potensial di semua fase sistem, desain, proses, dan layanan. Dapat diketahui meskipun hukum menjelaskan cacat, dalam pemikiran kualitas modern seseorang harus menggantikan istilah ketidaksesuaian sebagai gantinya [10].

2.2 Risiko

Menurut Arif Lokobal, dkk (2014), dalam artikel jurnal, risiko mengacu pada segala sesuatu yang meningkatkan kemungkinan terjadinya peristiwa yang tidak terduga dalam waktu yang telah ditentukan, umumnya dianggap sebagai sesuatu yang negatif dan mengakibatkan kerugian yang besar atau kecil [11]. Sementara itu, Wati dan Darda (2012) berpendapat bahwa risiko yang berhubungan dengan kerentanan terjadi karena tidak ada informasi tentang apa yang akan terjadi. Risiko juga dapat dianggap sebagai peluang kerugian atau bahaya [12].

2.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), seperti yang diungkapkan oleh Muqimuddin dan Singgih (2020), merupakan metodologi yang sering digunakan oleh banyak ilmuwan, terutama saat mensurvei kegagalan sebagai jalan mengatur risiko. Prosedur atau teknik ini juga dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan kegagalan [13]. Dalam jurnal yang disusun Rachieru, dkk (2015), FMEA merupakan metode paling awal yang terorganisir, sistematis dan proaktif yang digunakan untuk pemeriksaan kegagalan. Ini adalah teknik yang biasanya digunakan untuk mengkarakterisasi, membedakan dan menghilangkan kegagalan, masalah, kesalahan yang diketahui atau diharapkan dari sistem, desain, proses atau layanan sebelum sampai ke klien [14]. Sedangkan dalam jurnal yang disusun Maya dan Julian (2019), FMEA merupakan teknik yang digunakan untuk membedakan dan mencegah mode kegagalan [5]. Dengan demikian, FMEA dapat digambarkan sebagai aktivitas yang direncanakan untuk melihat dan menilai kegagalan yang diharapkan dari suatu barang secara bersamaan dan efeknya, serta membedakan aktivitas yang dapat mengurangi kemungkinan kegagalan. Teknik ini menggabungkan inovasi dan keterlibatan manusia dengan model barang yang berbeda sepanjang waktu dan membuat pengaturan untuk dipisahkan [15].

2.3.1 Waktu Penggunaan FMEA dan Jenis FMEA

Seseorang harus memulai FMEA segera setelah beberapa informasi diketahui oleh praktisi tidak harus menunggu semua informasi jika mereka melakukannya, mereka tidak akan pernah melakukan FMEA karena mereka tidak akan pernah memiliki

semua data atau informasi. Tentu saja dengan informasi pendahuluan beberapa kendala sistem atau definisi desain dapat berkembang dan secara khusus program FMEA dapat dimulai sebagai berikut [10]:

1. Ketika sistem, desain, produk, proses atau layanan baru dirancang.
2. Ketika sistem, desain, produk, proses atau layanan yang ada akan berubah tanpa alasan.
3. Ketika aplikasi baru ditemukan untuk kondisi sistem, desain, produk, proses, atau layanan yang ada.
4. Ketika peningkatan dipertimbangkan untuk sistem, desain, produk, proses layanan yang ada.

Secara khusus, FMEA sistem dapat dianggap selesai ketika semua perangkat keras telah ditentukan dan desain dinyatakan selesai. Desain FMEA dapat dianggap selesai ketika tanggal rilis untuk produksi telah ditetapkan. Proses FMEA dapat dianggap selesai ketika semua operasi telah diidentifikasi dan dievaluasi serta semua karakteristik kritis dan signifikan telah ditangani dalam rencana pengendalian. FMEA layanan dapat dianggap selesai ketika desain sistem dan tugas individu telah ditentukan dan dievaluasi serta semua karakteristik kritis dan signifikan telah ditangani dalam rencana pengendalian. Penting untuk diperhatikan hal-hal berikut, meskipun FMEA yang sudah jadi atau sudah selesai ditentukan berdasarkan keadaan pada titik mana pun FMEA dapat dibuka untuk peninjauan, evaluasi, peningkatan dalam sistem, desain, produk, proses serta layanan FMEA.

FMEA adalah fungsi tim dan tidak dapat dilakukan secara individual, tim harus didefinisikan sesuai untuk proyek tertentu dan tidak dapat berfungsi sebagai tim FMEA universal atau perusahaan. Pengetahuan yang diperlukan untuk masalah khusus adalah unik untuk masalah tersebut. Oleh karena itu, susunan tim harus bersifat lintas fungsi dan multidisiplin untuk setiap FMEA. Dalam keadaan apa pun FMEA tidak boleh dilakukan dengan satu individu (dengan kata lain, insinyur desain atau proses). Seseorang dapat mengisi formulir FMEA dengan benar, tetapi akan ada bias bawaan berdasarkan perspektif tunggal dari individu yang melakukan penilaian FMEA tersebut.

FMEA mempunyai beberapa jenis yang dapat dilihat sebagai berikut [10]:

1. FMEA Sistem

FMEA sistem terkadang disebut juga FMEA konsep biasanya dicapai melalui serangkaian langkah untuk memasukkan desain konseptual, desain detail dan pengembangan, serta pengujian dan evaluasi. Konfigurasi pada tahap ini merupakan siklus panjang yang mencakup pemanfaatan berbagai kemajuan dan strategi untuk menciptakan hasil kerangka kerja yang layak. Hasil ini akan digunakan sebagai masukan untuk desain FMEA yang selanjutnya menjadi masukan untuk proses/perakitan, layanan dan mesin FMEA. Tujuan kerangka FMEA adalah untuk mengkarakterisasi dan menunjukkan keselarasan yang tepat antara variabel fungsional (kecukupan dan produktivitas). Untuk mencapai tujuannya, sistem FMEA harus mendasarkan persyaratannya pada kebutuhan, keinginan dan harapan pelanggan yang kuat. FMEA sistem yang efektif pada dasarnya diwujudkan melalui proses rekayasa sistem, pengembangan produk, penelitian dan pengembangan (R&D) atau kombinasi dari semua entitas ini.

2. FMEA Desain

FMEA desain adalah strategi untuk membedakan potensi dan memberikan tindak lanjut serta perbaikan sebelum penciptaan pertama dijalankan. Proses penciptaan utama dipandang sebagai interaksi yang menghasilkan produk atau layanan untuk klien tertentu yang bertekad untuk mendapatkan kompensasi. Sebuah *item* FMEA biasanya diwujudkan melalui serangkaian langkah menuju penggabungan komponen, subsistem dan kerangka kerja. Untuk menghasilkan keluaran desain yang efisien, desain FMEA merupakan proses panjang yang memerlukan penerapan berbagai teknologi dan pendekatan. Hal ini dapat diwujudkan melalui definisi spesifikasi desain yang termasuk sebagai berikut:

- a) Lingkup desain
- b) Dokumen yang berlaku
 - i) Standar
 - ii) Dokumen keamanan dan garansi

- c) Informasi Umum
 - i) Fungsi produk
 - ii) Memahami siapa pelanggannya
 - iii)Kebutuhan, keinginan dan harapan pelanggan

- d) Persyaratan
 - i) Persyaratan desain
 - ii) Pertimbangan pemeliharaan
 - iii)Tujuan biaya

- e) Jaminan produk
 - i) Persyaratan dokumentasi
 - ii) Persyaratan pengujian dan inspeksi
 - iii)Persyaratan pengemasan dan penanganan

Manfaat FMEA desain adalah:

1. Menetapkan prioritas untuk tindakan perbaikan desain.
2. Mendokumentasikan alasan perubahan.
3. Memberikan informasi untuk membantu melalui verifikasi desain produk

3. FMEA Proses

Proses FMEA adalah teknik untuk membedakan jenis risiko yang potensial atau diketahui dan memberikan aktivitas pengembangan dan pemulihan sebelum penciptaan utama dijalankan. Produksi pertama dianggap menghasilkan produk atau jasa dengan tujuan menghasilkan uang untuk pelanggan tertentu. Produksi (manufaktur) melibatkan pemanfaatan enam komponen: tenaga kerja, mesin, metode, material, pengukuran dan lingkungan. Sasaran dari komponen ini adalah produksi *item* akhir yang memenuhi karakteristik keamanan dan kualitas dari dokumentasi desain. Elemen integral dari dokumentasi proses harus menjadi desain FMEA. Hal ini sangat sulit untuk melakukan proses FMEA menyeluruh tanpa menyelesaikan atau setidaknya beberapa informasi dari desain FMEA. Proses FMEA memiliki tujuan yaitu untuk menjelaskan, mendemonstrasikan

dan meningkatkan evaluasi teknik sebagai respons terhadap kualitas, keandalan dan pemeliharaan yang ditentukan oleh pelanggan.

Manfaat dari proses FMEA adalah:

1. Menetapkan prioritas tindakan korektif.
2. Membantu dalam analisis proses pembuatan atau perakitan.
3. Mendokumentasikan alasan perubahan.

4. FMEA Servis

FMEA servis adalah metode untuk mengenali potensi risiko yang diketahui dan memberikan solusi dan perbaikan tindakan sebelum layanan pertama. Layanan pertama dijalankan meliputi sebagai tindakan layanan yang dilakukan untuk pelanggan tertentu sebagai bagian dari operasi sehari-hari. Layanan FMEA yang efektif pada dasarnya diwujudkan melalui partisipasi aktif layanan pelanggan, pengembangan layanan (produk), penelitian, jaminan kualitas, pemasaran, operasi atau kombinasi dari semua entitas ini.

Manfaat dari layanan FMEA adalah:

1. Menolong dalam menganalisis alur kerja.
2. Menolong dalam menganalisis sistem dan proses.
3. Menentukan kekurangan kerja.

5. FMEA Mesin

FMEA mesin adalah sistematis pendekatan yang menerapkan metode tabular tradisional untuk menolong proses pemikiran oleh tim teknik simultan untuk mengenali jenis kegagalan potensial mesin, efek potensial serta penyebab potensial dari mode kegagalan potensial dan untuk mengembangkan rencana tindakan korektif yang akan menghilangkan atau mengurangi dampak dari mode kegagalan potensial. Tipikal FMEA mesin mengikuti model hierarki yang membagi mesin menjadi subsistem, rakitan dan unit terendah yang dapat diganti sebagai berikut:

- a) Level 1: Level sistem - mesin generik
- b) Level 2: Level subsistem - elektrikal, mekanis dan kontrol
- c) Level 3: Level perakitan - alat, penanganan material dan penggerak

Seperti yang ditunjukkan oleh Wang, et al (2009), kerangka kerja, rencana, siklus atau manajemen biasanya memiliki beberapa mode kegagalan, keadaan dan hasil akhir. Untuk situasi ini, setiap mode kegagalan harus disurvei dan difokuskan sesuai dengan risiko. Dari masing-masing variabel ini memiliki skor untuk menilai risiko keseluruhan dan pengaruhnya, berikut merupakan penilaian faktor kejadian, tingkat keparahan serta deteksi [10]:

1. *Severity* (S) adalah tingkat keparahan dari suatu dampak yang ditimbulkan risiko, dimana untuk mengecilkan tingkat keparahan dilakukan perbaikan.

Tabel 2.1 Severity

Kriteria	Rank	Severity
<i>Remote</i>	1	Efek minor, tidak masuk akal untuk mengharapkan bahwa sifat kecil dari kegagalan ini menyebabkan dampak nyata pada produk.
<i>Low</i>	2-3	Efek rendah, tingkat keparahan komponen rendah, karena sifat kegagalan hanya menyebabkan sedikit gangguan pada produk.
<i>Moderate</i>	4-6	Efek sedang, peringkatnya sedang karena kegagalan menyebabkan kerusakan pada produk. Segera melakukan perbaikan komponen.
<i>High</i>	7-8	Efek tinggi, karena dapat menyebabkan kerusakan pada produk dan proses pembuatan produk berikutnya. Menuntut penghentian mesin untuk melakukan perbaikan.
<i>Very High</i>	9-10	Efek sangat tinggi, karena kegagalan akan mempengaruhi kerusakan pada produk dan komponen

Sumber: Stamatis (2003)

2. *Occurrence* (O) adalah kemungkinan atau probabilitas terjadinya risiko.

Tabel 2.2 Occurrence

Kriteria	Rank	Occurrence
<i>Remote</i>	1	Kemungkinan terjadinya jauh, dalam spesifikasi 1/10.000
<i>Low</i>	2-5	Kemungkinan terjadinya rendah, dalam spesifikasi 1/5000-1/500
<i>Moderate</i>	6-7	Kemungkinan terjadinya sedang, dalam spesifikasi 1/200-1/20
<i>High</i>	8-9	Kemungkinan terjadinya tinggi, dalam spesifikasi 1/100-1/20
<i>Very High</i>	10	Kemungkinan terjadinya sangat tinggi, dalam spesifikasi 1/10

Sumber: Stamatis (2003)

3. *Detection* (D) adalah probabilitas terdeteksinya risiko, peringkat tersebut akan semakin rendah jika semakin meningkat pengendaliannya dan semakin mudah untuk mendeteksi risiko.

Tabel 2.3 Detection

Kriteria	Rank	Detection
<i>Very High</i>	1	Sangat tinggi, pengendalian hampir pasti akan mendeteksi adanya cacat
<i>High</i>	2-5	Tinggi, kontrol memiliki kesempatan baik untuk mendeteksi keberadaan kegagalan
<i>Moderate</i>	6-8	Sedang, kontrol dapat mendeteksi adanya cacat
<i>Low</i>	9	Rendah, kontrol kemungkinan besar tidak akan mendeteksi adanya cacat
<i>Very Low</i>	10	Sangat rendah, kontrol sangat tidak mungkin akan mendeteksi adanya cacat

Sumber: Stamatis (2003)

Didalam FMEA, skor S, O serta D yang masih digunakan oleh pakar didalam menentukan RPN yang digunakan dalam menentukan pemeringkatan. Nilai ditetapkan memakai angka 1-10, untuk mengukur tingkat S, O dan D dan meminta ahli untuk memberikan nilai dari 1 hingga 10 untuk elemen yang berbeda. Selanjutnya, mode kegagalan dibedah melalui FMEA, hasilnya diakumulasikan dan menjadi RPN. Setelah itu, RPN diurutkan dari yang paling besar sampai yang paling kecil. RPN ditentukan dengan memakai persamaan 2.1 [16]:

$$RPN = S \times O \times D \quad [2.1]$$

Setelah mode kegagalan atau dampak diselidiki menggunakan teknik FMEA, penting untuk membuat langkah kebutuhan sama dengan jenis kegagalan yang mempunyai skor RPN lebih tinggi dikarenakan memilih mendahulukan perbaikan dari skor RPN yang lebih kecil [16].

2.3.2 Tahapan Pembuatan FMEA

McDermott berpendapat untuk langkah-langkah dalam membuat FMEA mengikuti beberapa tahapan berikut [7]:

1. Mengidentifikasi potential *failure mode* (mode kegagalan potensial) pada proses.
2. Membuat daftar *potential effect* (akibat potensial) dari masing-masing mode kegagalan.
3. Menentukan peringkat *severity* untuk masing-masing cacat yang terjadi.
4. Menentukan peringkat *occurance* untuk masing-masing mode kegagalan.
5. Menentukan peringkat *detection* untuk masing-masing mode kegagalan dan/atau akibat yang terjadi.
6. Menghitung nilai RPN untuk masing-masing cacat.
7. Membuat prioritas mode kegagalan berdasarkan nilai RPN untuk dilakukan tindakan perbaikan.
8. Melakukan tindakan untuk mengeliminasi atau mengurangi kegagalan yang paling banyak terjadi.
9. Mengkalkulasi hasil RPN sebagai mode kegagalan yang dieliminasi.

2.3.3 Rencana Kontrol

Rencana pengendalian adalah ringkasan tertulis dari tindakan perencanaan mutu produsen untuk proses, produk dan jasa tertentu. Rencana pengendalian mencantumkan semua parameter proses dan karakteristik desain yang dianggap penting untuk kepuasan pelanggan dan yang memerlukan tindakan perencanaan kualitas tertentu. Rencana kontrol menjelaskan tindakan dan reaksi yang diperlukan untuk memastikan proses dipertahankan dalam keadaan kontrol statistik sebagaimana disepakati antara pelanggan dan pemasok [10]. Metode FMEA yang mengidentifikasi karakteristik kritis dan karenanya menjadi titik awal untuk memulai rencana pengendalian. Rencana pengendalian FMEA dapat meliputi:

1. Ukuran sampel dan frekuensi evaluasi.
2. Metode evaluasi.
3. Reaksi dan tindakan korektif.

2.4 Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* merupakan metode untuk merencanakan ruang informasi menjadi ruang hasil. Logika *fuzzy* disajikan oleh Dr. Lotfi Zadeh dari College of California, Berkeley pada tahun 1965. Logika *fuzzy* menggantikan tingkat kebenaran untuk boolean ketika pemikiran tradisional menyatakan bahwa apapun dapat dikomunikasikan dalam istilah ganda (0 atau 1, gelap atau putih, ya atau tidak). Logika *fuzzy* memiliki nilai partisipasi berkisar antara 0 dan 1, tingkat gelap seperti kontras tinggi. Selain itu, alasan yang memungkinkan dalam struktur etimologis, ide-ide yang meragukan seperti tidak ada apa-apanya. Ada beberapa alasan mengapa beberapa ahli memakai logika *fuzzy*, antara lain [17]:

1. Konsepnya yang mudah dimengerti, konsep matematis yang mendasari pemikiran logika *fuzzy* tersebut cukup mudah untuk dimengerti.
2. *Fuzzy logic* sangat fleksibel, dalam arti mampu beradaptasi dengan perubahan dan ketidakpastian yang menyertai permasalahan.
3. Memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
4. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi *non* linier yang sangat kompleks.

2.4.1 Himpunan *Fuzzy*

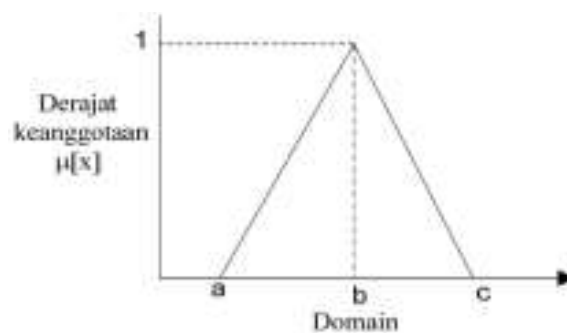
Kemungkinan himpunan *fuzzy* yaitu memperbesar cakupan kemampuan fungsi dalam keadaan tertentu sehingga dapat mengingat angka asli untuk rentangan $[0,1]$. Nilai partisipasi benda akan menunjukkan bahwa itu bukan 0 atau 1, tetapi nilai yang ada di tengah. Selanjutnya, mensurvei realitas sesuatu tidak terbatas pada benar atau salah. Nilai 0 berarti salah, nilai 1 berarti benar dan masih ada skor yang terletak pada benar atau salah. Himpunan *fuzzy* mempunyai 2 atribut berikut [18]:

1. Linguistik adalah suatu bentuk pemberian nama yang membahas sebuah keadaan tertentu dengan menggunakan bahasa sehari-hari. Faktor linguistik umumnya dipisahkan menjadi satu kumpulan istilah linguistik (misalnya rendah, tinggi) [19].
2. Numeris merupakan suatu jenis penilaian berupa angka yang menyatakan besar kecilnya suatu variabel tertentu.

2.4.2 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

Pemetaan titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan) ditunjukkan dengan fungsi keanggotaan yang merupakan kurva dengan *interval* 0 sampai 1. Pendekatan fungsi merupakan salah satu cara untuk menentukan nilai keanggotaan. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan [18]:

1. Fungsi bentuk kurva segitiga



Gambar 2.1 Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ dan } x \geq c \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \end{cases} \quad [2.2]$$

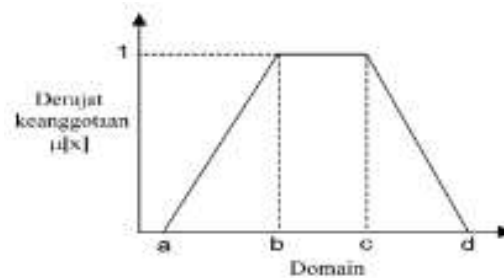
Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu

c = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol

2. Fungsi bentuk kurva trapesium



Gambar 2.2 Kurva Trapesium

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ dan } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \end{cases} \quad [2.3]$$

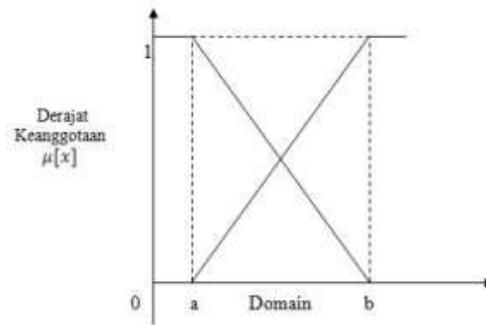
Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu

c = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu
 d = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol
 x = nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan *fuzzy*

3. Fungsi bentuk kurva bahu



Gambar 2.3 Kurva Bentuk Bahu

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x, a, b] = \begin{cases} 0; & x \leq b \\ (b-x) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq a \\ 0; & x \leq a \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad [2.4]$$

Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol
 b = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu
 c = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol
 x = nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan *fuzzy*

2.4.3 Operator Dasar Zadeh

Seperti halnya himpunan konvensional pada umumnya, himpunan *fuzzy* dapat digabungkan dan dimodifikasi menggunakan sejumlah operasi tertentu. Nilai keanggotaan sering disebut sebagai *fire strength* dan merupakan hasil operasi dari

dua himpunan atau lebih. Zadeh mengembangkan tiga operator dasar yang dapat dilihat dibawah ini [18]:

1. Operator *AND*

Operator *AND* (*intersection*) dihubungkan melalui prosedur titik persilangan pada himpunan. Minimum setiap pasangan elemen pada kedua himpunan adalah perpotongan dua himpunan.

2. Operator *OR*

Operasi *OR* (*union*) dihubungkan melalui prosedur gabungan pada suatu himpunan. Gabungan 2 himpunan adalah *limit* masing-masing himpunan komponen pada dua himpunan tersebut.

3. Operator *NOT*

Operasi *NOT* dihubungkan melalui kegiatan komplemen pada himpunan.

2.4.4 Fuzzy FMEA

Penulisan FMEA memakai istilah linguistik *fuzzy* untuk menerangkan 3 elemen risiko tingkat keparahan, tingkat kejadian dan tingkat deteksi. Banyak investigasi sehubungan dengan FMEA dihubungkan dengan pendekatan aturan *fuzzy* dengan menggunakan aturan "jika" itu. Berikutnya adalah tabel bahasa dan bilangan *fuzzy* yang digunakan untuk menentukan elemen-elemen ini dan menggambarkan kemampuan partisipasi dari masing-masing variabel. Tabel yang menggabungkan S, O, D dan *fuzzy* RPN harus terlihat di bawah ini [20].

Tabel 2.4 Kategori Indeks Bilangan Crisp S, O, dan D

Nilai			Kategori
<i>Severity</i>	<i>Occurrence</i>	<i>Detection</i>	
1	1	1	VL
2,3	2,3	2,3	L
4,5,6	4,5,6	4,5,6	M
7,8	7,8	7,8	H
9,10	9,10	9,10	VH

Tabel 2.5 Paramater Variabel *Input Severity*

Kategori	Jenis Kurva	Parameter
<i>Very Low (VL)</i>	Segitiga	[0 0 2]
<i>Low (L)</i>	Segitiga	[1 3 4.5]
<i>Moderate (M)</i>	Segitiga	[3 5 7]
<i>High (H)</i>	Segitiga	[5 7.25 9]
<i>Very High (VH)</i>	Segitiga	[7.5 10 10]

Tabel 2.6 Paramater Variabel *Input Occurrence*

Kategori	Jenis Kurva	Parameter
<i>Very Low (VL)</i>	Segitiga	[0 0 2]
<i>Low (L)</i>	Segitiga	[1 3 4.5]
<i>Moderate (M)</i>	Segitiga	[3 5 7]
<i>High (H)</i>	Segitiga	[5 7.25 9]
<i>Very High (VH)</i>	Segitiga	[7.5 10 10]

Tabel 2.7 Paramater Variabel *Input Detection*

Kategori	Jenis Kurva	Parameter
<i>Very Low (VL)</i>	Segitiga	[0 0 2]
<i>Low (L)</i>	Segitiga	[1 3 4.5]
<i>Moderate (M)</i>	Segitiga	[3 5 7]
<i>High (H)</i>	Segitiga	[5 7.25 9]
<i>Very High (VH)</i>	Segitiga	[7.5 10 10]

Tabel 2.8 Nilai *Fuzzy Risk Priority Number (FRPN)*

Kategori	Keterangan	Tipe Kurva	Parameter
<i>Very Low</i>	VL	Segitiga	[100 200 300]
<i>Low</i>	L	Segitiga	[200 300 400]
<i>High - Low</i>	H-L	Segitiga	[300 400 500]
<i>Low - Moderate</i>	L-M	Segitiga	[400 500 600]
<i>Moderate</i>	M	Segitiga	[500 600 700]
<i>High - Moderate</i>	H-M	Segitiga	[600 700 800]
<i>Low - High</i>	L-H	Segitiga	[700 800 900]
<i>High</i>	H	Segitiga	[800 900 1000]
<i>Very High</i>	VH	Segitiga	[900 1000 1000]

Berikut adalah contoh *worksheet* FMEA untuk memberi skor S, O dan D terhadap mode kegagalan yang terjadi dan dapat dijelaskan pada tabel 2.9 dibawah ini.

Tabel 2.9 Worksheet FMEA

<i>Subsystem</i>	<i>Component</i>	<i>Failure Mode Analysis</i>			<i>Existing Conditions</i>			
		<i>Failure mode</i>	<i>Failure cause</i>	<i>Failure effect</i>	S	O	D	RPN

2.4.4.1 Penilaian Risiko Produksi Dengan *Fuzzy* FMEA

Wang *et al* (2009) berpendapat untuk tata cara yang digunakan pada penilaian variabel kegagalan FMEA dalam bentuk *fuzzy* dengan tahapan dibawah ini [8]:

1. Menentukan nilai S, O dan D berdasarkan hasil kuesioner.
2. Menyesuaikan nilai S, O dan D kedalam linguistik dan bilangan *fuzzy*.
3. Melakukan perhitungan agregasi penilaian peringkat *fuzzy* terhadap faktor S, O dan D berdasarkan persamaan 2.5, 2.6 dan 2.7 dibawah ini.

$$R_i^S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j R_{ij}^S = \left(\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^S, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM_1}^S, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM_2}^S, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^S \right) \quad [2.5]$$

$$R_i^O = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j R_{ij}^O = \left(\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^O, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM_1}^O, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM_2}^O, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^O \right) \quad [2.6]$$

$$R_i^D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j R_{ij}^D = \left(\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^D, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM_1}^D, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM_2}^D, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^D \right) \quad [2.7]$$

Dimana:

R_i^S = Agregat S (*severity*)

R_i^O = Agregat O (*occurrence*)

R_i^D = Agregat D (*detection*)

h_j = Responden

n = Bilangan *fuzzy*

2.4.4.2 Penentuan Model *Fuzzy Mamdani*

Metode mamdani sering dikenal sebagai metode *max-min*. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 dan sistem *fuzzy* model mamdani memerlukan 4 tahapan, yaitu [21]:

1. Pembentukan himpunan *fuzzy*

Pada metode mamdani, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

2. Penggunaan fungsi implikasi

Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah *min*.

3. Penarikan kesimpulan atau komposisi aturan

Ada 3 (tiga) metode yang digunakan yaitu *max*, *additive* dan *probabilistic* OR atau PROBOR. Adapun metode yang digunakan dapat dilihat dibawah ini:

a) Metode maksimum

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan. Secara umum dapat dituliskan pada persamaan 2.8.

$$\mu_{sf}[x_i] = \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \quad [2.8]$$

4. Defuzzifikasi

Beberapa metode defuzzifikasi yaitu *Centroid*, *Bisektor*, *Mean of Maximum*, *Largest of Maximum*. Adapun metode yang digunakan dapat dilihat dibawah ini:

a) Metode *centroid* atau *composite moment*

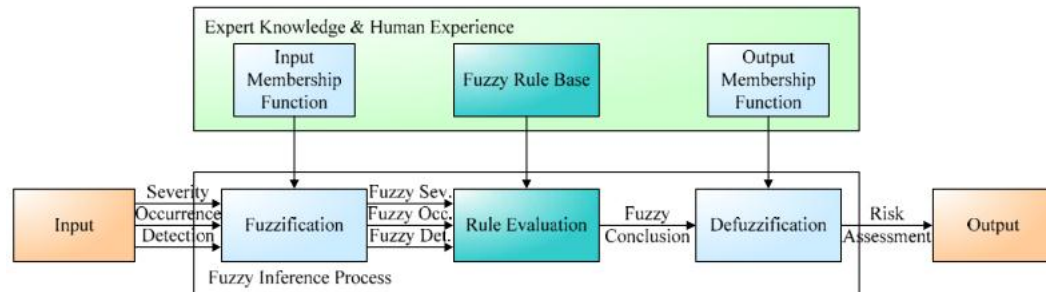
Pada metode ini, penyelesaian *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah *fuzzy*. Secara umum untuk semesta kontinu dan semesta diskret dirumuskan dalam persamaan 2.9 dan 2.10.

$$Z^* = \frac{\int_Z z \mu(z) dz}{\int_Z \mu(z) dz} \quad [2.9]$$

$$Z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad [2.10]$$

2.4.4.3 Tahapan *Fuzzy* FMEA

Berikut merupakan tahapan *fuzzy* FMEA yang dapat dilihat dibawah ini [6].



Gambar 2.4 Struktur FMEA Berdasarkan Teori *Fuzzy*

Adapun tiga tahapan utama dalam *fuzzy* FMEA, yaitu:

1. *Fuzzification*

Dengan mengkarakterisasi fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy input* yang ditentukan oleh keahlian dari tiga parameter (S), (O) dan (D) peringkat yang dapat diubah menjadi *input fuzzy*.

2. *Rule Evaluation*

Dengan menggunakan aturan *IF-THEN* yang dikumpulkan dari ahli serta insinyur dan mengintegrasikannya ke dalam aturan *fuzzy*. Aturan *fuzzy IF-THEN* dalam basis aturan *fuzzy* dapat digabungkan menjadi pemetaan dari *input fuzzy* ke kesimpulan *fuzzy*.

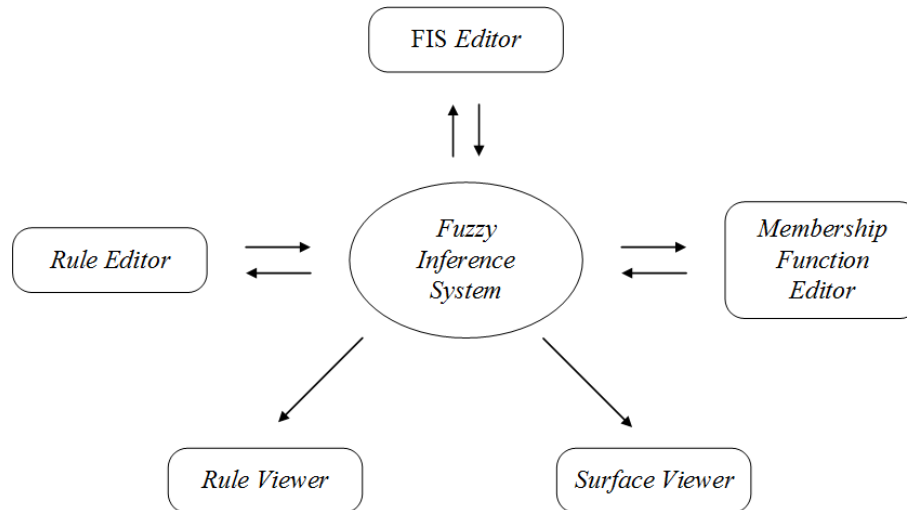
3. *Defuzzification*

Melalui pendefinisian fungsi keanggotaan dari *output set fuzzy* dan *defuzzifier*, kesimpulan *fuzzy* dapat diubah menjadi representasi risiko bernilai nyata.

2.5 *Software Matlab*

Matlab adalah bahasa pemrograman yang digunakan dalam proses pemrosesan dan juga digunakan untuk menangani matematik serta metode numerik. *Toolbox* adalah serangkaian fitur lain yang ditawarkan *matlab* yang diatur berdasarkan aplikasi salah satunya adalah *toolbox logika fuzzy matlab* yang memudahkan pembuatan sistem *fuzzy*. Terdapat 5 *Graphical User Interface (GUI) tools* yang digunakan untuk merancang, mengubah serta mengamati sistem penalaran pada *fuzzy*, yaitu

FIS editor, membership function editor dapat membaca dan memodifikasi FIS, rule editor, rule viewer dan surface viewer hanya dapat membaca tidak dapat mengedit atau memodifikasi [22]. Adapun bentuk *fuzzy logic toolbox matlab* yang dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Fuzzy Logic Toolbox Matlab

Keterangan:

a. *FIS Editor*

Dipakai tahap awal membuat suatu variabel *fuzzy* yang baru, dengan mengetik “*fuzzy*” pada *command line* di *matlab*.

b. *Membership Function Editor*

Dipakai untuk mengubah fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk setiap variabel *input* dan *output*.

c. *Rule Editor*

Digunakan untuk mengubah dan menunjukkan aturan yang akan atau telah dibuat sebelumnya.

d. *Rule Viewer*

Digunakan untuk melihat alur penalaran *fuzzy* pada sistem meliputi pemetaan *input* yang diberikan ke setiap variabel *input*.

e. *Surface Viewer*

Digunakan untuk melihat gambar pemetaan antara variabel-variabel *input* dan *output*.

2.6 5W + 1H

Alasan penerapan teknik ini adalah untuk mengenali peluang yang ada dalam siklus penciptaan dan memberikan ide perbaikan pada setiap risiko yang dipilih. Setiap permasalahan mendasar yang muncul dapat diselesaikan atau dihindari dengan menerapkan strategi 5W+1H. 5W+1H adalah ide penting untuk menggambarkan kebenaran yang sudah ada dengan menanyakan siapa, apa, dimana, kapan, mengapa dan bagaimana. Ide 5W+1H dipahami dalam penjelasan di bawah ini [23].

1. *Who* (siapa), menunjukkan pelaku atau individu terkait dengan permasalahan yang terjadi.
2. *What* (apa), menunjukkan informasi dari suatu objek yang diperhatikan.
3. *Where* (dimana), menampilkan informasi lokasi kejadian.
4. *When* (kapan), menunjukkan waktu timbulnya suatu masalah.
5. *Why* (mengapa), menjelaskan bagaimana suatu masalah dapat muncul.
6. *How* (bagaimana), menunjukkan siklus atau alur suatu persoalan terjadi.