

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Deskripsi Teori

1. Potensi Kepadatan Lalu Lintas

Potensi Kepadatan lalu lintas merupakan prediksi kondisi jalan yang menunjukkan banyaknya kendaraan yang berada dan bergerak pada suatu ruas jalan dalam periode tertentu. Salah satu indikator yang digunakan untuk menggambarkan kondisi arus kendaraan pada suatu ruas jalan. Kepadatan lalu lintas adalah didefinisikan sebagai jumlah kendaraan persatuan panjang jalan tertentu. Satuan yang digunakan adalah kendaraan/kilometer (Tamin, 2020).

Potensi tingkat kepadatan lalu lintas tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi jalan raya, tetapi juga oleh berbagai faktor pendukung lainnya, misalnya adanya warung tegal yang menempati jalur pejalan kaki yang menyebabkan pejalan kaki terpaksa harus menggunakan badan jalan yang tentunya akan mengurangi kapasitas jalan tersebut. Contoh lainnya parkir di badan jalan sudah barang tentu akan mengurangi kapasitas jalan dan akan menyebabkan penurunan kecepatan bagi kendaraan yang melaluinya (Tamin, 2008). Ditambah lagi tindakan yang kurang disiplin oleh pengemudi angkutan umum dalam menaikkan dan menurunkan penumpang di jalan (Badaron dkk., 2019). Kondisi tersebut dapat menyebabkan terjadinya penurunan kinerja jalan yang ditandai dengan berkurangnya kecepatan kendaraan, meningkatnya waktu tempuh, serta bertambahnya antrean kendaraan pada ruas jalan tertentu.

Dalam Tamin (2020), Hubungan mendasar antara kecepatan dan jumlah kendaraan adalah: dengan bertambahnya jumlah kendaraan lalu lintas maka kecepatan rata-rata ruangnya akan berkurang sampai kepadatan kritis (jumlah kendaraan maksimum) tercapai.

Kepadatan lalu lintas pada suatu ruas jalan dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik faktor langsung maupun tidak langsung. Faktor-faktor tersebut antara lain jumlah kendaraan, karakteristik ruas jalan, waktu aktivitas masyarakat, fasilitas umum, kapasitas jalan, kecepatan kendaraan, serta faktor sosial dan demografis (Tamin, 2020). Namun, tidak semua faktor tersebut digunakan sebagai variabel dalam penelitian ini. Pemilihan variabel dalam penelitian harus mempertimbangkan relevansi terhadap tujuan penelitian, ketersediaan data, serta kemampuan variabel dalam merepresentasikan kondisi kepadatan lalu lintas pada ruas jalan di Kota Kediri. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan empat variabel input, yaitu jumlah kendaraan masuk, ruas jalan, waktu aktif, dan fasilitas umum. Sementara itu, beberapa variabel lain tidak digunakan karena memiliki keterbatasan data, berpotensi menimbulkan tumpang tindih dengan variabel lain, atau lebih tepat dipandang sebagai akibat dari kepadatan lalu lintas. Adapun justifikasi pemilihan dan tidak dipilihnya beberapa variabel dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Justifikasi pemilihan variabel penelitian

No.	Variabel/Indikator	Dasar Teori dan Alasan Pemilihan	Keterangan
1.	Jumlah Kendaraan Masuk	Jumlah kendaraan merupakan indikator utama yang secara langsung	Data tersebut didukung oleh pihak

No.	Variabel/Indikator	Dasar Teori dan Alasan Pemilihan	Keterangan
		memengaruhi tingkat kepadatan lalu lintas. Semakin banyak kendaraan yang memasuki suatu ruas jalan, maka semakin besar kemungkinan terjadinya penurunan kecepatan dan peningkatan antrean kendaraan (Tamin, 2020)	Dishub Kota Kediri dan variabel ini dapat berpengaruh terhadap kepadatan lalu lintas
2.	Ruas Jalan	Karakteristik ruas jalan, seperti jumlah lajur dan lebar jalan, menentukan kemampuan jalan dalam menampung arus kendaraan. Perbedaan kondisi ruas jalan dapat menyebabkan tingkat kepadatan yang berbeda meskipun jumlah kendaraan sama (Vironika dkk, 2020)	Digunakan sebagai variabel input karena memengaruhi kapasitas pelayanan jalan.
3.	Waktu Aktif	Jumlah kendaraan pada suatu jalan akan berubah sesuai waktu aktivitas masyarakat, seperti jam berangkat sekolah, jam kerja, dan jam pulang. Oleh karena itu, waktu menjadi indikator penting dalam menentukan potensi kepadatan lalu lintas.	Digunakan sebagai variabel input karena kepadatan bersifat dinamis terhadap waktu.
4.	Jumlah Fasilitas Umum	Keberadaan fasilitas umum, seperti sekolah, pusat perbelanjaan, tempat ibadah, dan fasilitas kesehatan, dapat meningkatkan bangkitan dan tarikan perjalanan sehingga berpotensi menambah volume kendaraan pada ruas jalan tertentu.	Digunakan sebagai variabel input karena memengaruhi mobilitas masyarakat dan potensi kepadatan.
5.	Kapasitas Jalan	Kapasitas jalan memang berpengaruh terhadap kepadatan lalu lintas, namun variabel ini tidak digunakan karena	Tidak digunakan untuk menghindari tumpang tindih

No.	Variabel/Indikator	Dasar Teori dan Alasan Pemilihan	Keterangan
		memerlukan data yang lebih rinci, seperti hambatan samping, tipe jalan, lebar lajur, dan faktor penyesuaian lainnya sesuai MKJI. Selain itu, sebagian informasi kapasitas telah direpresentasikan oleh variabel ruas jalan.	(overlap) dengan variabel ruas jalan dan keterbatasan data.
6.	Kecepatan Kendaraan	Kecepatan kendaraan lebih tepat digunakan sebagai indikator hasil (akibat) dari kepadatan lalu lintas, bukan sebagai faktor penyebab kepadatan.	Tidak digunakan karena berpotensi menimbulkan hubungan sebab-akibat yang terbalik.
7.	Panjang Antrean	Panjang antrean merupakan dampak dari terjadinya kepadatan lalu lintas dan umumnya digunakan dalam penelitian pengaturan lampu lalu lintas.	Tidak digunakan karena penelitian berfokus pada analisis potensi kepadatan, bukan pengendalian simpang.
8.	Pertumbuhan Penduduk dan Urbanisasi	Faktor ini memengaruhi kepadatan secara tidak langsung dan bersifat makro dalam jangka panjang, bukan kondisi lalu lintas harian pada suatu ruas jalan.	Tidak digunakan karena penelitian berfokus pada kondisi operasional lalu lintas di tingkat ruas jalan.

(Sumber : Dokumentasi Penulis)

2. Logika Fuzzy

a. Pengertian Logika Fuzzy

Fuzzy merupakan cabang logika yang menerapkan konsep derajat keanggotaan dalam suatu himpunan. Berbeda dengan logika klasik yang hanya

mengenai nilai benar (*true*) atau salah (*false*), logika fuzzy memungkinkan suatu elemen memiliki nilai keanggotaan antara 0 dan 1 (Rindengan & Langi, 2020). Secara bahasa, fuzzy berarti kabur, tidak jelas, atau tidak pasti, dan secara istilah merupakan representasi pengetahuan yang cocok untuk kondisi yang tidak dapat dinyatakan secara pasti dan tidak dapat diselesaikan secara eksak, melainkan disesuaikan dengan konteksnya. Logika fuzzy dikembangkan oleh Lotfi Asker Zadeh pada tahun 1965 dan banyak diaplikasikan terutama di bidang kendali seperti pada produk elektronik Jepang, seperti mesin cuci dan pendingin ruangan (AC). Karena budaya Timur lebih menerima konsep "abu-abu" dibandingkan budaya Barat yang cenderung melihat sesuatu secara hitam-putih (Rindengan & Langi, 2020).

b. Variabel Fuzzy

Variabel fuzzy adalah objek pembahasan dalam suatu sistem fuzzy, yang dapat memiliki beberapa himpunan fuzzy yang merepresentasikan kondisi atau keadaan tertentu dari variabel tersebut (Rindengan & Langi, 2020). Pada tahun 1973, Lotfi A. Zadeh memperkenalkan konsep penggunaan bahasa sehari-hari (linguistik) untuk variabel fuzzy. Dalam konsep ini, variabel fuzzy dinyatakan menggunakan istilah linguistik atau kata-kata, bukan dalam bentuk nilai numerik. Variabel tersebut dapat berupa besaran seperti suhu, kecepatan, tekanan, dan variabel lainnya. Sementara itu, nilai fuzzy atau nilai linguistik dinyatakan dalam

bentuk kata sifat yang menggambarkan keadaan suatu variabel, seperti sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, atau sangat tinggi (Rindengan & Langi, 2020).

c. Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy adalah pengembangan dari konsep himpunan dalam matematika di mana setiap elemen memiliki derajat keanggotaan (membership) yang bernilai antara 0 dan 1. Berbeda dengan himpunan tegas (crisp) yang hanya memiliki nilai keanggotaan 0 atau 1, himpunan fuzzy memungkinkan adanya nilai linguistik seperti "sangat lambat", "agak sedang", atau "sangat cepat" untuk menggambarkan derajat keanggotaan tersebut (Rindengan & Langi, 2020). Himpunan fuzzy merupakan suatu himpunan yang menggambarkan suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam sebuah variabel fuzzy. Himpunan fuzzy meliputi dua atribut, yaitu:

- 1) Linguistik, yaitu penamaan suatu himpunan yang mewakili suatu keadaan atau tindakan menetapkan kumpulan yang menandakan status atau situasi tertentu melalui bahasa sehari-hari, misalnya rendah, sedang, dan tinggi.
- 2) Numeris, yaitu nilai berupa angka yang menunjukkan ukuran suatu variabel, seperti 40, 25, 50, dan sebagainya.

d. Operasi Dasar Fuzzy Set

Seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan fuzzy. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua himpunan sering dikenal dengan nama *fire strength* atau α -predikat

Ada 3 operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh (disebut Operasi Dasar Zadeh), antara lain:

1) Operator AND

Mengambil nilai minimum dari nilai keanggotaan elemen pada kedua himpunan fuzzy. Jadi operator AND digunakan untuk menggabungkan dua himpunan fuzzy yang keduanya harus terpenuhi. Dalam fuzzy, operasi AND dinyatakan menggunakan fungsi minimum (min). Jika terdapat dua himpunan fuzzy, A dan B, hasil dari operasi AND, yang mewakili irisan, adalah himpunan fuzzy baru. Fungsi ini mencerminkan fungsi irisan yang ditemukan pada himpunan tradisional. Nilai α – *predicate* yang dihasilkan dari operasi AND ini diperoleh dengan memilih nilai keanggotaan terkecil di antara elemen-elemen dalam himpunan yang dipertimbangkan. (Andani, 2013), yaitu:

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

2) Operator OR

Menggabungkan dua himpunan fuzzy, yakni hasilnya menunjukkan sejauh mana suatu elemen termasuk dalam *salah satu atau kedua* himpunan tersebut. Operator OR digunakan untuk menentukan nilai keanggotaan maksimum. Fungsi OR terhubung dengan proses gabungan dalam himpunan fuzzy. Kekuatan api yang dihasilkan dari fungsi OR ditentukan dengan memilih nilai keanggotaan tertinggi dari elemen-elemen dalam

himpunan yang relevan. Oleh karena itu, hasilnya adalah himpunan fuzzy yang diperbarui di mana tingkat keanggotaan setiap elemen didefinisikan oleh nilai terbesar yang diperoleh dari beberapa himpunan (Andani, 2013), yaitu :

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

3) Operator NOT

Dalam logika fuzzy, operator NOT digunakan untuk mendapatkan himpunan kebalikan atau komplemen dari suatu himpunan fuzzy. Nilai keanggotaan setiap elemen pada komplemen tersebut dihitung dengan cara mengurangi 1 dari nilai keanggotaan elemen yang bersangkutan pada himpunan asal. Jadi sebagai hasil operasi dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangkan nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1 (Andani, 2013), yaitu:

$$\mu_A = 1 - \mu_A(x)$$

e. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan mengacu pada keseluruhan rentang nilai yang dapat ditangani dalam variabel fuzzy. Kumpulan ini berisi bilangan riil yang meningkat secara bertahap dari sisi kiri ke kanan, mencakup nilai negatif dan positif, dan mungkin tidak memiliki batas maksimum dalam keadaan tertentu (Rindengan & Langi, 2020). Semesta pembicaraan ini penting karena berfungsi sebagai dasar untuk menetapkan fungsi keanggotaan dalam logika fuzzy.

f. Domain

Domain adalah keseluruhan nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy. Sama seperti semesta pembicaraan (Andani, 2013), domain merupakan himpunan bilangan real yang naik secara monoton dari kiri ke kanan, dan nilainya dapat berupa bilangan positif maupun negatif tergantung pada kebutuhan dan jenis variabel yang digunakan (Rindengan & Langi, 2020).

g. Fungsi keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Fungsi ini digunakan untuk menentukan sejauh mana suatu elemen termasuk dalam himpunan fuzzy (Andani, 2013). Sedangkan, Menurut Athia Fungsi keanggotaan (membership function) dalam logika fuzzy menyatakan derajat keanggotaan suatu elemen terhadap suatu himpunan fuzzy dengan nilai dalam interval $[0,1]$. Nilai ini menunjukkan sejauh mana elemen tersebut termasuk ke dalam himpunan tersebut (Saelan, 2009).

Secara matematis, fungsi keanggotaan didefinisikan sebagai:

$$\mu_A = X \rightarrow [0,1]$$

dengan

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \text{ anggota penuh himpunan } A, \\ 0, & \text{jika } x \text{ bukan anggota himpunan } A \\ \text{nilai diantara 0 dan 1,} & \text{jika } x \text{ anggota sebagian dari } A \end{cases}$$

Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan diantaranya (Rindengan & Langi, 2020) yaitu:

1) Kurva linear

Kurva linear adalah fungsi keanggotaan fuzzy yang pemetaan inputnya digambarkan sebagai garis lurus. Kurva linear dalam konteks fungsi keanggotaan fuzzy biasanya merujuk pada fungsi keanggotaan yang berbentuk garis lurus, yang menghubungkan dua titik dengan nilai keanggotaan antara 0 dan 1 secara linear (Saelan, 2009). Terdapat dua macam kurva linear, diantaranya:

a) Kurva Linear Naik

Kurva linear naik adalah fungsi keanggotaan fuzzy di mana derajat keanggotaan meningkat secara linear dari nol pada nilai domain tertentu ke nilai yang lebih tinggi ke arah kanan. Dengan kata lain, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain dengan derajat keanggotaan nol dan bergerak naik secara linear ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.

Fungsi Keanggotaan

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

Keterangan :

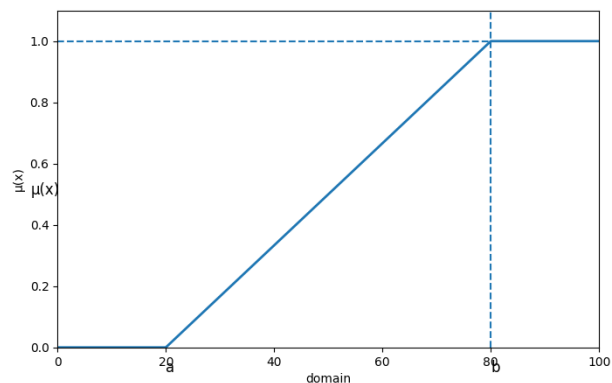
a, b = Batas himpunan semesta pembicaraan

x = Nilai domain

$\mu(X)$ = Nilai derajat keanggotaan

Grafik sebagai berikut:

Gambar 2. 1 Grafik Fungsi Keanggotaan Linear Naik



Sumber : (Munawaroh, 2019)

Dari gambar 2.1 Fungsi keanggotaan linear naik digunakan pada kondisi ketika suatu variabel memiliki hubungan yang searah dengan kategori yang direpresentasikan, yaitu semakin besar nilai variabel maka semakin tinggi derajat keanggotaannya. Fungsi ini sesuai digunakan pada data yang mengalami perubahan secara bertahap (gradual) dan kontinu, sehingga peningkatan nilai variabel diikuti oleh

peningkatan tingkat keanggotaan secara linier. Pemilihan fungsi keanggotaan linear naik pada penelitian ini didasarkan pada karakteristik data lalu lintas yang menunjukkan kecenderungan meningkat. Sebagai contoh, semakin besar jumlah kendaraan masuk, semakin panjang waktu aktivitas, dan semakin banyak fasilitas umum yang tersedia, maka potensi terjadinya kepadatan lalu lintas semakin tinggi. Oleh karena itu, fungsi keanggotaan linear naik dipandang mampu merepresentasikan hubungan antarvariabel secara lebih realistis dan sesuai dengan distribusi data penelitian.

b) Kurva Linear Turun

Kurva linear turun adalah fungsi keanggotaan fuzzy di mana derajat keanggotaan menurun secara linear dari nilai domain dengan derajat keanggotaan satu menuju nilai domain dengan derajat keanggotaan nol. Kurva ini menggambarkan penurunan keanggotaan secara bertahap dan kontinu dari kiri ke kanan pada domain tertentu.

Fungsi Keanggotaan :

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

Keterangan :

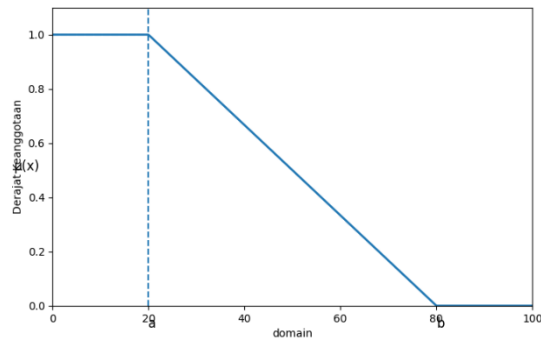
a, b = Batas himpunan semesta pembicaraan

x = Nilai domain

$\mu(X)$ = Nilai derajat keanggotaan

Grafik sebagai berikut:

Gambar 2. 2 Grafik Fungsi Keanggotaan Linear Turun



sumber : (Munawaroh, 2019)

Dari gambar 2. 2 Fungsi keanggotaan linear turun merupakan fungsi keanggotaan yang memiliki nilai derajat keanggotaan menurun secara linier dari nilai 1 menuju 0 seiring dengan bertambahnya nilai suatu variabel. Fungsi ini digunakan untuk merepresentasikan kondisi ketika suatu variabel memiliki hubungan yang berlawanan dengan kategori yang dibentuk, yaitu semakin besar nilai variabel maka semakin kecil derajat keanggotaannya terhadap himpunan fuzzy tersebut. Pemilihan fungsi keanggotaan linear turun pada penelitian ini didasarkan pada karakteristik data yang menunjukkan bahwa nilai-nilai kecil lebih merepresentasikan kategori rendah. Sebagai contoh, semakin sedikit jumlah kendaraan yang melintas maka semakin tinggi derajat keanggotaannya pada kategori rendah, sedangkan peningkatan jumlah kendaraan menyebabkan derajat keanggotaan pada kategori tersebut

semakin menurun. Oleh karena itu, fungsi keanggotaan linear turun dinilai sesuai untuk menggambarkan perubahan data yang bersifat bertahap dan kontinu dari kondisi rendah menuju kondisi tidak rendah.

2) Kurva Segitiga

Kurva segitiga adalah fungsi keanggotaan fuzzy yang merupakan gabungan dari dua kurva linear, yaitu kurva linear naik dan kurva linear turun. Bentuknya menyerupai bidang segitiga, dengan nilai keanggotaan meningkat secara linear dari nol ke puncak segitiga, kemudian menurun secara linear kembali ke nol. Kurva ini sering digunakan untuk merepresentasikan fungsi keanggotaan dalam sistem fuzzy karena kesederhanaannya.

Fungsi Keanggotaan :

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

Keterangan :

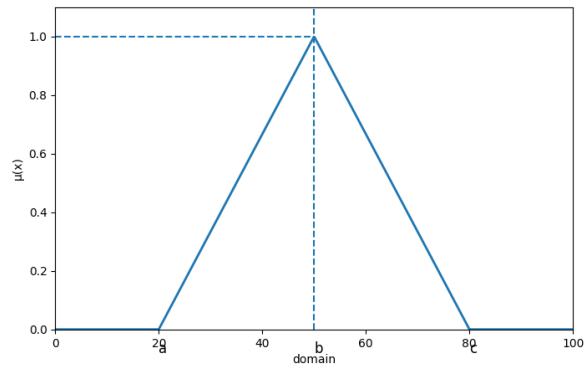
a, b, c = Batas himpunan semesta pembicaraan

x = Nilai domain

$\mu(X)$ = Nilai derajat keanggotaan

Grafik sebagai berikut:

Gambar 2. 3 Grafik Fungsi Keanggotaan Segitiga



Sumber : (Munawaroh, 2019)

Dari gambar 2.3 Fungsi keanggotaan segitiga merupakan fungsi keanggotaan yang dibentuk oleh tiga parameter, yaitu batas bawah, titik puncak, dan batas atas. Derajat keanggotaan pada fungsi ini meningkat secara linier dari nilai 0 menuju 1 hingga mencapai titik puncak, kemudian menurun kembali secara linier dari nilai 1 menuju 0. Fungsi keanggotaan segitiga digunakan untuk merepresentasikan kategori yang memiliki nilai tengah sebagai kondisi yang paling mewakili suatu himpunan fuzzy. Pemilihan fungsi keanggotaan segitiga pada penelitian ini didasarkan pada karakteristik data yang menunjukkan adanya kategori sedang sebagai nilai representatif di antara kategori rendah dan tinggi. Nilai-nilai yang berada di sekitar titik tengah memiliki derajat keanggotaan tertinggi terhadap kategori sedang, sedangkan nilai yang semakin menjauhi titik tengah akan memiliki derajat keanggotaan yang

semakin kecil. Oleh karena itu, fungsi keanggotaan segitiga dinilai sesuai untuk menggambarkan distribusi data yang memiliki kecenderungan terpusat pada suatu nilai tertentu dan mengalami perubahan secara bertahap menuju kategori lainnya.

3) Kurva Trapesium

Kurva trapesium adalah fungsi keanggotaan fuzzy yang bentuknya menyerupai trapesium, yaitu memiliki dua sisi datar dengan nilai keanggotaan 1 di tengah dan dua sisi miring di kiri dan kanan yang menurun menuju nilai keanggotaan 0. Kurva ini digunakan untuk merepresentasikan nilai fuzzy dengan rentang tertentu yang memiliki tingkat keanggotaan penuh di antara dua titik tengah .

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu(X) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & ; x \geq d \end{cases}$$

Keterangan:

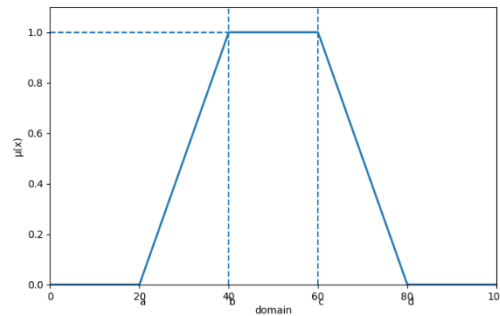
a, b, c, d = Batas himpunan semesta pembicaraan

x = Nilai domain

$\mu(X)$ = Nilai derajat keanggotaan

Grafik sebagai berikut:

Gambar 2. 4 Grafik Fungsi Keanggotaan Trapesium



sumber : (Munawaroh, 2019)

Dari gambar 2.4 Fungsi keanggotaan trapesium merupakan fungsi keanggotaan yang dibentuk oleh empat parameter, yaitu batas bawah, batas awal keanggotaan penuh, batas akhir keanggotaan penuh, dan batas atas. Derajat keanggotaan pada fungsi ini meningkat secara linier dari nilai 0 menuju 1, kemudian tetap bernilai 1 pada interval tertentu, dan selanjutnya menurun kembali secara linier menuju 0. Fungsi keanggotaan trapesium digunakan untuk merepresentasikan kategori yang memiliki rentang nilai tertentu sebagai kondisi yang sepenuhnya mewakili suatu himpunan fuzzy. Pemilihan fungsi keanggotaan trapesium didasarkan pada karakteristik data yang menunjukkan adanya daerah toleransi atau rentang nilai yang dianggap memiliki tingkat keanggotaan yang sama. Dengan demikian, fungsi keanggotaan trapesium sesuai digunakan pada data yang tidak memiliki satu nilai

pusat sebagai representasi kategori, melainkan memiliki beberapa nilai yang sama-sama merepresentasikan kategori tersebut secara penuh.

4) Kurva S (Sigmoid)

Kurva S (sigmoid) adalah fungsi keanggotaan fuzzy yang menggambarkan kenaikan atau penurunan nilai keanggotaan secara tidak linear. Kurva ini sering disebut sebagai kurva pertumbuhan dan penyusutan. Pada kurva S untuk pertumbuhan, nilai keanggotaan bergerak dari 0 di sisi kiri ke 1 di sisi kanan, dengan titik infleksi berada pada nilai keanggotaan 0,5. Sebaliknya, kurva S untuk penyusutan bergerak dari nilai keanggotaan 1 di sisi kiri ke 0 di sisi kanan (Rindengan & Langi, 2020). Dari dua macam jenis kurva S diantaranya:

a) Kurva S-Pertumbuhan

Kurva S-Pertumbuhan adalah fungsi keanggotaan fuzzy yang menggambarkan kenaikan nilai keanggotaan secara tak linear dari 0 di sisi kiri menuju 1 di sisi kanan. Kurva ini memiliki titik infleksi pada nilai keanggotaan 0,5, yang menjadi pusat perubahan keanggotaan secara signifikan. Kurva ini sering disebut juga sebagai kurva pertumbuhan karena bentuknya yang menyerupai huruf "S" yang naik. Kurva S pertumbuhan akan bergeser dari paling kiri, di mana derajat keanggotaan bernilai 0, ke paling kanan, di mana derajat keanggotaan mencapai 1. Fokus fungsi keanggotaan akan terletak pada 50% dari derajat keanggotaan, yang biasa disebut sebagai titik infleksi.

Fungsi Keanggotaan :

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & ; x \leq \alpha \text{ atau } x \geq \gamma \\ 2 \left(\frac{\gamma - \alpha}{\gamma - a} \right)^2 & ; \alpha \leq x \leq \beta \\ 1 - 2 \left(\frac{x - \alpha}{\gamma - a} \right)^2 & ; \beta \leq x \leq \gamma \\ 1 & ; x \geq \gamma \end{cases}$$

Catatan:

$$\text{Nilai } \beta = \alpha + \frac{(\gamma - \alpha)}{2}$$

Keterangan:

a, γ = Batas himpunan semesta pembicaraan

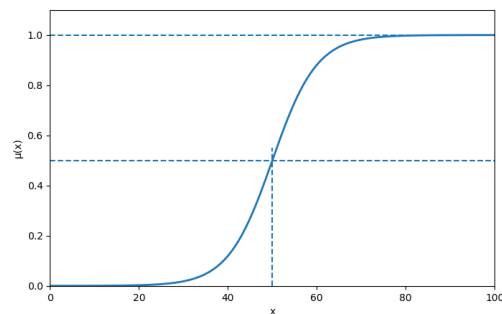
β = Titik infleksi

x = Nilai dominan

$\mu(X)$ = Nilai derajat keanggotaan

Grafik sebagai berikut:

Gambar 2. 5 Grafik Fungsi Keanggotaan kurva S-Pertumbuhan



sumber : (Munawaroh, 2019)

Dari gambar 2.5 Fungsi keanggotaan sigmoid atau kurva S merupakan fungsi keanggotaan yang berbentuk menyerupai huruf S dan memiliki perubahan derajat keanggotaan yang tidak linier. Pada bagian awal dan akhir kurva, perubahan derajat keanggotaan berlangsung secara perlahan, sedangkan pada bagian tengah perubahan terjadi lebih cepat. Fungsi ini digunakan untuk merepresentasikan data yang memiliki transisi secara halus dan hubungan antarvariabel yang bersifat nonlinier. Pemilihan fungsi keanggotaan sigmoid umumnya didasarkan pada karakteristik data yang menunjukkan adanya percepatan atau perlambatan perubahan nilai pada interval tertentu. Oleh karena itu, fungsi keanggotaan sigmoid sesuai digunakan pada data yang tidak dapat direpresentasikan secara optimal oleh fungsi keanggotaan linier maupun segitiga.

Pada penelitian ini, fungsi keanggotaan sigmoid tidak digunakan karena karakteristik data lalu lintas yang diperoleh tidak menunjukkan pola perubahan yang bersifat nonlinier maupun adanya percepatan dan perlambatan perubahan yang signifikan pada interval tertentu. Data penelitian cenderung mengalami perubahan secara bertahap dan kontinu sehingga hubungan antarvariabel dapat direpresentasikan dengan baik menggunakan fungsi keanggotaan linear dan segitiga. Selain itu, penggunaan fungsi keanggotaan sigmoid memerlukan pola distribusi data yang lebih kompleks, sedangkan distribusi data pada penelitian ini

tidak menunjukkan adanya transisi berbentuk kurva S. Oleh karena itu, fungsi keanggotaan sigmoid dinilai kurang sesuai untuk merepresentasikan karakteristik data dalam penelitian ini.

b) Kurva S-Penyusutan

Kurva S-Penyusutan adalah fungsi keanggotaan fuzzy yang menggambarkan penurunan nilai keanggotaan secara tak linear dari 1 di sisi kiri menuju 0 di sisi kanan. Kurva ini merupakan kebalikan dari kurva S-Pertumbuhan dan memiliki titik infleksi pada nilai keanggotaan 0,5.

Fungsi Keanggotaan :

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & ; x \leq \alpha \text{ atau } x \geq \gamma \\ 1 - 2 \left(\frac{\gamma - x}{\gamma - \alpha} \right)^2 & ; \alpha \leq x \leq \beta \\ 2 \left(\frac{x - \gamma}{\gamma - \alpha} \right)^2 & ; \beta \leq x \leq \gamma \\ 1 & ; x \geq \gamma \end{cases}$$

Catatan:

$$\text{Nilai } \beta = \alpha + \frac{(\gamma - \alpha)}{2}$$

Keterangan:

α, γ = Batas himpunan semesta pembicaraan

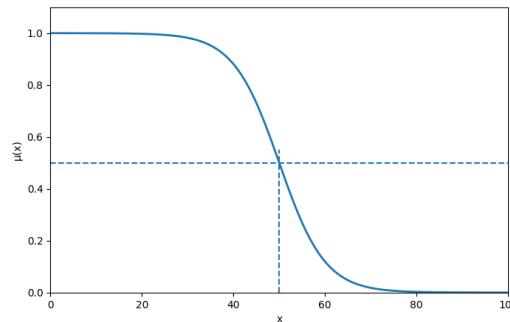
β = Titik infleksi

x = Nilai dominan

$\mu(X)$ = Nilai derajat keanggotaan

Grafik sebagai berikut:

Gambar 2. 6 Grafik Fungsi Keanggotaan



sumber : (Munawaroh, 2019)

Dari gambar 2.6 Kurva S-Penyusutan digunakan untuk merepresentasikan data yang memiliki hubungan berlawanan (negatif) dengan kategori yang dibentuk, yaitu semakin besar nilai suatu variabel maka semakin kecil derajat keanggotaannya. Fungsi keanggotaan ini sesuai digunakan pada data yang mengalami perubahan secara nonlinier, di mana penurunan derajat keanggotaan pada awalnya berlangsung lambat, kemudian menurun dengan cepat pada interval tertentu, dan selanjutnya kembali menurun secara perlahan hingga mencapai nilai nol. Pemilihan Kurva S-Penyusutan didasarkan pada karakteristik data yang menunjukkan adanya transisi yang halus (smooth transition) dan pola distribusi yang tidak dapat direpresentasikan secara optimal menggunakan fungsi keanggotaan linier. Oleh karena itu, kurva ini

umumnya digunakan pada data yang memiliki pola penurunan bertahap dengan laju perubahan yang tidak konstan.

Pada penelitian ini, Kurva S-Penyusutan tidak digunakan karena karakteristik data lalu lintas yang diperoleh tidak menunjukkan pola penurunan secara nonlinier maupun transisi berbentuk S terbalik. Data penelitian cenderung mengalami perubahan secara bertahap dan memiliki laju perubahan yang relatif konstan sehingga lebih sesuai direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan linear dan segitiga. Selain itu, distribusi data tidak menunjukkan adanya fase penurunan lambat-cepat-lambat yang menjadi ciri utama Kurva S-Penyusutan.

3. Inferensi Fuzzy

Inferensi fuzzy adalah proses pengolahan data input menggunakan aturan-aturan fuzzy untuk menghasilkan output dalam sistem logika fuzzy. Proses ini melibatkan penerapan fungsi implikasi pada aturan fuzzy, komposisi aturan, dan penegasan (defuzzyfikasi) untuk mendapatkan nilai output yang crisp dari himpunan fuzzy hasil inferensi (Andani, 2013). Ada juga yang menyatakan bahwa Inferensi fuzzy adalah sebuah kerangka kerja perhitungan yang bergantung pada prinsip-prinsip teori himpunan fuzzy dan penalaran fuzzy yang digunakan untuk mencapai kesimpulan atau mengambil keputusan. Metode penalaran ini dijalankan sesuai dengan kumpulan aturan fuzzy (Septima et al., 2023). Terdapat tiga metode utama dalam inferensi fuzzy, yaitu Tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani:

a. Metode Tsukamoto

Metode Tsukamoto menggunakan aturan fuzzy dengan output berupa fungsi monoton. Setiap aturan menghasilkan nilai output crisp melalui defuzzifikasi lokal, kemudian hasilnya digabungkan secara weighted average. Metode ini cocok untuk sistem yang memerlukan output crisp dengan proses inferensi yang relatif sederhana (Septima et al., 2023). Sedangkan menurut Rindengan Metode Tsukamoto adalah metode inferensi fuzzy di mana setiap konsekuen pada aturan IF-THEN direpresentasikan dengan fungsi keanggotaan monoton. Hasil inferensi dari setiap aturan berupa nilai crisp yang diperoleh melalui defuzzifikasi menggunakan metode rata-rata terbobot (center average defuzzifier). Pada metode ini, nilai keanggotaan anteseden dihitung menggunakan operasi minimum (AND), kemudian nilai tersebut digunakan untuk menentukan output crisp dari fungsi keanggotaan konsekuen. Output akhir diperoleh dengan menghitung rata-rata terbobot dari semua output aturan (Rindengan & Langi, 2020).

b. Metode mamdani

Metode ini menghasilkan output berupa himpunan fuzzy yang dikategorikan dalam komponen linguistik. Prosesnya melibatkan fuzzifikasi input, aplikasi aturan fuzzy, agregasi hasil aturan, dan defuzzifikasi untuk mendapatkan output crisp. Metode ini cocok untuk sistem yang memerlukan interpretasi linguistik dan lebih akurat dalam menghasilkan output fuzzy (Septima et al., 2023). Metode Mamdani adalah metode inferensi fuzzy yang diperkenalkan oleh Ebrahim

Mamdani pada tahun 1975 dan sering disebut juga Metode Max-Min. Prosesnya meliputi empat tahapan utama: pembentukan himpunan fuzzy (fuzzifikasi), aplikasi fungsi implikasi (menggunakan operasi minimum), komposisi aturan, dan defuzzifikasi untuk mendapatkan output crisp. Pada metode ini, baik variabel input maupun output dibagi menjadi beberapa himpunan fuzzy, dan aturan fuzzy digunakan untuk menentukan hasil inferensi (Rindengan & Langi, 2020). Tahapan metode Mamdani terdiri dari empat langkah utama (Andani, 2013):

- 1) Fuzzifikasi: Mengubah variabel input menjadi himpunan fuzzy dengan menentukan derajat keanggotaannya.
- 2) Baris aturan (Rule Base): Menerapkan aturan fuzzy, biasanya pernyataan aturan IF-THEN
- 3) Implikasi: Tahap untuk menghitung setiap aturan yang aktif menggunakan nilai α -predikat yang berasal dari operator minimum (min)
- 4) Agregasi atau komposisi aturan: Menggabungkan hasil dari semua aturan menggunakan metode seperti maksimum (max).
- 5) Defuzzifikasi: Mengubah hasil fuzzy menjadi nilai crisp, sering menggunakan metode centroid.

Keempat tahapan ini digunakan untuk mendapatkan output dari sistem fuzzy Mamdani.

c. Metode Sugeno

Pada metode Sugeno, output berupa fungsi linear atau konstanta. Metode ini lebih sederhana dan efisien secara komputasi dibanding Mamdani, sehingga

sering digunakan dalam kontrol dan optimasi. Namun, output yang berupa fungsi linear ini harus sesuai dengan nilai yang telah ditentukan, sehingga kurang fleksibel dibanding Mamdani (Septima dkk, 2023). Metode ini lebih sederhana dan efisien dalam perhitungan, terutama untuk sistem kontrol dan optimisasi. Output dari setiap aturan berupa nilai tunggal yang kemudian digabungkan menggunakan rata-rata berbobot untuk menghasilkan output crisp. Metode Sugeno cocok untuk aplikasi yang membutuhkan komputasi cepat dan hasil yang mudah diintegrasikan dengan metode matematis lainnya (Andani, 2013).

4. Fuzzy Mamdani

a. Pengertian Fuzzy Mamdani

Metode Fuzzy Mamdani merupakan bagian dari Sistem Inferensi Fuzzy, yang bermanfaat untuk mencapai kesimpulan atau membuat pilihan optimal dalam skenario yang tidak pasti. Teknik ini dikembangkan oleh Ebrahim Mamdani (Septima dkk, 2023). Metode Mamdani adalah salah satu bagian dari Fuzzy Inference System yang digunakan untuk penarikan kesimpulan atau pengambilan keputusan terbaik dalam permasalahan yang tidak pasti. Dikenal juga dengan metode min-max. Prosesnya meliputi konstruksi himpunan fuzzy, penerapan fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi untuk mencapai pilihan optimal. Defuzzifikasi biasanya menggunakan pendekatan centroid yang menghasilkan solusi tajam dengan mengambil titik pusat area fuzzy. Metode ini memiliki keunggulan dalam menghasilkan keluaran keputusan yang lebih akurat

dan lebih diterima jika masukan berasal dari manusia, namun hanya dapat digunakan dengan data kuantitatif (Rosyidin dkk, 2023).

b. Tahapan Fuzzy Mamdani

Didalam metode fuzzy mamdani terdapat tahapan langkah utama (Rindengan & Langi, 2020), Tahapan metode fuzzy Mamdani terdiri dari empat langkah utama yaitu:

1) Pembentukan Fungsi Keanggotaan

Pembentukan fungsi keanggotaan (membership function) merupakan tahap untuk menentukan derajat keanggotaan setiap data pada masing-masing himpunan fuzzy yang telah ditetapkan. Pada tahap ini, setiap nilai input, seperti volume kendaraan, ruas jalan, waktu aktivitas, dan fasilitas umum, dipetakan ke dalam kategori fuzzy tertentu, misalnya rendah, sedang, dan tinggi. Derajat keanggotaan memiliki nilai antara 0 hingga 1 yang menunjukkan tingkat keterkaitan suatu data terhadap suatu himpunan fuzzy.

2) Fuzzifikasi

Dalam proses fuzzifikasi, tahap awal melibatkan identifikasi variabel fuzzy dan himpunan fuzzy. Lalu Mengembangkan grafik yang merepresentasikan fungsi keanggotaan untuk variabel himpunan fuzzy. Setelah fungsi keanggotaan variabel ditetapkan, aturan logika fuzzy dibangun menggunakan struktur IF-THEN. Kemudian tentukan derajat kesepadanan (degree of match) antara data masukan fuzzy dengan himpunan

fuzzy yang telah didefinisikan untuk setiap variabel masukan sistem dari setiap aturan fuzzy. Pada metode mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy (Rindengan & Langi, 2020). Fuzzifikasi ini Sebagai contoh, mengubah data masukan yang tepat atau himpunan pasti menjadi format kabur di mana nilai kebenarannya pasti (masukan pasti), yang direpresentasikan melalui nilai-nilai linguistik yang maknanya didefinisikan menurut fungsi keanggotaan tertentu (Prasetya, 2020).

3) Baris aturan (Rule Base)

Basis aturan merupakan kumpulan aturan IF–THEN yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variabel input dan output dalam sistem fuzzy dan metode aturan ini biasanya di anggap sebagai dasar untuk teknik implikasi (Setia & Ramadan, 2019).

4) Implikasi

Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah MIN. Proses ini bisa disebut sebagai proses menerapkan aturan fuzzy yang telah dibuat untuk menghasilkan keluaran fuzzy berdasarkan nilai α -predikat (Rindengan & Langi, 2020).

5) Komposisi aturan

Metode inferensi Menggunakan metode inferensi max untuk menggabungkan hasil aturan fuzzy (Prasetya, 2020). Berbeda dengan penalaran monoton, komposisi aturan dalam sistem fuzzy diperoleh melalui

kombinasi serta keterkaitan antaraturan berdasarkan data dari fungsi implikasi. Dalam proses ini, terdapat tiga metode yang umum digunakan untuk melakukan komposisi aturan fuzzy, yaitu metode maksimum (max), metode additive, dan Metode Probabilistik OR (Probabilistic) (Rindengan & Langi, 2020).

a) Metode Maksimum (Max)

Metode Maksimum (Max) dalam komposisi aturan fuzzy adalah metode di mana solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan mengambil nilai maksimum dari semua aturan yang berlaku. Nilai maksimum ini kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah fuzzy dan diaplikasikan ke output menggunakan operator OR (gabungan). Dengan demikian, output akhir merupakan himpunan fuzzy yang mencerminkan kontribusi dari tiap aturan yang ada dalam sistem. Metode ini sering digunakan karena kesederhanaannya dan kemampuannya untuk menggabungkan efek dari beberapa aturan secara efektif. Setelah semua peraturan dinilai, hasilnya akan berupa himpunan fuzzy yang menunjukkan dampak dari setiap peraturan. Berikut adalah persamaan untuk pendekatan maksimum

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

Dimana :

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i

b) Metode Additive

Metode Additive (Sum) dalam komposisi aturan fuzzy adalah metode di mana solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan penjumlahan terbatas (bounded-sum) terhadap semua output daerah fuzzy. Nilai keanggotaan output pada setiap titik dihitung dengan menjumlahkan nilai keanggotaan dari semua aturan, namun hasil penjumlahan dibatasi agar tidak melebihi 1. Secara umum, metode ini dapat dirumuskan sebagai:

$$\mu_{sf}[x_i] = \min(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i])$$

Yang dimana :

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i

c) Metode Probabilistik OR (Probabilistic)

Metode Probabilistik OR (Probabilistic) dalam komposisi aturan fuzzy menghitung nilai keanggotaan output dengan rumus:

$$\mu_{sf}[x_i] = (\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i])$$

Yang dimana :

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$$\mu_{kf}[x_i] = \text{nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-}i$$

6) Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses mengubah output hasil inferensi fuzzy yang berupa himpunan fuzzy menjadi nilai crisp (nilai tunggal) yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan atau tindakan lebih lanjut. Proses ini penting karena output fuzzy tidak langsung dapat diaplikasikan dalam sistem nyata tanpa konversi menjadi nilai yang jelas dan terukur (Septima , 2023). Informasi yang diproses selama defuzzifikasi berasal dari himpunan fuzzy yang dihasilkan dengan menggabungkan berbagai aturan fuzzy, dan hasilnya adalah nilai yang jelas (tepat) yang terletak di dalam domain himpunan tersebut. Ini menunjukkan bahwa, berdasarkan himpunan fuzzy yang berada dalam rentang yang ditentukan, nilai tegas spesifik perlu diidentifikasi sebagai keluaran akhir. Metode yang umum digunakan untuk defuzzifikasi melibatkan identifikasi titik pusat area yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Dalam kasus domain diskrit, rumusnya adalah:

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \mu(z_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(z_i)}$$

Yang dimana z_i merupakan nilai output pada aturan ke- i , sedangkan μ menyatakan derajat keanggotaan dari nilai output pada aturan ke- i . Adapun n menunjukkan jumlah keseluruhan aturan yang digunakan.

Untuk domain yang bersifat kontinu, rumus untuk menentukan titik pusatnya adalah

$$z^* = \frac{\int_a^b z \cdot \mu_{(z)} dz}{\int_a^b \mu_{(z)} dz}$$

Dengan

z^* : nilai hasil defuzzifikasi

$\mu_{(z)}$:derajat keanggotaan titik tersebut,

z : nilai domain ke-i.

Dengan ini tujuan Defuzzifikasi Defuzzifikasi bertujuan untuk mengubah hasil inferensi fuzzy yang berupa himpunan fuzzy (nilai keanggotaan dalam rentang 0 sampai 1) menjadi nilai crisp (nilai tunggal yang jelas dan dapat digunakan secara praktis). Dengan kata lain, defuzzifikasi mengkonversi output fuzzy menjadi nilai numerik yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan, kontrol, atau tindakan lebih lanjut dalam sistem.

7) Pemaparan Hasil

Nilai crisp hasil defuzzifikasi kemudian diinterpretasikan ke dalam kategori linguistic seperti, seperti rendah, sedang atau tinggi. Tahap ini bertujuan untuk memberikan Gambaran berdasarkan kondisi riil di lapangan.

B. Kerangka berfikir

Permasalahan kepadatan lalu lintas yang memang sering terjadi di wilayah perkotaan. Kepadatan lalu lintas merupakan kondisi yang menunjukkan tingginya jumlah kendaraan yang menempati suatu ruas jalan sehingga ruang gerak kendaraan menjadi terbatas. Permasalahan ini dapat menyebabkan peningkatan waktu perjalanan, konsumsi bahan bakar, serta penurunan tingkat pelayanan jalan (Narindra, 2026).

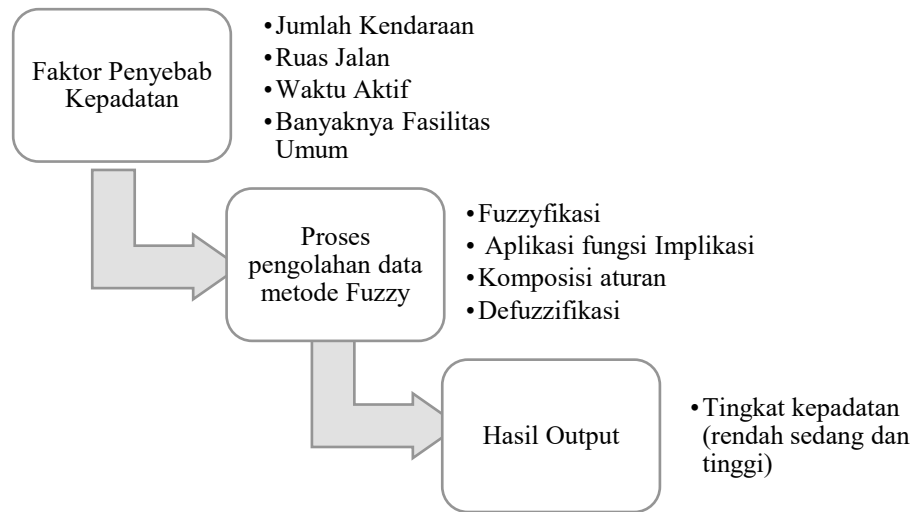
Kota Kediri merupakan salah satu kota berkembang yang mengalami peningkatan aktivitas ekonomi, perdagangan, pendidikan, jasa, dan perkantoran. Peningkatan aktivitas tersebut berpotensi meningkatkan mobilitas masyarakat dan jumlah kendaraan yang melintasi ruas jalan tertentu. Berdasarkan kondisi tersebut, tingkat kepadatan lalu lintas di Kota Kediri dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jumlah kendaraan masuk, kondisi ruas jalan, waktu aktif masyarakat, dan keberadaan fasilitas umum. Semakin tinggi jumlah kendaraan yang masuk serta semakin banyak aktivitas yang terjadi pada suatu ruas jalan, maka potensi terjadinya kepadatan lalu lintas akan semakin besar.

Hubungan antara jumlah kendaraan masuk, ruas jalan, waktu aktif, dan fasilitas umum terhadap tingkat kepadatan lalu lintas bersifat dinamis dan tidak selalu dapat ditentukan secara pasti. Kondisi lalu lintas dapat berada pada tingkat peralihan antara kondisi rendah, sedang, dan tinggi sehingga diperlukan suatu metode yang mampu mengakomodasi ketidakpastian tersebut dalam proses analisis.

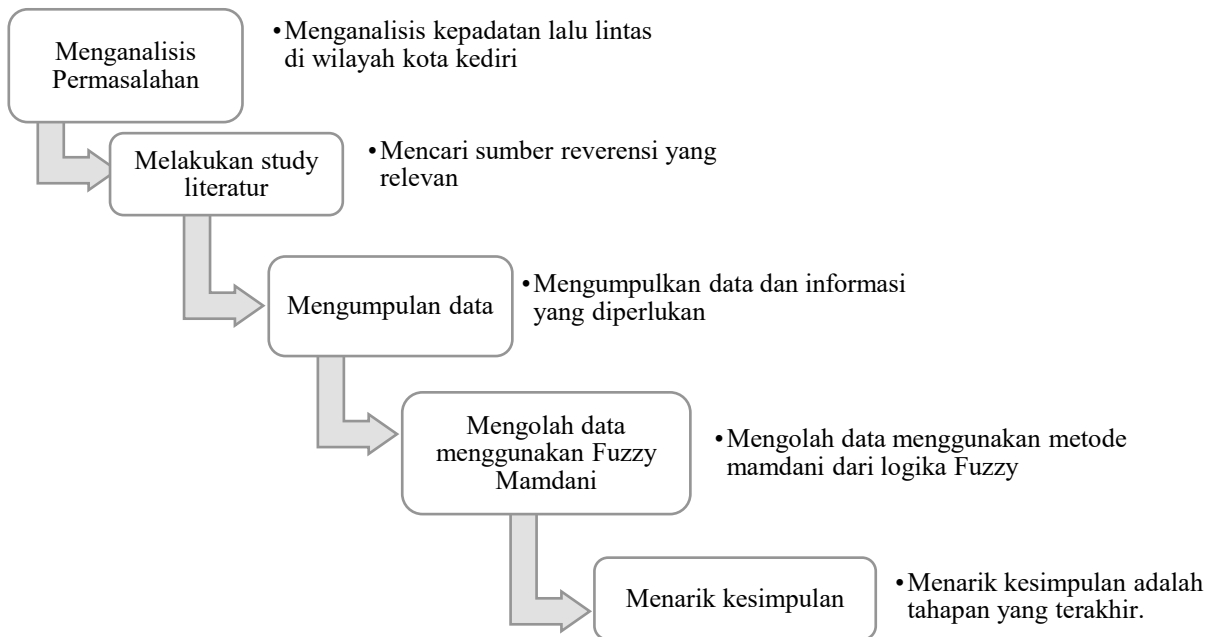
Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Metode ini dipilih karena mampu mengolah berbagai variabel yang memengaruhi kondisi lalu lintas serta merepresentasikannya ke dalam kategori linguistik (Rindengan & Langi, 2020). Dalam penelitian ini, jumlah kendaraan masuk, ruas jalan, waktu aktif, dan fasilitas umum digunakan sebagai variabel input yang dianalisis menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk menghasilkan output berupa tingkat kepadatan lalu lintas pada ruas jalan di Kota Kediri.

Berdasarkan kerangka berpikir tersebut, semakin besar pengaruh variabel jumlah kendaraan masuk, waktu aktif, fasilitas umum, dan karakteristik ruas jalan, maka semakin tinggi pula potensi tingkat kepadatan lalu lintas yang terjadi. Hasil analisis yang diperoleh diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi kepadatan lalu lintas pada beberapa ruas jalan di Kota Kediri.

Kerangka pemikiran penelitian yang menggambarkan hubungan antara faktor-faktor penyebab kepadatan lalu lintas, proses pengolahan data menggunakan metode Fuzzy Mamdani, hingga menghasilkan tingkat kepadatan lalu lintas, seperti pada gambar 2.7 berikut ini.

Gambar 2. 7 Kerangka Pemikiran

(Sumber : Dokumentasi Penulis)

Gambar 2. 8 Kerangka Penelitian

(Sumber : Dokumentasi Penulis)

Dari Gambar 2.8 dapat diketahui bahwa kerangka penelitian diawali dengan menganalisis permasalahan mengenai kepadatan lalu lintas di wilayah Kota Kediri. Tahap selanjutnya adalah melakukan studi literatur untuk memperoleh referensi yang relevan dengan penelitian. Setelah itu dilakukan pengumpulan data dan informasi yang dibutuhkan, kemudian data diolah menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan.