

Bab II

Tinjauan Pustaka

2.1. Kualitas

2.1.1. Pengertian Kualitas

Persaingan perusahaan tidak hanya mengenai tingkat produktivitas namun tertuju pada kualitas produk. Dengan itu, perusahaan dapat berlomba dalam meningkatkan kemampuan kinerja serta menghadirkan kualitas produk terbaik untuk menarik pelanggan (Baldah, 2020). Menghadapi persaingan tersebut, setiap perusahaan harus mampu mengadakan sebuah perubahan. Oleh karena itu, tanggung jawab perusahaan adalah memberikan hasil produk yang berkualitas sesuai dengan kebutuhan pelanggan.

Kualitas produk merupakan sebuah identitas produk yang mudah dikenali oleh konsumen. Hal ini didukung oleh Kotler (2012) dalam Saidani dan Arifin (2012), kualitas produk merupakan sebuah kemampuan produk dalam menjalankan fungsinya yang termasuk pada ketahanan produk, keandalan produk, presisi, kemudahan mengoperasikan dan memperbaiki, serta nilai atribut lainnya. Sedangkan menurut Ariani (2020), kualitas merupakan suatu yang mampu dalam memenuhi kebutuhan pelanggan dan penawaran dari pihak perusahaan. Karakteristik kualitas dapat dikategorikan dalam pengelompokan sebagai berikut (Mitra, 2016):

1. Karakteristik struktural mencakup elemen-elemen seperti ukuran panjang, berat, kekuatan, dan sebagainya.
2. Karakteristik sensorik meliputi rasa makanan, aroma yang harum, dan kecantikan sebuah model.
3. Karakteristik berorientasi waktu mencakup tindakan seperti waktu untuk memproses pesanan pembelian, keandalan, dan pemeliharaan produk.
4. Karakteristik etika meliputi kejujuran, kesopanan, keramahan, dan sebagainya.

2.1.2. Defect

Defect atau cacat merupakan suatu tingkat kerusakan yang terjadi pada produk sehingga cacat produk tidak dapat diberikan kepada pelanggan. Menurut

Mitra (2016), cacat dikaitkan dengan karakteristik kualitas yang tidak memenuhi standar dan dapat menyebabkan produk tidak dapat diterima atau ketidaksesuaian. Kecacatan pada produk bukan merupakan harapan perusahaan yang tentu hal ini menjadi pendorong bagi perusahaan untuk memberikan kualitas yang terbaik kepada pelanggan. Oleh karena itu, perlu adanya tindakan pencegahan yang menyebabkan terjadinya produk cacat.

2.1.3. Standar atau Spesifikasi

Setiap perusahaan memiliki standar yang sebagai acuan produk yang dibuat harus sesuai dengan standar tersebut. Standar dan spesifikasi memiliki penjelasan yang berbeda. Menurut Mitra (2016), spesifikasi adalah seperangkat kondisi dan persyaratan yang memberikan penjelasan mengenai prosedur, proses, bahan, produk, atau suatu layanan untuk digunakan terutama dalam pengadaan dan manufaktur. Sedangkan, standar merupakan suatu persyaratan yang ditentukan untuk ditetapkan oleh otoritas atau kesepakatan untuk dipenuhi oleh materi, produk, proses, prosedur, kinerja, atau karakteristik kesesuaiannya (Mitra, 2016). Mengenai hal tersebut dapat dikatakan bahwa standar dapat dimasukkan dalam bagian spesifikasi.

2.2. Pengendalian Kualitas

Dalam menjaga kualitas produk secara konsisten yang sesuai dengan harapan pelanggan, perlu dilakukan sebuah pengendalian kualitas atau *quality control*. Pengendalian kualitas merupakan suatu langkah untuk memastikan bahwa produk yang ditetapkan sesuai dengan standar perusahaan. Menurut Ariani (2020), pengendalian kualitas berdasarkan inspeksi dengan produk yang memenuhi syarat dan penolakan pada produk yang tidak sesuai dengan syarat sehingga muncul sebuah pemikiran untuk mencegah timbulnya masalah tersebut agar tidak terulang lagi. Pengendalian merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk menjamin kegiatan operasional sesuai dengan yang direncanakan (Buffa, 1999; dalam Sirine dkk., 2017). Apabila terjadi penyimpangan maka dapat diperbaiki untuk mencapai harapan dan tujuan yang ditentukan (Buffa, 1999; dalam Sirine dkk., 2017). Berikut

ini adalah beberapa dimensi kualitas untuk perusahaan manufaktur yang berkaitan dengan pengendalian kualitas Montgomery (2009) yaitu:

1. *Performance*

Performance merupakan kesesuaian produk dengan fungsi utama dari produk atau karakteristik operasi dari suatu produk tersebut.

2. *Reliability*

Reliability merupakan sebuah kepercayaan pelanggan terhadap produk yang disediakan karena keandalannya

3. *Durability*

Durability merupakan tingkat keawetan produk atau lama umur produk tersebut.

4. *Serviceability*

Serviceability merupakan seberapa mudah produk dapat diperbaiki atau seberapa cepat dan ekonomis suatu perbaikan yang dapat diselesaikan.

5. *Aesthetics*

Aesthetics merupakan sebuah daya tarik visual dari produk tersebut yang mempertimbangkan faktor-faktor seperti tampilan, warna, bentuk, alternatif kemasan, dll.

6. *Feature*

Feature merupakan sebuah ciri khas dari produk yang dapat memberikan kesan bagi pelanggan dan mudah dikenali sehingga hal ini merupakan sebuah karakteristik pelengkap

7. *Perceived Quality*

Perceived Quality merupakan sebuah kualitas yang dirasakan yang bergantung pada reputasi perusahaan mengenai kualitas produk.

8. *Conformance of Standards*

Conformance of Standards merupakan kesesuaian produk dengan syarat atau karakteristik desain yang telah ditetapkan.

2.3. FMEA

2.3.1. Definisi FMEA

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) adalah salah satu teknik pemodelan keandalan yang cocok digunakan untuk menyelidiki perilaku kegagalan pada sistem yang kompleks (Balaraju dkk., 2019). Selain itu, metode *FMEA* dapat digunakan sebagai rekomendasi sebuah perubahan sistem agar mengurangi jumlah terjadinya kegagalan tersebut. Menghindari kegagalan tersebut, *FMEA* dapat mengidentifikasi tindakan korektif yang diperlukan untuk mencegah kegagalan dengan memastikan daya tahan, kualitas, dan keandalan produk atau layanan (Stamatis, 2003). Menurut Allen (2019), *FMEA* dapat membantu dalam menentukan karakteristik mana yang terkait dengan risiko tertinggi yang dapat dinyatakan kritis, sehingga memerlukan upaya pemantauan dan inspeksi yang intensif. Tingkat kegagalan dan prioritas tindakan yang diperlukan pada *FMEA* dibuat berdasarkan perkiraan angka prioritas resiko atau *Risk Priority Number (RPN)* yang dihitung dengan cara mengalikan *severity (S)*, *occurrence (O)*, *detection (D)* (Balaraju dkk., 2019). Berikut ini adalah penjelasan *severity (S)*, *occurrence (O)*, dan *detection (D)*.

1. Severity (S)

Severity rating adalah keseriusan efek kegagalan pada komponen, subsistem, sistem, atau pelanggan (Yeh dan Hsieh, 2007). Apabila parahnya efek kegagalan yang ditimbulkan, maka semakin tinggi nilai *rating* yang diberikan. Berikut Tabel 2.1 skala *severity*.

Tabel 2.1 Skala *Severity*
Sumber: Chrysler (1995)

| <i>Effect</i> | <i>Criteria: Severity of Effect</i> | <i>Ranking</i> |
|----------------------------------|--|----------------|
| <i>Hazardous without warning</i> | Dapat membahayakan mesin atau operator perakitan. Peringkat keparahan sangat tinggi ketika potensi mode kegagalan mempengaruhi pengoperasian dan melibatkan ketidakpatuhan terhadap peraturan pemerintah. Kegagalan akan terjadi tanpa peringatan. | 10 |

Tabel 2.1 Skala *Severity* (Lanjutan)
 Sumber: Chrysler (1995)

| <i>Effect</i> | <i>Kriteria Severity</i> | <i>Ranking</i> |
|-------------------------------|---|----------------|
| <i>Hazardous with warning</i> | Dapat membahayakan mesin atau operator perakitan. Peringkat keparahan yang sangat tinggi ketika potensi mode kegagalan mempengaruhi pengoperasian dan melibatkan ketidakpatuhan terhadap peraturan pemerintah. Kegagalan muncul dengan peringatan. | 9 |
| <i>Very High</i> | Menyebabkan gangguan besar pada lini produksi. 100% produk tidak dapat digunakan sama sekali/dibuang. Produk/barang tidak dapat dioperasikan dan kehilangan fungsi utama. Konsumen sangat kecewa. | 8 |
| <i>High</i> | Menyebabkan gangguan kecil pada lini produksi. Produk mungkin harus disortir dan sebagian (kurang dari 100%) dibuang/rusak. Produk/barang dapat dioperasikan, tetapi pada tingkat performa yang menurun. Pelanggan tidak puas | 7 |
| <i>Moderate</i> | Menyebabkan gangguan kecil pada jalur produksi. Sebagian (kurang dari 100%) produk mungkin harus dibuang/rusak (tanpa penyortiran). Produk/barang dapat dioperasikan, tetapi beberapa menimbulkan ketidaknyamanan. Pelanggan mengalami ketidaknyamanan. | 6 |
| <i>Low</i> | Menyebabkan gangguan kecil pada jalur produksi. 100% produk mungkin harus dikerjakan ulang. Produk/barang dapat dioperasikan, namun dengan tingkat kinerja yang lebih rendah. Beberapa pelanggan mengalami ketidakpuasan. | 5 |
| <i>Very Low</i> | Menyebabkan gangguan kecil pada proses produksi. Produk harus disortir, dan sebagian (kurang dari 100%) harus dikerjakan ulang. Saat digunakan, muncul ketidaksesuaian dengan standar. Kecacatan atau kerusakan diketahui oleh mayoritas konsumen. | 4 |
| <i>Minor</i> | Menyebabkan gangguan kecil pada proses produksi. Produk harus disortir, dan beberapa bagian harus dikerjakan ulang. Saat digunakan, muncul ketidaksesuaian dengan standar. Kecacatan atau kerusakan diketahui oleh rata-rata konsumen. | 3 |
| <i>Very Minor</i> | Menyebabkan gangguan kecil pada proses produksi. Produk harus disortir, dan beberapa bagian harus dikerjakan ulang. Saat digunakan, muncul ketidaksesuaian dengan standar. Kecacatan atau kerusakan diketahui hanya oleh sebagian kecil konsumen. | 2 |
| <i>No Effect</i> | Tidak ada efek yang terjadi | 1 |

2. Occurrence (O)

Occurrence merupakan suatu kejadian yang seberapa sering terjadinya suatu kegagalan. Nilai *occurrence* diberikan setiap penyebab kegagalan dengan *rating* 1-10. Semakin sering penyebab kegagalan terjadi, maka semakin tinggi nilai *rating* yang diberikan. Berikut Tabel 2.2 skala *occurrence*.

Tabel 2.2 Skala *Occurrence*
Sumber: Chrysler (1995)

| Probability of Failure | Possible Failure Rate | Ranking |
|--|--|-------------|
| <i>Very High:</i> Kegagalan hampir tidak bisa dihindari | 1 dari 2 1 dari 3 | 10 9 |
| <i>High:</i> Kegagalan muncul mungkin dihubungkan akibat kegagalan dari proses sebelumnya yang sering menimbulkan kegagalan | 1 dari 8 1 dari 20 | 8 7 |
| <i>Moderate:</i> Kecacatan muncul mungkin dihubungkan akibat kegagalan dari proses sebelumnya yang sesekali mengalami kegagalan, tetapi tidak dalam proporsi yang besar | 1 dari 80 1 dari 400 1 dari 2000 | 6 5 4 |
| <i>Low:</i> Kegagalan yang jarang terjadi akibat penyebab yang dimaksud | 1 dari 15.000 | 3 |
| <i>Very Low:</i> Kecacatan yang terjadi sangat sedikit akibat penyebab yang dimaksud | 1 dari 150.000 | 2 |
| <i>Remote:</i> Kegagalan tidak mungkin terjadi | 1 dari 1.500.000 | 1 |

3. Detection (D)

Detection adalah seberapa jauh kemampuan pengontrolan pada proses untuk mendeteksi penyebab kegagalan dengan *rating* 1-10. Semakin sulit dalam mendeteksi penyebab kegagalan terjadi, maka semakin tinggi nilai *rating* yang diberikan. Berikut Tabel 2.3 skala *detection*.

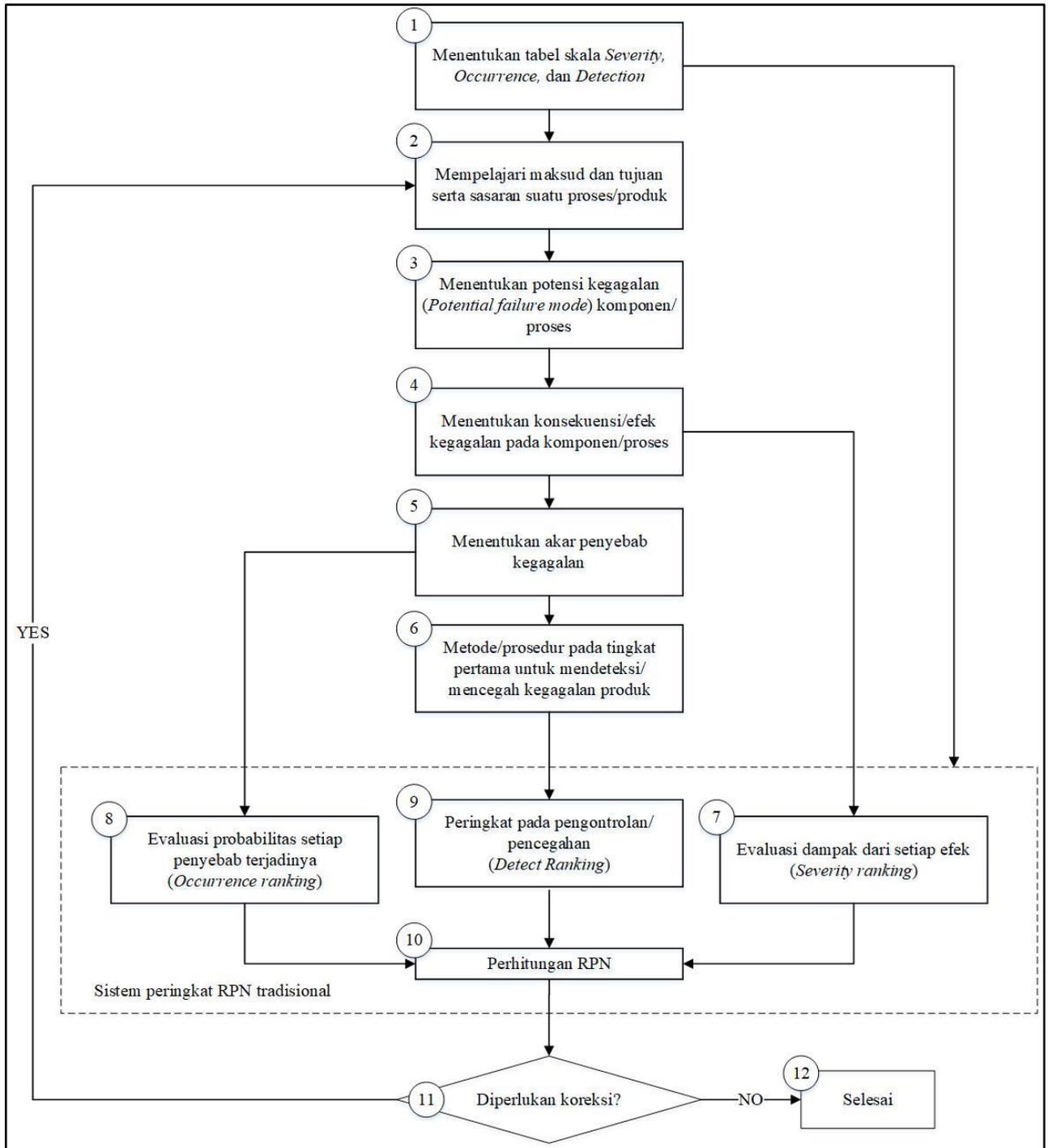
Tabel 2.3 Skala *Detection*
 Sumber: Chrysler (1995)

| <i>Rating</i> | <i>Detection</i> | <i>Keterangan</i> |
|---------------|--------------------------|--|
| 10 | <i>Almost Impossible</i> | Tidak mampu mendeteksi kegagalan dengan alat pendeteksi |
| 9 | <i>Very Remote</i> | Sangat sulit mendeteksi bentuk atau penyebab kegagalan dengan alat pendeteksi |
| 8 | <i>Remote</i> | Kemungkinan kecil alat pengontrolan saat ini mendeteksi bentuk atau penyebab kegagalan dengan alat pendeteksi |
| 7 | <i>Very Low</i> | Sangat rendah untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan dengan kemampuan alat pendeteksi |
| 6 | <i>Low</i> | Rendah untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan dengan kemampuan alat pendeteksi. |
| 5 | <i>Moderate</i> | Kemungkinan sedang untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan dengan kemampuan alat pendeteksi |
| 4 | <i>Moderately High</i> | Kemungkinan cukup tinggi untuk mendeteksi penyebab kegagalan sedang sampai tinggi dengan kemampuan alat pendeteksi |
| 3 | <i>High</i> | Tinggi untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan dengan kemampuan alat pendeteksi |
| 2 | <i>Very High</i> | Sangat tinggi untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan dengan kemampuan alat pendeteksi |
| 1 | <i>Almost Certain</i> | hampir selalu mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan dengan kemampuan alat pendeteksi |

Setelah menentukan *severity*, *occurrence*, dan *detection*, maka dapat dilakukan perhitungan *RPN*. *RPN* merupakan pengukuran risiko relatif, dimana dihitung dengan mengalikan *severity*, *occurrence*, dan *detection* (Press, 2003). *RPN* ditentukan sebelum menerapkan tindakan perbaikan. Berikut ini adalah rumus pada *RPN*.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (2.1)$$

2.3.2. Proses FMEA



Gambar 2.1 Diagram Alur Proses FMEA
Sumber: Tay dan Lim (2006)

Berdasarkan definisi diatas, berikut adalah penjelasan proses penggunaan FMEA (Tay dan Lim, 2006).

1. Menentukan Tabel skala *severity*, *occurrence*, dan *detection*
2. Mempelajari maksud, tujuan, dan sasaran suatu proses/produk.

3. Menentukan potensi kegagalan (*potential failure mode*) produk/proses, termasuk masalah dan peluang perbaikan
4. Menentukan konsekuensi/efek kegagalan pada komponen/proses.
5. Menentukan akar penyebab kegagalan
6. Metode/prosedur pada tingkat pertama untuk mendeteksi/mencegah kegagalan produk
7. *Severity rating*: memberi peringkat keseriusan efek dari potensi kegagalan
8. *Occurrence rating*: estimasi frekuensi untuk penyebab potensi kegagalan
9. *Detection rating*: kontrol sebuah proses untuk mendeteksi akar penyebab spesifik dari suatu kegagalan
10. Perhitungan *RPN* pada produk/proses dari tiga peringkat *input* berupa *severity*, *occurrence*, dan *detection*.
11. Koreksi, kembali ke tahap 2 jika dibutuhkan perbaikan
12. Selesai.

2.4. Fuzzy

2.4.1. Konsep Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan teknik yang dapat digunakan untuk memperkirakan respon keluaran dari data masukan yang diberikan. Tujuan penggunaan logika *fuzzy* adalah untuk memodelkan suatu pemikiran bukan eksak yang berperan penting dalam kemampuan manusia untuk membuat sebuah keputusan rasional pada kondisi yang tidak pasti dan tidak akurat (Widianti dan Firdaus, 2017). Ada berbagai macam alasan penggunaan *fuzzy logic system*, antara lain (Kusumadewi, 2002; dalam Balaraju dkk., 2019):

1. Konsep logika mudah dipahami. Dasar-dasar matematika yang mendasari penalaran *fuzzy* sederhana dan mudah dimengerti
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel dan dapat mentolerir data jika ada ketidaksesuaian dalam kumpulan data.
3. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi non linier yang kompleks
4. Pendekatan ini dapat membangun pengalaman spesialis tanpa perlu pelatihan tambahan

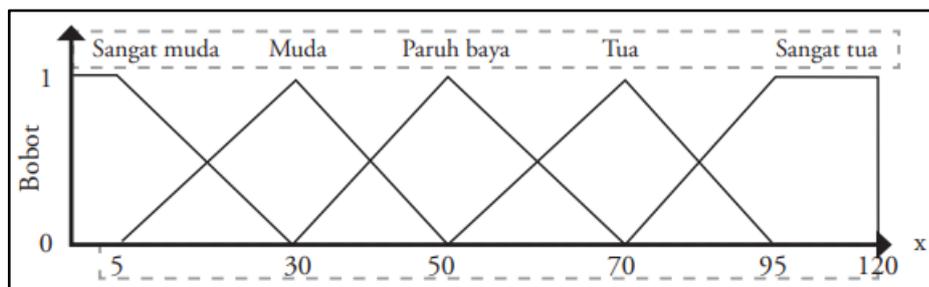
5. Teknik ini bekerja berdasarkan bahasa alami yang sederhana

2.4.2. Himpunan *Fuzzy*

Menurut Meraj dan Farhad (2015), penjelasan himpunan *fuzzy* yaitu suatu konsep premis bahwa unsur-unsur yang digunakan tersebut bukan dalam bentuk angka melainkan dalam bentuk istilah linguistik. Dimana himpunan *fuzzy* nilai derajat keanggotaan antara 0 sampai dengan 1. Agar mengetahui tentang himpunan *fuzzy*, terdapat hal penting yang diketahui yaitu variabel *fuzzy*.

Menurut Zadeh (1975), terdapat variabel numerik dan linguistik yang digunakan dalam *fuzzy*. Pada variabel basis atau numerik diartikan sebagai suatu variabel dalam bentuk angka, sedangkan variabel linguistik merupakan variabel yang tidak berupa angka, namun dalam bentuk kalimat bahasa alami (Zadeh, 1975). Menurut Widianti dan Firdaus (2017), variabel basis merupakan angka dalam interval $[0,1]$ yang sebagai linguistik dengan bobot nilai keanggotaan. Menurut Suhari (2002), logika *fuzzy* terdapat perbedaan dibanding dengan logika konvensional. Logika konvensional suatu pernyataan hanya ada dua macam yaitu benar atau salah dengan notasi 0 adalah salah dan notasi 1 adalah benar. Sedangkan logika *fuzzy* suatu pernyataan terletak pada interval 0 sampai dengan 1, yaitu $[0,1]$.

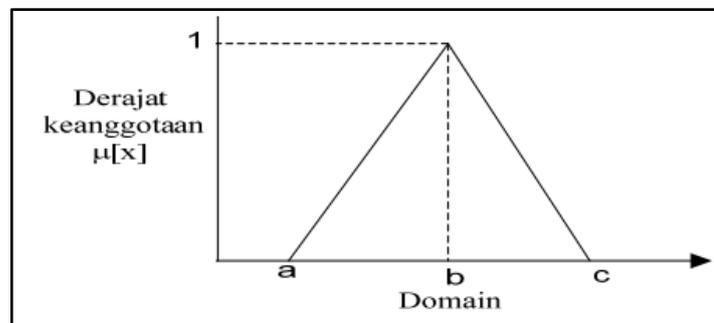
Sebagai contoh menurut Suhari (2002), variabel pada usia dalam bentuk *fuzzy* dalam linguistik yaitu sangat muda, muda, paruh baya, tua, dan sangat tua, dengan nilai numerik yaitu 5, 30, 50, 70, 120 tahun. Apabila ada pernyataan “X masih muda” maka hasil yang diberikan kurang spesifik dibandingkan dengan hasil jawaban X berumur 50 tahun. Dalam Gambar 2.2, pada variabel usia dengan basis nilainya 30 sampai 45 tahun dapat diterjemahkan sebagai usia untuk orang muda dengan bobot keanggotaan sebesar 1; 0,7; 0,2. Berikut Gambar 2.2 mengenai variabel *fuzzy* pada usia.



Gambar 2.2 Variabel *Fuzzy* Pada Usia
Sumber: Widianti dan Firdaus (2017)

2.4.3. Fungsi Keanggotaan

Dalam logika *fuzzy* terdapat fungsi keanggotaan (*membership function*) yang berfungsi untuk mengukur bobot yang istilahnya adalah linguistik (Kumru, 2013; dalam Widianti dan Firdaus, 2016). Menurut Kusumadewi (2004) dalam Widianti dan Firdaus (2016), gambaran fungsi keanggotaan dalam bentuk grafik yang mengarah pada derajat keanggotaan variabel *input* yang berada dalam interval antara 0 dan 1. Simbol $\mu[x]$ merupakan derajat keanggotaan sebuah variabel x . Berikut representasi kurva dari fungsi keanggotaan menurut Kusumadewi dan Purnomo (2010) dalam Widianti dan Firdaus (2017).

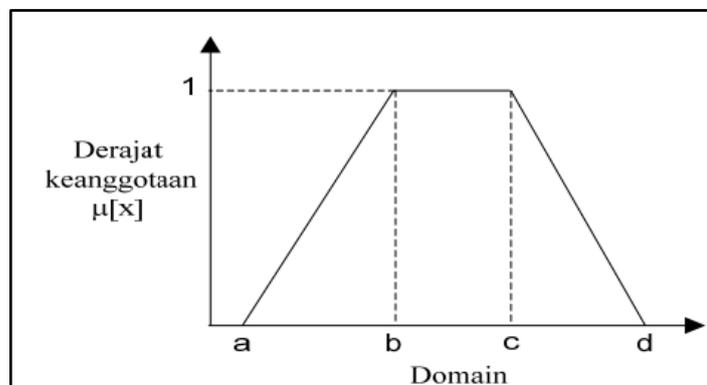


Gambar 2.3 Fungsi Berbentuk Kurva Segitiga

Sumber: Kusumadewi dan Purnomo (2010) dalam Widianti dan Firdaus (2017)

Fungsi keanggotaan:

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



Gambar 2.4 Fungsi Berbentuk Kurva Trapesium

Sumber: Kusumadewi dan Purnomo (2010) dalam Widianti dan Firdaus (2017)

Fungsi keanggotaan:

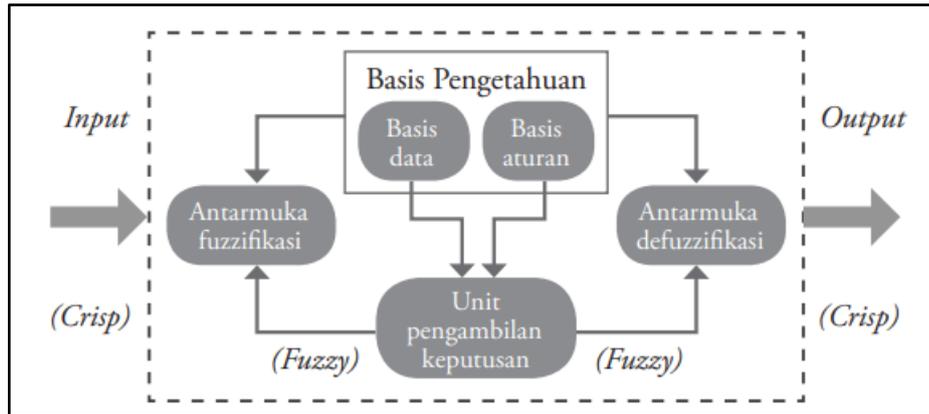
$$\begin{cases} 0; & x \leq a \text{ dan } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (2.3)$$

2.4.4. Implikasi *Fuzzy*

Kalimat deklaratif atau sebuah pernyataan atau yang bersifat benar dapat dinyatakan dengan suatu bilangan real dengan rentang $[0,1]$ yang disebut dengan proporsi *fuzzy*. Pada proporsi *fuzzy* digunakan dalam implikasi *fuzzy* yang memiliki dua komponen, yaitu komponen proposisi anteseden (kondisi) dan konsekuen (kesimpulan) atau dapat disebut dengan aturan jika-maka (*if-then rules*) (Widianti dan Firdaus, 2017).

2.4.5. *Fuzzy Inference System*

Konsep teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* jika-maka, dan penalaran *fuzzy* dibangun menjadi satu dalam bentuk *Fuzzy Inference System* (FIS) (Widianti dan Firdaus, 2017). Algoritma logika *fuzzy* diawali dengan penentuan variabel linguistik, pembentukan fungsi keanggotaan dan basis aturan dan mengkonversi *crisp* atau data tegas menjadi suatu nilai *fuzzy* (Widianti dan Firdaus, 2016). Kemudian mengevaluasi setiap aturan dalam basis aturan (*rule base*) dan mengubah data *output* menjadi nilai *defuzzification* atau non-*fuzzy* (Meraj dan Farhad, 2015). Sedangkan menurut penelasan Widianti dan Firdaus (2017), langkah awal sistem inferensi *fuzzy* adalah mengkonversi *input* nilai tegas oleh tahap fuzzifikasi ke nilai *fuzzy*. Hasil proses konversi tersebut, kemudian diproses kembali oleh basis pengetahuan dan menghasilkan nilai *fuzzy* sebagai nilai keluaran. Nilai keluaran tersebut perlu diterjemahkan menjadi nilai tegas dengan menggunakan defuzzifikasi yang kemudian direalisasikan dalam bentuk tindakan yang dilaksanakan dalam sebuah proses tersebut. Berikut struktur dasar inferensi *fuzzy* pada Gambar 2.5 menurut Sivanandam dkk. (2007) dalam Widianti dan Firdaus (2017).



Gambar 2.5 Struktur Dasar *Fuzzy Inference System*
 Sumber: Sivanandam dkk (2007) dalam Widianti dan Firdaus (2017)

Penjelasan struktur *fuzzy inference system* adalah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Menurut Sharma (2005) dalam Balaraju dkk. (2019), fuzzifikasi adalah sebuah proses yang digunakan untuk mengtransformasi parameter *input* menjadi tingkat keanggotaan, dimana masing-masing parameter *input* tersebut diubah dalam bentuk linguistik. Tahap pertama fuzzifikasi adalah mengubah masukkan data tegas atau *crisp* menjadi data *fuzzy*, mengingat berdasarkan *fuzzy inference system* yang berkerja dengan *fuzzy rule base* dan masukkan *fuzzy*.

2. Unit Penalaran

Menurut Susilo (2006) dalam Widianti dan Firdaus (2017), mendefinisikan penalaran dalam *fuzzy* merupakan suatu cara penarikan kesimpulan yang digunakan berdasarkan seperangkat implikasi *fuzzy* dan fakta yang diketahui (premis). Modus ponens adalah salah satu aturan penalaran nilai tegas yang sering dipergunakan dalam penalaran *fuzzy* (Widianti dan Firdaus, 2017), yaitu:

$$((p \Rightarrow q) \wedge p) \Rightarrow q \quad (2.4)$$

Bentuk umum penalaran pada modus ponens adalah

Premis 1 : x adalah B

Premis 2 : bila x adalah B, maka y adalah C himpunan.

Kesimpulan : y adalah C

Aplikasi pada modus ponens penalaran data *crisp* menjadi aturan *fuzzy* dengan premis dan kesimpulan adalah proposisi *fuzzy* (Widianti dan Firdaus, 2017), dimana proposisi *fuzzy* merupakan suatu pernyataan yang memiliki nilai kebenaran dengan bilangan *real* dalam rentang [0,1] (Bojjadziev dkk, 2007; Susilo, 2006) dalam Widianti dan Firdaus (2017). Contoh penalaran *fuzzy* adalah sebagai berikut (Widianti dan Firdaus, 2017):

Premis 1 : Motor agak kotor

Premis 2 : Bila motor agak kotor, maka pencuciannya lama.

Kesimpulan : Pencuciannya agak lama.

3. Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan suatu *fuzzy inference system* dibagi 2 basis sebagai berikut yaitu (Widianti dan Firdaus, 2017),

a. Basis data

Basis data mendefinisikan fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* yang digunakan dalam aturan *fuzzy* dan disusun dalam relasi atau suatu tabel yang saling berhubungan (Widianti dan Firdaus, 2017).

b. Basis aturan

Sistem aturan yang digunakan adalah minimum dengan menghubungkan operasi *intersection* (AND) sebagai operasi pada himpunan *fuzzy* yang berhubungan dengan operasi irisan. Bentuk aturan dapat ditulis sebagai berikut (Widianti dan Firdaus, 2017).

$$\text{IF } x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_n \text{ THEN } y \text{ is } B \quad (2.5)$$

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan suatu proses yang dilakukan untuk mendapat nilai *crisp* dari kesimpulan himpunan *fuzzy* (Sharma dkk., 2005). Nilai *crisp* tersebut harus diterima kembali karena dalam *fuzzy inference system* sistem hanya membaca nilai *crisp* sehingga diperlukan tahap defuzzifikasi untuk perubahan nilai *fuzzy* menjadi nilai yang *crisp* (tegas) (Widianti dan Firdaus, 2017).

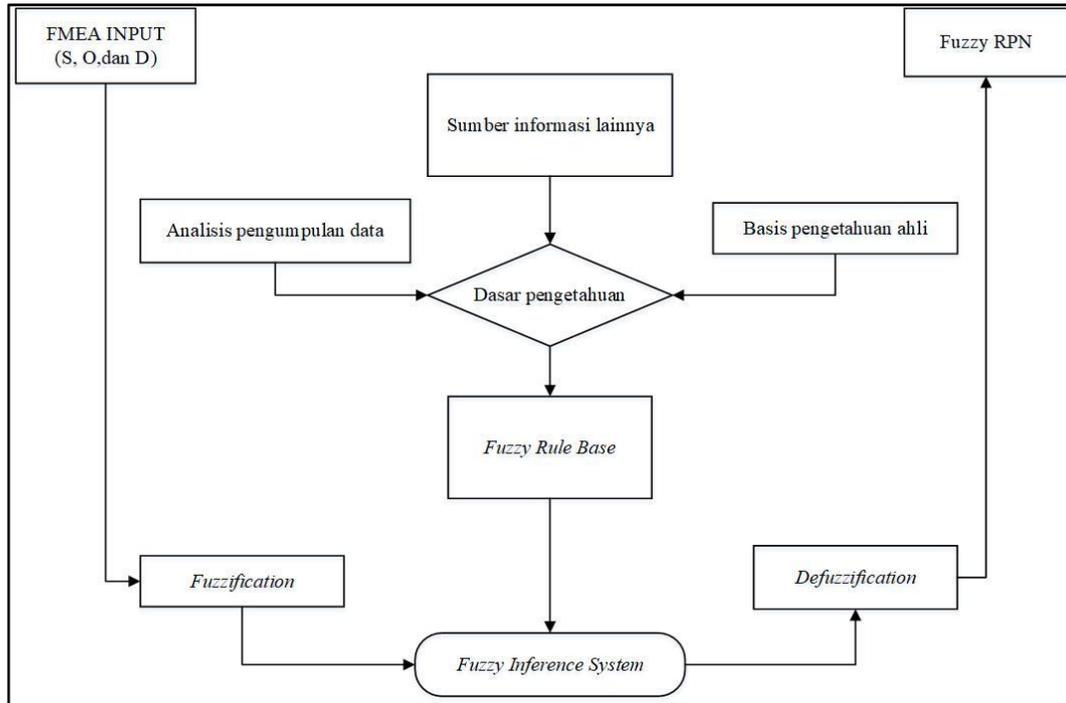
2.4.6. Metode Mamdani

Menurut Islam dkk. (2020), metode Mamdani adalah salah satu metode yang sering digunakan pada logika *fuzzy* yang menggunakan operasi *Min-Max*. Metode Mamdani digunakan berdasarkan aturan linguistik untuk memperoleh sebuah keluaran atau *output* dengan menggunakan tahap-tahapan sebagai berikut yaitu, pembentukkan *input* menjadi himpunan *fuzzy*, aplikasi fungsi implikasi menggunakan *If-Then Rules*, dan defuzzifikasi.

2.4.7. Konsep Fuzzy FMEA

Menurut Yeh dan Hsieh (2007), mengungkapkan bahwa analisis risiko dengan *FMEA* memiliki kelemahan yaitu kemungkinan terjadi kesamaan nilai *RPN* dari hasil perhitungan *severity*, *occurance*, dan *detection* yang berakibat identiknya tingkat kegagalan. Menurut Bowles dan Pelaez (1995) serta Chen (1985) dalam Balaraju dkk. (2019), pemodelan *fuzzy* dengan basis aturan *fuzzy if-then* telah direkomendasikan untuk mengatasi kelemahan *FMEA*. Dalam penyelidikan model *FMEA* berbasis *fuzzy*, faktor-faktor yang diindeks risiko seperti S, O, dan D menggunakan jalur linguistik *fuzzy*.

Menurut Sharma dkk. (2005), tiga parameter *FMEA* tersebut lalu difuzzifikasi menggunakan fungsi keanggotaan (*Membership Function*) yang sesuai untuk mendapatkan derajat keanggotaan pada setiap kelas *input*. *Input fuzzy* yang dihasilkan dievaluasi dalam inferensi *fuzzy*, yang dimana menggunakan basis aturan *if-then* dan operasi logika *fuzzy* untuk menentukan tingkat kekritisian/risiko kegagalan. Kesimpulan *fuzzy* tersebut kemudian di-defuzzifikasi untuk mendapat nomer prioritas risiko atau disebut dengan *fuzzy RPN*. Semakin tinggi nilai *fuzzy RPN*, maka semakin besar risikonya. Semakin rendah nilai *fuzzy RPN*, maka semakin kecil risikonya. Konsep yang digunakan adalah metode Mamdani dalam *fuzzy Inference System* yaitu *Fuzzification*, *fuzzy Rule Base* dan *De-fuzzification* pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur Konsep *Fuzzy FMEA*
 Sumber: Sharma dkk., 2005

Berikut ini penjelasan dari *fuzzification*, *fuzzy rule base*, dan *defuzzification*.

1. *Fuzzification*

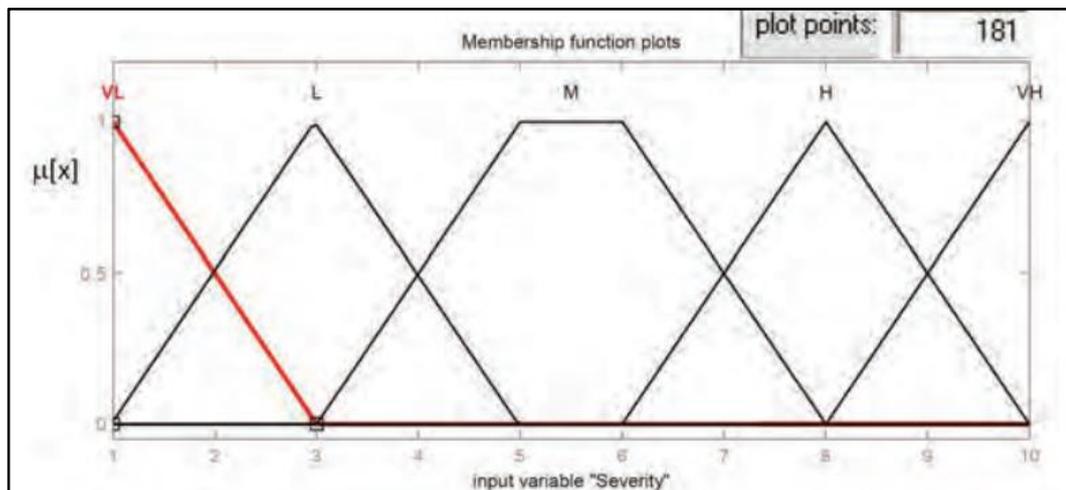
Fuzzification adalah proses yang digunakan untuk mengubah *input* parameter menjadi besaran derajat keanggotaan. Menurut Yeh dan Hsieh (2007), tiga parameter yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection* dapat diubah menjadi *membership function fuzzy input*. Untuk merepresentasikan variabel *input severity*, *occurrence*, dan *detection* secara grafis, digunakan *membership function graphic* dari S, O, dan D (Sharma dkk., 2005). Seperti pada penjelasan fuzzifikasi sebelumnya adalah proses pengubahan nilai *crisp* menjadi bentuk linguistik. Jika nilai *crisp* (tegas) dari skala 1-10 pada input S, O, dan D, diubah ke dalam lima kategori variabel linguistik. Berikut ini adalah Tabel 2.4 konversi skala *crisp* menjadi linguistik dan Tabel 2.5 parameter fungsi keanggotaan *severity*, *occurrence*, dan *detection* menurut Widianti dan Firdaus (2017).

Tabel 2.4 Konversi Skala Crisp Menjadi Linguistik
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017).

| No. | Skala <i>Crisp</i> | Skala Linguistik |
|-----|--------------------|------------------|
| 1 | 1-2 | <i>Very Low</i> |
| 2 | 3-4 | <i>Low</i> |
| 3 | 5-6 | <i>Moderate</i> |
| 4 | 7-8 | <i>High</i> |
| 5 | 9-10 | <i>Very High</i> |

Tabel 2.5 Parameter Fungsi Keanggotaan Variabel *Input Severity*
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017).

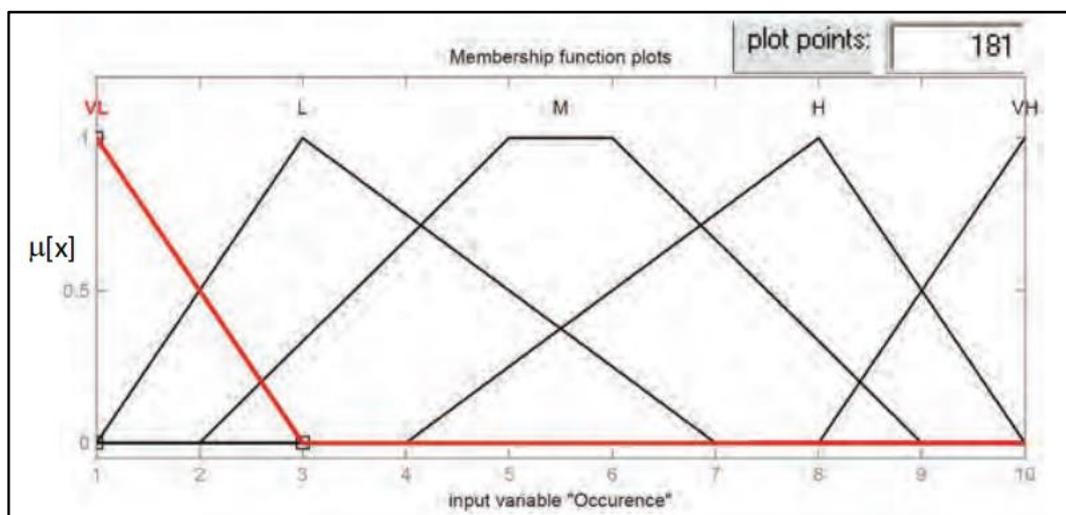
| Kategori | Tipe Kurva | Parameter |
|-----------------------|------------|-----------|
| <i>Very Low (VL)</i> | Segitiga | [1 1 3] |
| <i>Low (L)</i> | Segitiga | [1 3 5] |
| <i>Moderate (M)</i> | Trapeسيوم | [3 5 6 8] |
| <i>High (H)</i> | Segitiga | [6 8 10] |
| <i>Very High (VH)</i> | Segitiga | [8 10 10] |



Gambar 2.7 Fungsi Keanggotaan Variabel *Severity*
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017)

Tabel 2.6 Parameter Fungsi Keanggotaan Variabel *Input Occurrence*
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017).

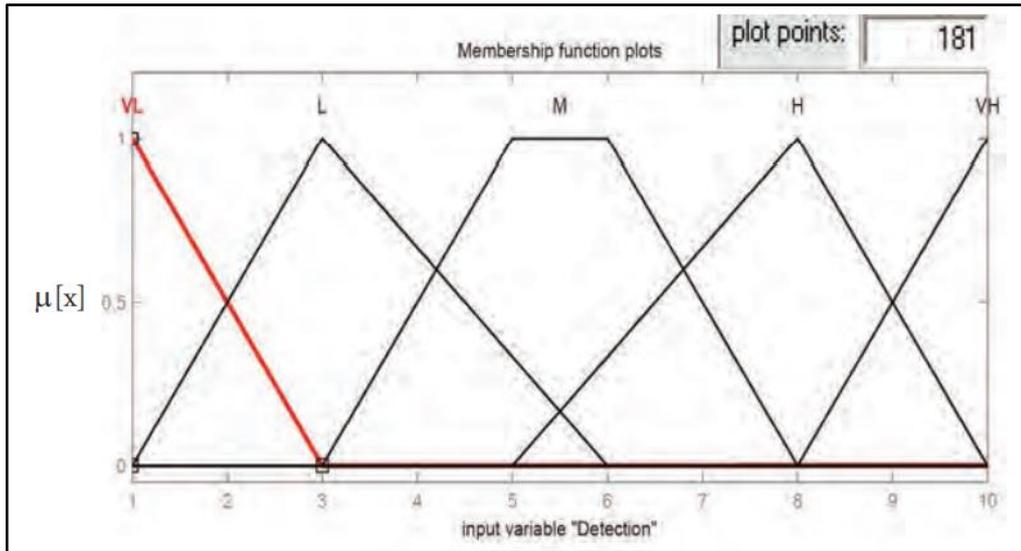
| Kategori | Bentuk Tipe Kurva | Parameter |
|-----------------------|-------------------|-----------|
| <i>Very Low</i> (VL) | Segitiga | [1 1 3] |
| <i>Low</i> (L) | Segitiga | [1 3 7] |
| <i>Moderate</i> (M) | Trapesium | [2 5 6 9] |
| <i>High</i> (H) | Segitiga | [4 8 10] |
| <i>Very High</i> (VH) | Segitiga | [8 10 10] |



Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Variabel *Occurrence*
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017)

Tabel 2.7 Parameter Fungsi Keanggotaan Variabel *Input Detection*
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017).

| Kategori | Tipe Kurva | Parameter |
|-----------------------|------------|-----------|
| <i>Very Low</i> (VL) | Segitiga | [1 1 3] |
| <i>Low</i> (L) | Segitiga | [1 3 6] |
| <i>Moderate</i> (M) | Trapesium | [3 5 6 8] |
| <i>High</i> (H) | Segitiga | [5 8 10] |
| <i>Very High</i> (VH) | Segitiga | [8 10 10] |

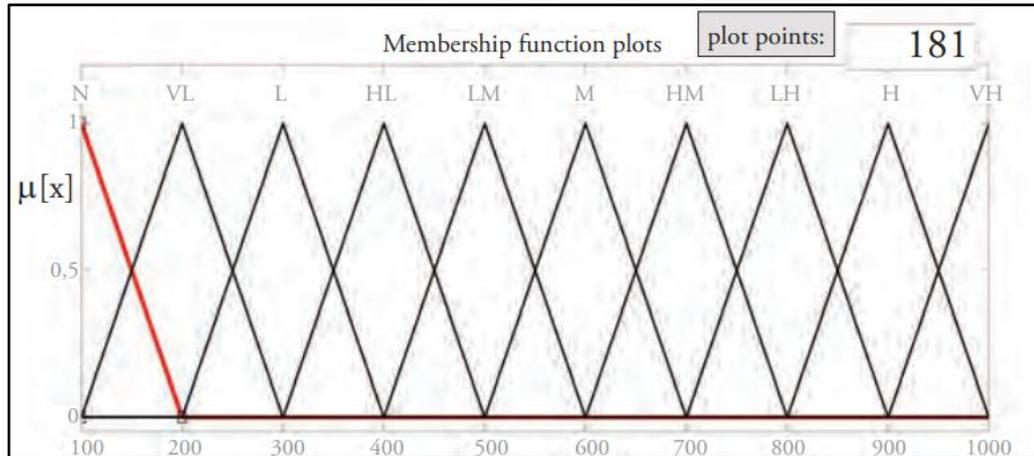


Gambar 2.9 Fungsi Keanggotaan Variabel *Detection*
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017)

Menurut Widianti dan Firdaus (2017), rentang nilai *output* pada *F-RPN* adalah 100 hingga 1000 dan dibagi atas 10 kategori. Berikut parameter fungsi keanggotaan variabel *output fuzzy* terdiri dari 10 kategori, yaitu:

Tabel 2.8 Parameter Fungsi Keanggotaan Variabel *Output Fuzzy*
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017).

| Kategori | Tipe Kurva | Parameter |
|-------------------------|------------|-----------------|
| <i>None</i> (N) | Segitiga | [100 100 200] |
| <i>Very Low</i> (VL) | Segitiga | [100 200 300] |
| <i>Low</i> (L) | Segitiga | [200 300 400] |
| <i>High Low</i> (HL) | Segitiga | [300 400 500] |
| <i>Low Medium</i> (LM) | Segitiga | [400 500 600] |
| <i>Medium</i> (M) | Segitiga | [500 600 700] |
| <i>High Medium</i> (HM) | Segitiga | [600 700 800] |
| <i>Low High</i> (LH) | Segitiga | [700 800 900] |
| <i>High</i> (H) | Segitiga | [800 900 1000] |
| <i>Very High</i> (VH) | Segitiga | [900 1000 1000] |



Gambar 2.10 Fungsi Keanggotaan dan Nilai Variabel Output
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017)

2. Fuzzy Rule Base

Kemampuan analisis manusia memiliki pengetahuan yang baik tentang perilaku sistem dan risiko yang terlibat dalam berbagai jenis kegagalan. Untuk mengekspresikan pengetahuan tersebut tentang hubungan antara berbagai mode kegagalan dan efeknya direpresentasikan dalam bentuk *fuzzy if-then* menurut Sharma dkk. (2005). Aturan *if-then* yang khas digunakan untuk menentukan apakah anteseden (kondisi) menyimpulkan konsekuensi (kesimpulan) (Sharma dkk., 2005). Tiga parameter *input* yang digunakan, dengan menggunakan lima level *Very High* (VH), *High* (H), *Moderate* (M), *Low* (L), dan *Very Low* (VL) memperoleh 125 *fuzzy rule base combinations* (Balaraju dkk., 2019; Widianti dan Firdaus, 2017). Berikut contoh tampilan *rule base* dalam *fuzzy FMEA* menurut Widianti dan Firdaus (2017) pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Rule Base *Fuzzy FMEA*
 Sumber: Widianti dan Firdaus (2017)

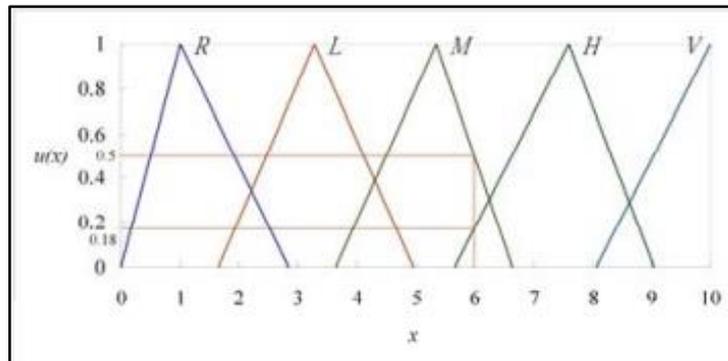
| No | Severity | Occurrence | Detection | Fuzzy Output |
|----|----------|------------|-----------|--------------|
| 1 | VL | VL | VL | N |
| 2 | VL | VL | L | N |
| 3 | VL | VL | M | VL |
| 4 | L | VL | VL | N |
| 5 | M | VL | VL | VL |
| 6 | H | VL | VH | HL |

3. Fuzzy Inference System

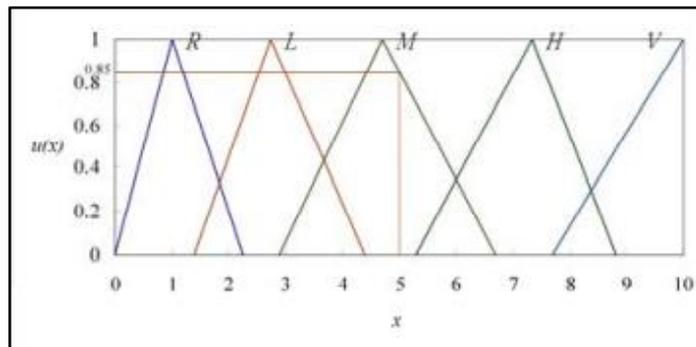
Menurut Yeh dan Hsieh (2007), minimum inferensi digunakan untuk menggabungkan aturan *if-then* dalam *rule base fuzzy* dan melibatkan sebuah kesimpulan *fuzzy*. Minimum inferensi menggunakan:

- Operator “minimum” untuk “AND” di bagian *IF* aturan dan operator “maksimum” untuk “OR” dibagian aturan *IF*.
- Kombinasi “union” (operator maksimum) dalam mengagregatkan hasil aturan-aturan tersebut secara individual.

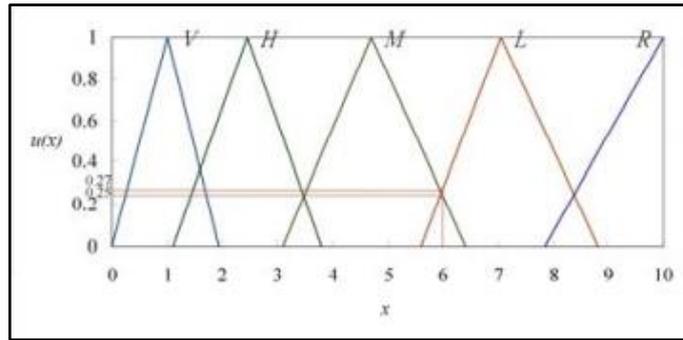
Berikut adalah contoh penjelasan proses minimum inferensi menurut Yeh dan Hsieh (2007), dengan mode kegagalan *severity* 6, *occurrence* 5, dan *detection* 6 pada Gambar 2.12, Gambar 2.13, Gambar 2.14.



Gambar 2.11 Membership Function Severity
Sumber: Yeh dan Hsieh (2007)



Gambar 2.12 Membership Function Occurrence
Sumber: Yeh dan Hsieh (2007)



Gambar 2.13 *Membership Function Detection*
 Sumber: Yeh dan Hsieh (2007)

Tabel 2.10 Contoh *Membership Value*
 Sumber: Yeh dan Hsieh (2007)

| Linguistic Var. | Linguistic Term | MF Value |
|-------------------|-----------------|----------|
| <i>Severity</i> | M | 0,5 |
| | H | 0,18 |
| <i>Occurrence</i> | M | 0,85 |
| <i>Detection</i> | M | 0,25 |
| | L | 0,27 |

Tabel 2.11 Contoh *Rule Base Fuzzy FMEA*
 Sumber: Yeh dan Hsieh (2007)

| Rule | Severity | Occurrence | Detection | Risk |
|-------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------|
| 1 | R | R | M, H, or VH | L |
| 2 | M | M | R, L, or M | M |
| 3 | M | M | R or L | FH |
| 4 | H | M | R or L | H |
| 5 | H | M | M, H, or VH | FH |
| 6 | VH | L | L | H |

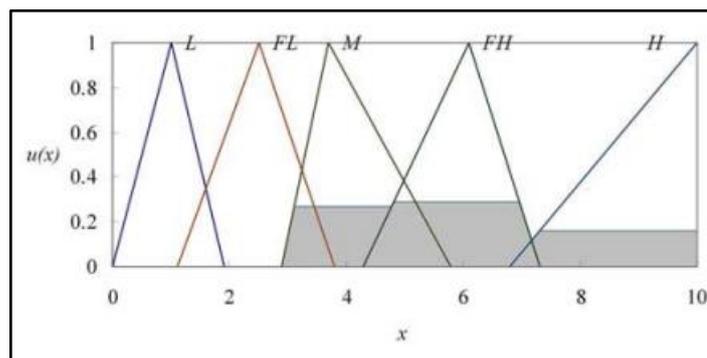
Berdasarkan pada Tabel 2.10 bagian *IF* yaitu *severity*= M, *occurrence*= M, dan *detection*= M, dengan nilai masing-masing adalah 0,5;0,85;0,25 menjadi kesimpulan *THEN* risk=M (menggunakan aturan *fuzzy rule base* Tabel 2.11) dengan angka minimum 0,25 (Tabel 2.12). Setelah menemukan *if-then* berdasarkan *rule base fuzzy FMEA*, terdapat kesamaan linguistik pada *THEN* yaitu risk = FH dengan nilai 0,27 dan 0,18 untuk derajat keanggotaan, dengan nilai yang diambil yaitu maksimum 0,27 (Tabel 2.12).

Tabel 2.12 Contoh Kesimpulan *Fuzzy if-then*
 Sumber Yeh dan Hsieh (2007)

| <i>Sev.</i> | <i>IF Occ.</i> | <i>Det.</i> | <i>THEN Risk</i> |
|-------------|----------------|-------------|------------------|
| M (0,5) | M (0,85) | M (0,25) | M (0,25) |
| M (0,5) | M (0,85) | L (0,27) | FH (0,27) |
| H (0,18) | M (0,85) | M (0,25) | FH (0,18) |
| H (0,18) | M (0,85) | L (0,27) | H (0,18) |

4. *De-fuzzification*

De-fuzzification dilakukan untuk mendapat peringkat atau *ranking* nilai *crisp* dari himpunan kesimpulan *fuzzy* dimana digunakan untuk menyatakan tingkat risiko/kritis dari sebuah kegagalan sehingga tindakan korektif atau perbaikan dapat diprioritaskan (Sharma dkk., 2005). Sedangkan menurut Lestari dkk. (2021), *de-fuzzification* (defuzzifikasi) digunakan untuk mencari nilai keluaran berupa nilai *FRPN*. Metode *Centroid (Composite Moment)* merupakan metode yang digunakan dalam *de-fuzzification*, dimana solusi nilai tegas atau (*crisp*) diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy* (Islam dkk., 2020). Bentuk kesimpulan *fuzzy* dapat diilustrasikan dalam *output membership function* (risiko) yang ada pada Gambar 2.1.1



Gambar 2.14 *Output Membership Function*
 Sumber: Yeh dan Hsieh (2007)

Daerah arsir atau bayangan pada Gambar 2.15 berarti kesimpulan *fuzzy*. Selain itu, pusat-pusat himpunan *fuzzy* M, FH, dan H adalah 3,7; 6,1; 10. Titik yang memiliki nilai keanggotaan maksimal dan ketinggian himpunan *fuzzy* M, FH, dan H adalah 0,25;0,27;0,18 (tinggi daerah bayangan). Berikut

ini bentuk defuzzifikasi dapat dilihat pada persamaan pusat rata-rata yang mirip dengan nilai rata-rata dari variabel acak, dan menentukan titik nyata y sebagai berikut:

$$y^* = \frac{\sum_i \bar{y}_i w_i}{\sum_i w_i} \quad (2.4)$$

Dimana, y_i adalah pusat dari himpunan *fuzzy* ke- i dan W_i adalah tinggi dari himpunan *fuzzy* ke- i . Dengan menggunakan persamaan 2.4 maka rata-rata pusat menghasilkan nilai $y^* = 6,24$.

2.5. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang terdahulu mengenai tentang penggunaan metode *FMEA* dan Logika *fuzzy* dalam perbaikan kualitas. Seperti yang telah dilakukan oleh Yuniar dkk. (2015) dalam Jurnal Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada dengan topik *Perbaikan Kualitas Komponen Berdasarkan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) dan Logika Fuzzy* digunakan untuk mencari akar masalah penyebab kegagalan dengan menggunakan *FMEA* dan Logika *fuzzy* untuk mencari prioritas penyebab kegagalan yang akan dianalisis dan menghasilkan sebuah usulan perbaikan yang dapat menanggulangi kegagalan.

Penelitian terdahulu selanjutnya yaitu perbaikan kualitas proses produksi karton box dengan menggunakan metode DMAIC dan *fuzzy FMEA* oleh Nasution dan Sodikin (2018). Analisis pengendalian kualitas yang dilakukan dengan menggunakan metode DMAIC dan *fuzzy FMEA* melalui pendekatan kuantitatif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi tingkat kecacatan yang tinggi, menganalisis faktor penyebab kecacatan serta usulan perbaikan guna peningkatan kualitas proses produksi karton box. Sedangkan, Perbedaan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan nanti adalah, penggunaan metode *fuzzy FMEA* dengan tujuan untuk menganalisis penyebab terjadinya produk cacat sehingga dapat dilakukan tindakan pengurangan kuantitas produk cacat pada proses produksi roti di perusahaan PT. XYZ.