

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Logika Fuzzy

1. Pengertian Logika Fuzzy

Fuzzy didefinisikan sebagai sesuatu yang *blurred* (samar atau kabur), *indistinct* (tidak jelas), *confused* (membingungkan) (Naba, 2009). Istilah sistem Fuzzy tidak mengacu kepada suatu sistem yang samar atau tidak jelas cara kerja, definisi atau deskripsinya. Sebaliknya, sistem Fuzzy merupakan sebuah sistem yang dibangun dengan cara kerja, definisi dan deskripsi yang jelas berdasarkan teori *Fuzzy Logic* atau Logika Fuzzy (Hapiz, 2017). Artinya, meskipun suatu keadaan yang ingin direpresentasikan menggunakan sistem Fuzzy adalah bersifat samar, sistem Fuzzy tersebut mempunyai deskripsi dan pengertian cara kerja yang jelas berdasarkan pada teori Logika Fuzzy.

Secara umum, Logika Fuzzy adalah cara berhitung dengan menggunakan kalimat atau perkataan sehari-hari untuk menggantikan berhitung menggunakan angka. Tentunya, kata-kata yang digunakan dalam Logika Fuzzy tidak sepresisi dengan angka, namun penggunaan kata-kata lebih dekat dengan intuisi manusia dimana manusia dapat langsung merasakan nilai dari variabel kata-kata yang digunakan dalam keseharian. Dengan begitu, Logika Fuzzy bisa memberi ruang maupun mengeksplorasi toleransi kepada ketidakpastian.

Menurut Cox (1994) dalam Kusumadewi dan Purnomo (2013), terdapat beberapa alasan mengapa orang menggunakan Logika Fuzzy, antara lain:

- a. Konsep Logika Fuzzy mudah dimengerti. Dasar teori yang digunakan dalam logika fuzzy adalah konsep himpunan. Oleh karena itu, konsep matematis yang mendasari penalaran Fuzzy tersebut cukup mudah untuk dimengerti.
- b. Logika Fuzzy sangat fleksibel, artinya Logika Fuzzy dapat beradaptasi dengan ketidakpastian dan perubahan-perubahan yang menyertai permasalahan.
- c. Logika Fuzzy mempunyai toleransi terhadap data yang tidak tepat. Jika diberikan sekelompok data yang cukup homogen, dan kemudian ada beberapa data yang “eksklusif”, maka Logika Fuzzy memiliki kemampuan untuk menangani data eksklusif tersebut.
- d. Logika Fuzzy dapat memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
- e. Logika Fuzzy mampu mengaplikasikan dan membangun pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan. Dalam hal ini, sering dikenal dengan nama *Fuzzy Expert System* menjadi bagian terpenting.
- f. Logika Fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional. Hal ini umumnya terjadi pada aplikasi di bidang teknik elektro maupun teknik mesin.
- g. Logika Fuzzy didasarkan pada bahasa alami. Logika Fuzzy menggunakan bahasa sehari-hari sehingga mudah dimengerti.

2. Istilah-istilah dalam Logika Fuzzy

Terdapat beberapa hal yang harus dimengerti dalam memahami Logika Fuzzy, diantaranya:

- a. Variabel Fuzzy

Variabel Fuzzy adalah variabel yang akan dibahas dalam sebuah sistem Fuzzy (Kusumadewi & Purnomo, 2013). Contohnya produksi barang, temperatur, umur, curah hujan, dsb.

b. Himpunan Fuzzy

Himpunan Fuzzy merupakan suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan atau situasi tertentu (Kusumadewi & Purnomo, 2013). Sebagai contoh, variabel permintaan terbagi menjadi 3 himpunan Fuzzy yaitu sedikit, normal, banyak. Himpunan Fuzzy mempunyai 2 atribut (Kusumadewi & Purnomo, 2013), yaitu:

- 1) Linguistik, yaitu penamaan suatu kelompok yang mewakili sebuah keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti tidak jelas, kurang jelas, jelas.
- 2) Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti 450, 200, 800, dsb.

c. Semesta Pembicaraan

Menurut Kusumadewi dan Haryono (2013), semesta pembicaraan merupakan keseluruhan nilai yang diizinkan untuk dioperasikan dalam sebuah variabel Fuzzy. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan negatif maupun bilangan positif yang bertambah secara monoton dari kiri ke kanan. Namun kadang kala nilai sistem pembicaraan tidak dibatasi batas atasnya. Sebagai contoh, semesta pembicaraan untuk variabel umur kucing adalah $[0, +\infty)$. Sehingga semesta pembicaraan untuk variabel umur kucing adalah $0 \leq \text{umur} < +\infty$. Artinya, nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan pada variabel umur kucing berkisar antara 0 sampai tak hingga.

d. Domain

Domain himpunan Fuzzy merupakan keseluruhan nilai yang diperbolehkan dalam semesta pembicaraan untuk dioperasikan dalam himpunan Fuzzy (Kusumadewi & Purnomo, 2013). Sama halnya dengan semesta pembicaraan, domain dapat berupa bilangan positif maupun bilangan negatif yang bertambah secara monoton dari kiri ke kanan. Contoh domain Fuzzy untuk variabel umur kucing adalah junior $[0,15]$, dewasa $[12,18]$, senior $[15, +\infty]$.

3. Fungsi Keanggotaan

Himpunan Fuzzy A pada semesta pembicaraan U dapat didefinisikan sebagai suatu himpunan pasangan terurut $A = \{x, \mu_A(x) | x \in U\}$. Simbol $\mu_A(x)$ merupakan *grade* atau derajat keanggotaan x pada himpunan A . Kusumadewi dan Purnomo (2013) mengartikan fungsi keanggotaan atau *membership function* sebagai suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (sering disebut juga dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan, antara lain (Agustin, 2015):

a. Representasi Linear

Pada fungsi keanggotaan linear, pemetaan *input* ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai sebuah garis lurus. Terdapat dua keadaan himpunan Fuzzy yang linear, yaitu:

- 1) Fungsi keanggotaan linear naik, garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan 0 bergerak ke kanan menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi. Adapun fungsi keanggotaan linear naik adalah sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (2.1)$$

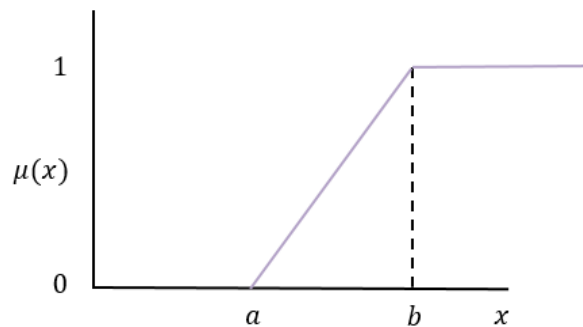
Keterangan:

a = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 0

b = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 1

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan Fuzzy

Gambar 2.1 Grafik Fungsi Keanggotaan Linear Naik



(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

- 2) Fungsi keanggotaan linear turun, garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan lebih rendah. Adapun fungsi keanggotaan linear turun adalah sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (2.2)$$

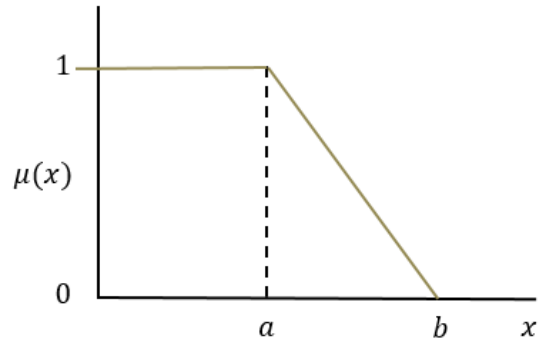
Keterangan:

a = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 1

b = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 0

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan Fuzzy

Gambar 2.2 Grafik Fungsi Keanggotaan Linear Turun

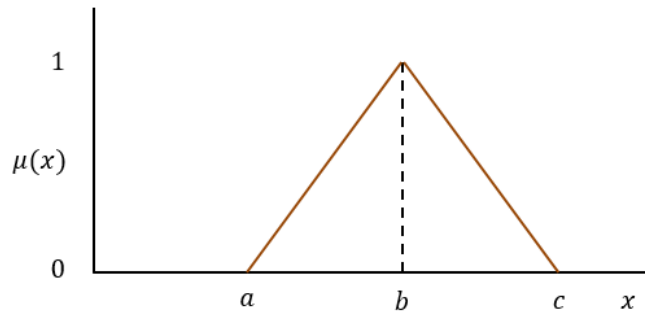


(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

b. Representasi Kurva Segitiga

Suatu fungsi keanggotaan himpunan Fuzzy disebut fungsi keanggotaan segitiga jika memiliki tiga parameter, yaitu: a, b, c dengan $a \leq b \leq c$. Kurva segitiga pada dasarnya adalah gabungan dari grafik fungsi keanggotaan linear naik dan turun seperti terlihat pada Gambar 2.3.

Gambar 2.3 Grafik Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga



(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Fungsi keanggotaan kurva segitiga adalah sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-a} & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.3)$$

Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang memiliki derajat keanggotaan 0

b = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 1

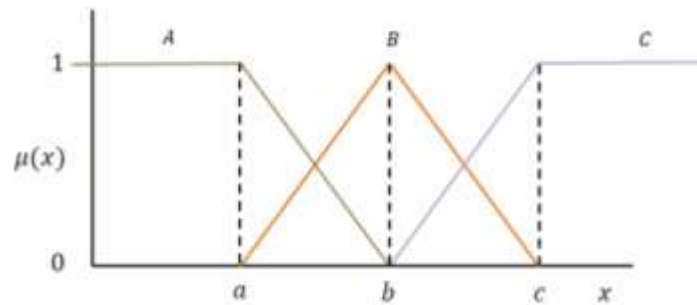
c = nilai domain terbesar yang memiliki derajat keanggotaan 0

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan Fuzzy

c. Representasi Kurva Bahu

Representasi kurva bahu digambarkan dengan daerah yang berada di tengah merupakan kurva segitiga sedangkan pada sisi kiri adalah linear turun dan sisi kanan adalah linear naik. Bahu kiri bergerak dari benar ke salah, sedangkan bahu kanan bergerak dari salah ke benar. Representasi kurva bentuk bahu dengan himpunan Fuzzy A, B , dan C ditunjukkan oleh gambar berikut:

Gambar 2.4 Grafik Fungsi Keanggotaan Kurva Bahu



(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Fungsi Keanggotaan:

1) Himpunan Fuzzy A

Fungsi keanggotaan untuk himpunan Fuzzy A yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (2.4)$$

Keterangan:

a = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 1

b = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 0

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan Fuzzy

2) Himpunan Fuzzy B

Fungsi keanggotaan untuk himpunan Fuzzy B yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-a} & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.5)$$

Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang memiliki derajat keanggotaan 1

b = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 1

c = nilai domain terbesar yang memiliki derajat keanggotaan 1

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan Fuzzy

3) Himpunan Fuzzy C

Fungsi keanggotaan untuk himpunan Fuzzy C yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq b \\ \frac{x-b}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 1 & x \geq c \end{cases} \quad (2.6)$$

Keterangan:

a = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 0

b = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 1

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan Fuzzy

4. Operasi Dasar Himpunan Fuzzy

Operasi himpunan Fuzzy dibutuhkan dalam proses inferensi atau penalaran. Operasi ini didefinisikan secara khusus untuk memodifikasi dan mengkombinasi himpunan Fuzzy. Dalam hal ini yang dioperasikan adalah derajat keanggotaan. Derajat keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua buah himpunan Fuzzy disebut α -predikat atau *fire strength*. Menurut Cox (1994) dalam Kusumadewi dan Purnomo (2013), terdapat tiga operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh, antara lain:

a. Operator *And*

Operator *And* berhubungan dengan operasi irisan pada himpunan. α -predikat sebagai hasil dari operasi *and* diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antarelemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan. Rumus operasi *And* adalah sebagai berikut:

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (2.7)$$

Contoh:

Suatu perusahaan memperkirakan jumlah produksi barang berdasarkan jumlah permintaan produk dan persediaan bahan. Misalkan nilai keanggotaan permintaan produk = 4500 pada himpunan sedikit adalah 0,27 dan nilai keanggotaan persediaan bahan = 54 pada himpunan banyak adalah 0,3. Misalkan pula, μ_{pps} menyimbolkan $\mu_{\text{permintaan produk sedikit}}$ dan μ_{pbb} menyimbolkan $\mu_{\text{persediaan barang banyak}}$ maka $\mu_{pps}[4500] = 0,27$ dan $\mu_{pbb}[54] = 0,3$. Diperoleh α -predikat untuk permintaan produk dan persediaan bahan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{pps \cap pbb} &= \min(\mu_{pps}[4500], \mu_{pbb}[54]) \\ &= \min(0,27; 0,3) \\ &= 0,27 \end{aligned}$$

b. Operator *Or*

Operator *Or* berhubungan dengan operasi gabungan pada himpunan. α -predikat sebagai hasil dari operasi *Or* diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antarelemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan. Rumus operator *Or* yaitu:

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (2.8)$$

Contoh:

Suatu perusahaan memperkirakan jumlah produksi barang berdasarkan jumlah permintaan produk dan persediaan bahan. Misalkan nilai keanggotaan permintaan produk = 4500 pada himpunan sedikit adalah 0,27 dan nilai keanggotaan persediaan bahan = 54 pada himpunan banyak adalah 0,3. Misalkan pula, μ_{pps} menyimbolkan $\mu_{\text{permintaan produk sedikit}}$ dan μ_{pbb} menyimbolkan $\mu_{\text{persediaan barang banyak}}$ maka $\mu_{pps}[4500] = 0,27$ dan $\mu_{pbb}[54] = 0,3$. Diperoleh α -predikat untuk permintaan produk dan persediaan bahan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{pps \cup pbb} &= \max(\mu_{pps}[4500], \mu_{pbb}[54]) \\ &= \max(0,27; 0,3) \\ &= 0,3 \end{aligned}$$

c. Operator *Not*

Operator *not* berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator *not* diperoleh dengan mengurangkan nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1. Rumus operator *Not* yaitu:

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A[x] \quad (2.9)$$

Contoh:

Misalkan nilai keanggotaan permintaan produk = 4500 pada himpunan sedikit adalah 0,27. Misalkan pula, μ_{pps} menyimbolkan $\mu_{\text{permintaan produk sedikit}}$ maka $\mu_{pps}[4500] = 0,27$ Diperoleh α -predikat permintaan produk banyak sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\mu_{pps'} &= 1 - \mu_{pps}[4500] \\
&= 1 - 0,27 \\
&= 0,73
\end{aligned}$$

B. Fuzzy Inference System (FIS)

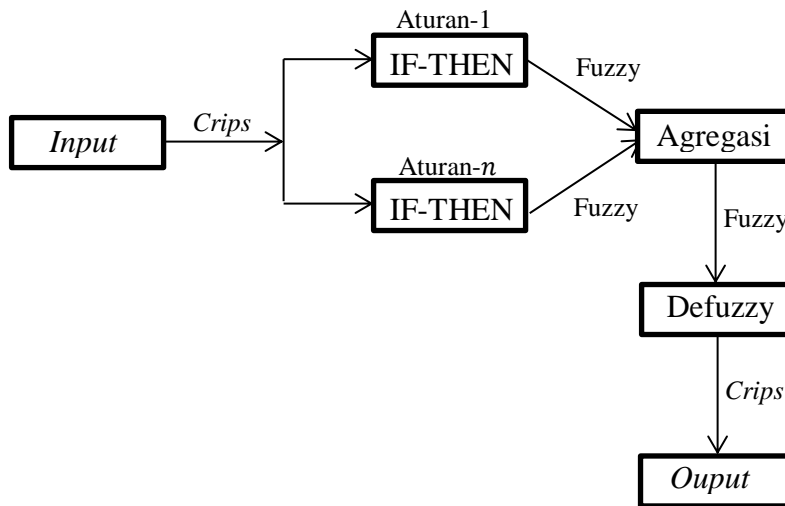
Fuzzy Inference System (FIS) atau sistem inferensi Fuzzy berguna sebagai pendukung pengambilan keputusan melalui proses tertentu dengan menggunakan aturan inferensi berdasarkan *Fuzzy logic* atau Logika Fuzzy (Hapiz, 2017). *Fuzzy Inference System* (FIS) memiliki 4 tahap, yaitu (Hapiz, 2017):

1. Fuzzyfikasi, merupakan sebuah proses mengubah nilai tegas yang ada kedalam fungsi keanggotaan.
2. Aturan dasar (*rule based*), yaitu suatu bentuk implikasi “jika-maka” atau “*if-then*” seperti pada pernyataan “jika x adalah A , maka y adalah B ”.
3. Penalaran (*inference machine*), merupakan proses implikasi menalar nilai masukan untuk menentukan nilai keluaran sebagai bentuk pengambilan keputusan. Salah satu model penalaran yang sering digunakan adalah penalaran maxmin.
4. Defuzzyfikasi

Menurut (Agustin, 2015), *input* dari proses defuzzyfikasi yaitu suatu himpunan Fuzzy yang didapatkan dari komposisi aturan-aturan Fuzzy, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan nilai tegas yang berupa bilangan pada domain himpunan Fuzzy tersebut. Nilai tegas tersebut kemudian direalisasikan dalam bentuk tindakan yang dilaksanakan dalam proses tersebut.

Langkah-langkah di atas dijelaskan dalam diagram berikut:

Gambar 2.5 Langkah Kerja *Fuzzy Inference System* (FIS)



(Sumber: Kusumadewi & Purnomo, 2013)

Fuzzy Inference System (FIS) menerima *input crips* yang kemudian dikirim kepada basis pengetahuan yang berisi n aturan Fuzzy berbentuk “*if-then*”. Derajat keanggotaan anteseden atau α akan dicari pada setiap aturan. Jika aturan lebih dari satu, maka akan dilakukan agregasi semua aturan. Setelah itu, pada hasil agregasi akan dilakukan deFuzzyfikasi untuk mendapatkan nilai *crisp* sebagai *output* sistem inferensi Fuzzy.

Salah satu metode FIS yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan adalah metode inferensi Fuzzy Tsukamoto. Pada inferensi Fuzzy Tsukamoto, implikasi setiap aturan berbentuk implikasi “jika-maka” atau “*if-then*” yang mana antara anteseden dan konsekuen terdapat hubungan. Setiap aturan digambarkan menggunakan himpunan-himpunan Fuzzy, dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, *output* hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*). Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot (Kusumadewi & Purnomo, 2013).

C. Inferensi Fuzzy Tsukamoto

Pada inferensi Fuzzy Tsukamoto, implikasi setiap aturan berbentuk implikasi “jika-maka” atau “*if-then*” yang mana antara anteseden dan konsekuen terdapat hubungan. Setiap aturan digambarkan menggunakan himpunan-himpunan Fuzzy, dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, *output* hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*). Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot (Kusumadewi & Purnomo, 2013). Secara umum bentuk model Fuzzy Tsukamoto, yaitu:

Jika (x adalah A) dan (y adalah B) maka (z adalah C)

Dimana A, B, C adalah himpunan Fuzzy.

Misalkan diketahui 2 aturan (*rule*) berikut:

Jika (x adalah A1) dan (y adalah B1) maka (z adalah C1)

Jika (x adalah A2) dan (y adalah B2) maka (z adalah C2)

Menurut (Ilmiyah & Resti, 2022) langkah-langkah penyelesaian dalam inferensi Fuzzy Tsukamoto yaitu:

1. Mengidentifikasi kasus
2. Mengidentifikasi jenis variabel *input* dan variabel *output* beserta himpunan-himpunan Fuzzy yang terkait
3. Menyusun grafik dan fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel *input* dan variabel *output*
4. Mencari derajat keanggotaan untuk setiap variabel *input* dalam himpunan-himpunan Fuzzy yang terkait
5. Mengkonstruksikan aturan Fuzzy (*Fuzzy Rules*)

6. Menentukan Fire Strength ($\alpha - predikat$) dan nilai *crisp* hasil inferensi (z_n) untuk setiap *Fuzzy Rules*

7. Menghitung rata-rata nilai *crisp* hasil inferensi (z)

Nilai z sebagai hasil akhir dihitung menggunakan rata-rata terbobot dengan rumus:

$$z = \frac{\alpha - pred_1.z_1 + \alpha - pred_2.z_2 + \dots + \alpha - pred_n.z_n}{\alpha - pred_1 + \alpha - pred_2 + \dots + \alpha - pred_n} \quad (2.10)$$

D. Metode Pengambilan Keputusan

Terdapat 3 inferensi Fuzzy yang paling terkenal sebagai pendukung pengambilan keputusan. Selain inferensi Fuzzt Tsukamoto terdapat inferensi Fuzzy Mamdani dan inferensi Fuzzy Sugeno. Berikut adalah penjelasan terkait 2 inferensi Fuzzy tersebut:

1. Inferensi Fuzzy Mamdani

Inferensi Fuzzy Mamdani atau Metode Max-Min diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 (Nasution, 2014). Untuk mendapatkan *output*, dilakukan empat tahapan yaitu (Yudhihartanti, 2011):

- a. Pembentukan himpunan Fuzzy. Variabel *input* dan variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan Fuzzy.
- b. Fuzzyfikasi, yaitu menentukan derajat keanggotaan variabel *input*.
- c. Operasi logika Fuzzy, perlu dilakukan jika bagian *antecedent* lebih dari satu pernyataan melakukan operasi-operasi logika Fuzzy. Hasil akhir dari operasi ini adalah derajat keanggotaan kebenaran *antecedent* yang berupa bilangan tunggal. Operator Fuzzy untuk melakukan operasi *And* dan *Or* bisa dibuat sendiri.
- d. Implikasi: menerapkan metode implikasi untuk menentukan bentuk akhir Fuzzy set keluaran. *Consequent* atau keluaran dari aturan Fuzzy ditentukan dengan mengisikan

kumpulan Fuzzy keluaran ke variabel keluaran. Fuzzy implikasi yang digunakan adalah min.

- e. Agregasi: yaitu proses mengkombinasi keluaran semua aturan *if-then* menjadi sebuah kumpulan Fuzzy tunggal menggunakan fungsi max. Apabila digunakan fungsi implikasi min maka metode agregasi ini disebut dengan nama max-min atau Mamdani.
- f. Defuzzyfikasi: input dari proses ini adalah suatu himpunan Fuzzy yang diperoleh dari komposisi atauran-aturan Fuzzy, sedangkan *outputnya* adalah bilangan pada domain himpunan Fuzzy tersebut. Salah satu metode defuzzyfikasi yaitu metode centroid.

Penelitian dari Ayu, Irfan, dan Jumadi (2017) tentang analisa perbandingan Fuzzy Tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani pada kasus prediksi jumlah pendaftar mahasiswa baru Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Jati menunjukkan bahwa inferensi Fuzzy Mamdani merupakan inferensi Fuzzy dengan tingkat eror paling kecil yaitu 19,76%, disusul oleh inferensi Fuzzy Tsukamoto dengan tingkat eror 39,03% dan inferensi Fuzzy Sugeno memiliki tingkat eror paling besar yaitu 86,41%.

2. Inferensi Fuzzy Sugeno

Fuzzy Sugeno diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985 (Kusumadewi & Purnomo, 2013). Inferensi Fuzzy Sugeno hampir sama dengan inferensi Fuzzy Mamdani, hanya saja *output* sistem tidak berupa himpunan Fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear (Kusumadewi & Purnomo, 2013). Tahapan proses pada inferensi Fuzzy Sugeno sama dengan inferensi Fuzzy Mamdani untuk tahap penentuan variabel *input* hingga tahap operasi logika Fuzzy. Pada tahap selanjutnya yaitu implikasi hingga defuzzyfikasi terdapat perbedaan yaitu (Yudhihartanti, 2011):

- a. Implikasi: menerapkan metode implikasi untuk menentukan bentuk akhir *fuzzy set* keluaran. Keluaran dari aturan Fuzzy ditentukan dengan mengisikan keanggotaan keluaran yang bersifat linear atau konstan.
- b. Agregasi: proses mengkombinasi keluaran dimana keluaran bukan dalam bentuk fungsi keanggotaan, tetapi sebuah bilangan yang berubah secara linear terhadap variabel-variabel *input*.
- c. Defuzzyfikasi dilakukan dengan mencari nilai rata-ratanya.

Terdapat metode pengambilan keputusan selain inferensi Fuzzy diantara adalah metode Borda, *Analytical Hierarchy Process (AHP)*, *Weighted Product (WP)*, *Simple Additive Weighting (SAW)*, dan *Promethee*.

1. Metode Borda

Metode Borda merupakan metode *voting* yang dapat menyelesaikan pengambilan keputusan kelompok, yang mana dalam penerapannya masing-masing *decision maker* memberi peringkat berdasarkan alternatif pilihan yang ada, proses pemilihan dalam metode Borda, masing-masing *voter* diberikan alternatif pilihan (Indra, Mahadewa, & Putu, 2018). Wang dan Leung (2004) dalam Indra, Mahadewa, & Putu (2018) menjelaskan, misalkan terdapat n kandidat pilihan, kandidat atau alternatif pertama diberikan n poin oleh *decision maker*. Kandidat atau alternatif kedua diberikan poin $n - 1$ dan seterusnya. Penentuan pemenang atau alternatif terbaik berdasarkan pada poin tertinggi. Alternatif dengan poin tertinggi merupakan pertimbangan yang akan dipilih.

2. Metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)*

Metode AHP merupakan model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty (Limbong, 2020). Model AHP menguraikan masalah multi faktor atau

multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki, menurut Saaty (2002) dalam Limbong (2020), hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level yang mana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif.

3. Metode *Weighted Product* (WP)

Metode WP merupakan metode pengambilan keputusan berdasarkan analisis multi kriteria yang sangat terkenal dan merupakan metode pengambilan keputusan multi kriteria (Kurniawan & Purba, 2018). Salah satu metode FMADM yaitu metode *Weighted Product* yang merupakan kumpulan berhingga dari alternatif keputusan yang dijelaskan dalam beberapa istilah kriteria pengambilan keputusan (Mulawarman, 2011).

4. Metode *Simple Additive Weighting* (SAW)

Metode SAW sering dikenal dengan sebutan metode penjumlahan terbobot. konsep dasar metode SAW adalah mencari penjumlahan terbobot dari rating kinerja pada setiap alternatif pada semua atribut. metode SAW membutuhkan proses nornalisasi matriks keputusan (X) ke suatu skala yang dapat diperbandingkan dengan semua rating alternatif yang ada.

5. Metode Promethee

Metode Promethee merupakan salah satu metode *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yang berarti melakukan pengurutan atau penentuan dalam sebuah analisis multikriteria (Lemantara, Setiawan, & Aji, 2013). Langkah-langkah perhitungan metode Promethee adalah sebagai berikut (Imandasari & Windarto, 2017):

a. Menentukan beberapa alternatif.

- b. Menentukan beberapa kriteria.
- c. Menentukan dominasi kriteria.
- d. Menentukan tipe penilaian, yang mana tipe penilaian ada dua yaitu: tipe minimum dan tipe maksimum.
- e. Menentukan tipe preferensi untuk setiap kriteria yang paling cocok didasarkan pada data dan pertimbangan dari *decision maker*. tipe preferensi ini berjumlah enam yaitu: *Usual, Quasi, Linear, Level, Linear Quasi, dan Gaussian*.
- f. Memberikan nilai *threshold* atau kecenderungan untuk setiap kriteria berdasarkan preferensi yang telah dipilih.
- g. Perhitungan *Entering Flow, leaving Flow, dan Net Flow*.
- h. Hasil pengurutan hasil dari perankingan.

E. Jasa Ekspedisi

Secara harfiah, ekspedisi berarti pengiriman barang dari suatu daerah ke daerah yang lain dalam jangka waktu tertentu dan barang yang dikirim memiliki berat tertentu. Jasa ekspedisi merupakan perusahaan penyedia layanan pengiriman atau pengangkutan barang dari suatu daerah ke daerah yang lain. Tarif yang dikenakan dalam penggunaan jasa ekspedisi ditentukan berdasarkan berat barang, jarak yang ditempuh dan pilihan waktu pengiriman. Salah satu jasa ekspedisi yang ada di Indonesia adalah PT SiCepat Ekspres.

PT SiCepat Ekspres merupakan perusahaan pengiriman barang yang berdiri sejak tahun 2014 (SiCepat, 2021). SiCepat bekerja dengan FAST: Fokus, Aktid dan Kreatif, *Service Excellent, Teamwork* (SiCepat, 2022). Terdapat setidaknya 5 fitur layanan SiCepat yang mempermudah keperluan masyarakat dalam pengiriman barang yaitu diantaranya (SiCepat, 2022): HALU, SiUntung, BEST, GOKIL, dan PickUp. Fitur layanan SiCepat HALU merupakan

layanan pengiriman barang dengan tarif mulai dari Rp. 5000.00-, dan estimasi waktu pengiriman paket sampai tujuan adalah 1-3 hari. Sedangkan fitur layanan SiUntung merupakan layanan pengiriman barang dengan perkiraan paket sampai tujuan dalam waktu 15 jam untuk wilayah Jabodetabek dan Bandung. Fitur layanan SiCepat BEST memberikan estimasi paket barang sampai di tujuan dalam waktu satu hari untuk pengiriman ke kota-kota besar di Indonesia. Sedangkann fitur layanan GOKIL atau carGO KiLat dapat dimanfaatkan untuk mengirim barang dengan jumlah banyak atau untuk pengiriman barang dengan berat diatas 10 kilogram. Untuk fitur SiCepat PickUp merupakan layanan jemput paket ke tempat pengirim yang dilakukan oleh kurir.

SiCepat melakukan kerjasama dengan beberapa *marketplace* besar di Indonesia seperti Shopee, Tokopedia, dan Bukalapak untuk itu SiCepat juga menyediakan fitur layanan SiCepat COD. Fitur layanan SiCepat COD berarti pembeli melakukan pembayaran pembelian dan tarif pengiriman ketika barang sampai.

Narasumber penelitian yaitu Ilham Pradana selaku *Sorter First Mile* SiCepat cabang Mojoroto mengungkapkan bahwa, dalam pelayanan pengiriman barang SiCepat tidak asal dalam memproses barang untuk dikirim. SiCepat menerapkan aturan bagi pengirim untuk memperhatikan 4 hal yaitu jenis barang, keamanan pengemasan barang, kejelasan identitas pengirim barang, dan kelengkapan identitas penerima barang (komunikasi pribadi, 13 Oktober 2021).

Jenis barang yang dilarang untuk dikirim dengan jasa ekspedisi SiCepat diantaranya barang mudah terbakar atau meledak, senjata tajam, obat terlarang, minuman beralkohol, makanan mudah busuk, benda berharga, hewan atau tumbuhan hidup, dan barang pecah belah.

Gambar 2.6 Barang-barang yang Dilarang Dikirim oleh SiCepat



(Sumber: www.sicepat.com)

Keamanan pengemasan barang ditentukan berdasarkan sifat bahan dasar atau kemasan barang yaitu mudah rapuh/pecah atau tidak. Ilham Pradana mengungkapkan bahwa terdapat 5 model pengemasan yang ditemukan oleh SiCepat yaitu pengemasan dengan kayu, pengemasan dengan kardus yang dilapisi *bubble wrap*, pengemasan dengan kardus saja, pengemasan dengan *bubble wrap* saja, dan pengemasan dengan plastik saja (komunikasi pribadi, 13 Oktober 2021).

Identitas pengirim barang meliputi nama dan nomor telepon pengirim. Kejelasan identitas pengirim jika pengiriman dilakukan via *cash* ditentukan oleh diberikan atau tidak nama dan nomor telepon pengirim kepada *Sorter First Mile* selaku penanggung jawab pemrosesan pengiriman barang. Sedangkan untuk pengiriman via *marketplace*, kejelasan identitas pengirim ditentukan oleh tercantum atau tidak nama pengirim. Ilham Pradana mengungkapkan terdapat 3 kondisi penulisan nama pengirim yang ditemukan oleh SiCepat yaitu: nama pengirim merupakan nama orang/toko, nama pengirim bukan merupakan nama orang atau toko, nama pengirim tidak sama dengan model pengemasan yang dihafal oleh *Sorter First Mile* SiCepat (komunikasi pribadi 17 Oktober 2022).

Identitas penerima barang meliputi nama, alamat dan nomor telepon. Alamat penerima barang meliputi alamat lengkap yang bisa berupa nomor rumah, blok, RT/RW, desa; kecamatan; kota/kabupaten; provinsi; dan kode pos. Kelengkapan identitas penerima barang ditentukan oleh tercantum atau tidak nama, alamat, dan nomor telepon penerima.

F. Kerangka Berpikir

PT SiCepat Ekspres sebagai salah satu perusahaan penyedia jasa pengiriman barang, tidak jarang berhadapan dengan kondisi paket barang yang tidak sepenuhnya memenuhi kriteria untuk dikirim. Kondisi tersebut menimbulkan kesamaran atau ketidakpastian untuk melakukan pengiriman atau tidak. Maka dari itu, SiCepat perlu menerapkan suatu metode atau aturan dalam pengambilan keputusan pengiriman barang.

Di sisi lain, terdapat berbagai metode pengambilan keputusan seperti: inferensi Fuzzy yang meliputi inferensi Fuzzy Mamdani, Tsukamoto, dan Sugeno. Terdapat pula metode pengambilan keputusan selain inferensi Fuzzy, diantaranya: *Weighted Product (WP)*; Borda; *Simple Additive Weighting (SAW)*; *Analytical Hierarchy Process (AHP)*; Promethee. Namun dalam penelitian ini, peneliti ingin menerapkan Fuzzy Tsukamoto dalam pengambilan keputusan pengiriman barang di jasa ekspedisi SiCepat.

Adapun alasan peneliti memilih untuk menerapkan inferensi Fuzzy Tsukamoto dibanding dengan inferensi Fuzzy Mamdani dan Sugeno pada konteks pengambilan keputusan pengiriman barang di SiCepat adalah: perhitungan inferensi Fuzzy Tsukamoto relatif lebih sederhana dan mudah dipahami. Selain itu, pada Fuzzy Sugeno *consequent* pada *Fuzzy Rules* bukan berupa himpunan Fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear sehingga jika diterapkan dalam konteks pengambilan keputusan pengiriman barang di SiCepat, pihak

SiCepat akan kesulitan untuk menyusun atau memeriksa ketepatan *Fuzzy Rules* tersebut karena tidak sesuai dengan bidang keilmuannya.

Alasan peneliti memilih untuk menerapkan inferensi Fuzzy dibanding metode pengambilan keputusan yang lain seperti Borda, AHP, WP, dan SAW adalah karena pada metode Borda, AHP, WP, ataupun SAW *decision maker* memberikan bobot terhadap alternatif ataupun kriteria yang tersedia sedangkan dalam konteks pengambilan keputusan pengiriman barang di SiCepat, *decision maker* adalah *Sorter First Mile* dengan tingkat keprofesionalan yang berbeda-beda sehingga tingkat subjektivitasnya akan tinggi dibanding dengan inferensi Fuzzy. Selanjutnya, alasan peneliti memilih menerapkan inferensi Fuzzy Tsukamoto daripada metode Promethee adalah karena pada tahap preferensi dalam metode Promethee, *decision maker* membandingkan atau mempertimbangkan alternatif yang satu dengan alternatif yang lain maka peneliti setuju dengan pendapat (Satria & Sibarani, 2020) bahwa inferensi Fuzzy Tsukamoto dapat membantu dalam pemberian rekomendasi secara langkas.

Implementasi Fuzzy Tsukamoto dilakukan dengan terlebih dahulu mengambil data dan disajikan dalam bentuk tabulasi untuk selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menerapkan langkah-langkah perhitungan Fuzzy Tsukamoto, kemudian menyusun kesimpulan dan saran.

Gambar 2.7 Bagan Kerangka Berpikir



(Sumber: Dokumentasi Peneliti)