

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan teori dan penunjang dalam menyelesaikan permasalahan Tugas Akhir. Pertama, ditunjukkan definisi lalu lintas. Selanjutnya membahas tentang graf yang dijelaskan secara rinci mengenai definisi, jenis- jenis, dan terminologinya. Selain itu, pada bab ini dijabarkan mengenai metode yang digunakan, yaitu metode Webster dan Logika Fuzzy. Adapun penjabaran mengenai penelitian terdahulu yang disajikan pada subbab terakhir dari bab ini. Subbab pertama dijelaskan mengenai lalu lintas, hal ini dikarenakan permasalahan yang diangkat pada penelitian ini. Subbab pertama ini disinggung mengenai definisi lalu lintas sebagai konsep dasar dalam penelitian.

#### 2.1 Lintas

Lalu lintas merupakan konsep dasar pada penelitian ini. Oleh karena itu, pada subbab ini dijelaskan mengenai definisi lalu lintas. Berdasarkan definisi lalu lintas maka disinggung mengenai salah satu permasalahan yang terjadi. Permasalahan ini yang nantinya menjadi topik pada penelitian ini.

Lalu lintas adalah suatu keadaan dengan pengaturan menggunakan lampu lalu lintas yang terpasang pada persimpangan dengan tujuan untuk mengatur arus lalu lintas. Pengaturan arus lalu lintas pada persimpangan pada dasarnya dimaksudkan untuk bagaimana pergerakan kendaraan pada masing-masing kelompok pergerakan kendaraan dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak saling mengganggu antar arus yang ada (Poernamasari, 2019).

Kemacetan lalu lintas di suatu kota atau tempat sekarang ini bukan merupakan hal yang asing lagi yang dapat terjadi di suatu ruas ataupun persimpangan jalan. Kemacetan timbul karena adanya konflik pergerakan yang datang tiap arah kaki simpangnya dan untuk mengurangi konflik ini banyak dilakukan pengendalian untuk mengoptimalkan persimpangan dengan menggunakan lampu lalu lintas (Fanani, 2016). Setelah dibahas mengenai lalu

lintas, kemudian dibahas mengenai lampu lalu lintas sebagai alat pengatur arus lalu lintas.

[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

### 2.1.1 Lampu Lalu Lintas

Lampu lalu lintas sebagai pengatur lalu lintas, dengan kata lain lampu lalu lintas merupakan salah satu komponen lalu lintas. Pada subbab ini diberikan definisi serta warna yang digunakan pada lampu lalu lintas. Pada dasarnya penelitian ini lebih merujuk pada durasi dari masing-masing warna lampu lalu lintas. Oleh karena itu, berikut diberikan definisi mengenai lampu lalu lintas.

Menurut UU No. 22/2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan: alat pemberi isyarat lalu lintas atau APILL adalah lampu yang mengendalikan arus lalu lintas yang terpasang di persimpangan jalan, tempat penyeberangan pejalan kaki (*zebra cross*), dan tempat arus lalu lintas lainnya. Lampu lalu lintas ini menggunakan warna yang diakui secara universal, yaitu warna merah adalah untuk berhenti, warna kuning menandakan hati-hati, dan warna hijau yang berarti dapat berjalan (Kustanrika, 2015). Setelah dibahas mengenai lampu lalu lintas, kemudian dibahas mengenai persimpangan.

### 2.1.2 Persimpangan

Persimpangan biasanya selalu terpasang lampu lalu lintas sebagai pengatur arusnya. Oleh karena itu, perlu diberikan definisi persimpangan pada subbab ini. Persimpangan jalan dapat diartikan sebagai dua jalur atau lebih ruas jalan yang berpotongan, dan termasuk di dalamnya fasilitas jalur jalan dan tepi jalan. Setiap jalan yang memancar merupakan bagian dari persimpangan tersebut disebut lengan persimpangan. Persimpangan jalan merupakan suatu hal yang penting untuk dianalisis karena sangat berpengaruh terhadap aliran dan keselamatan berlalu lintas. (Poernamasari, 2019).

### 2.1.3 Jenis- jenis Persimpangan

Definisi persimpangan sudah diuraikan pada subbab sebelumnya. Pada anak subbab ini dijelaskan mengenai jenis-jenis persimpangan. Penjelasan mengenai

[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

jenis-jenis persimpangan ini sangat diperlukan mengingat persimpangan memiliki berbagai macam bentuk.

Menurut Miftahurrahmah (2016), jenis simpang berdasarkan cara pengaturannya dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Simpang tak bersinyal (*unsignalized intersection*)

Pada umumnya persimpangan yang tidak dilengkapi dengan alat pemberi isyarat lalu lintas atau *traffic light* dapat disebut dengan persimpangan prioritas atau simpang tak bersinyal.

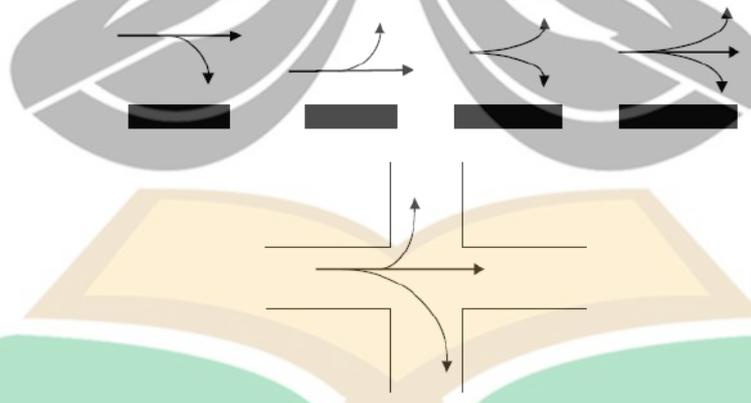
2. Simpang bersinyal (*signalized intersection*)

Simpang bersinyal yang merupakan bagian dari sistem kendali waktu tetap yang dirangkai atau sinyal aktuasi kendaraan terisolir, biasanya memerlukan metode dan perangkat lunak khusus dalam analisisnya (Pradana, 2015).

Pergerakan arus lalu lintas pada persimpangan juga membentuk suatu *maneuver* yang menyebabkan sering terjadi konflik dan tabrakan kendaraan. Pada dasarnya *manuver* dari kendaraan dapat dibagi atas 4 jenis, yaitu:

1. Memisah (*Diverging*)

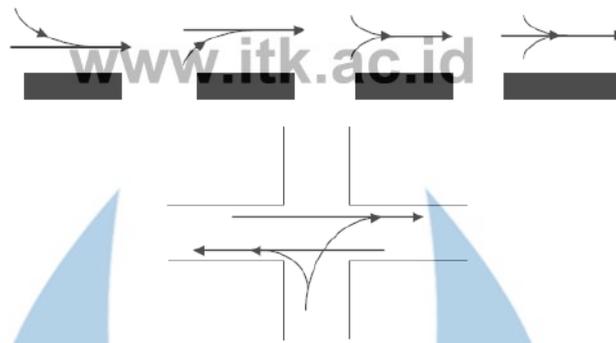
Memisah atau *diverging* merupakan peristiwa memisahkannya kendaraan dari suatu arus yang sama ke jalur yang lain, seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arus Memisah (*Diverging*) (Ulfah, 2018)

2. Menggabung (*Merging*)

Menggabung atau *merging* merupakan peristiwa bergabungnya kendaraan yang bergerak di beberapa ruas jalan ketika bergabung pada satu titik persimpangan, dan juga ada saat kendaraan melakukan pergerakan membelok dan bergabung, seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Arus Menggabung (*Merging*) (Ulfah, 2018)

#### 2.1.4 Arus Normal

Pada anak subbab ini dijelaskan definisi dan rumus perhitungan arus normal. Rumus arus normal ini nantinya dibutuhkan pada saat penelitian menggunakan salah satu metode yang dipakai, yaitu metode webster. Arus normal adalah jumlah kendaraan yang masuk pada suatu ruas persimpangan dalam satu satuan batas waktu yang sudah dikalikan dengan koefisien masing-masing sesuai dengan jenis kendaraan yang melewati ruas simpang tersebut. Koefisien tersebut dinyatakan sebagai ekivalen mobil penumpang (emp) (Anisa, 2015).

Ekivalen mobil penumpang (emp) adalah unit untuk mengkonversikan satuan arus lalu lintas dari kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang per jam. Arus lalu lintas yang terdiri dari bermacam jenis kendaraan, seperti mobil, bus, truk, dan sepeda motor dikonversikan menjadi satu satuan arus lalu lintas, yaitu smp per jam dengan menganggap bahwa satu kendaraan, selain kendaraan ringan atau mobil penumpang, diganti oleh satuan kendaraan penumpang dikali dengan emp. Setiap jenis kendaraan memiliki nilai emp yang berbeda dengan jenis kendaraan yang lain. Kendaraan yang tak bermotor, seperti becak, sepeda, dan lain-lain, tidak dihitung nilai emp-nya, karena termasuk kendaraan yang berjalan lambat (Iskandar, 2010).

- a. *Light Vehicle (LV)*, yaitu kendaraan ringan yang beroda empat. Nilai emp dari kendaraan ringan ini adalah 1,0.
- b. *Heavy Vehicle (HV)*, yaitu kendaraan berat beroda lebih dari empat. Nilai emp dari kendaraan berat ini adalah 1,3.

- c. *Motor Cycle* (MC), yaitu kendaraan beroda dua atau tiga, seperti becak mesin atau sepeda motor. Nilai emp dari kendaraan bermotor ini adalah 0,2.

Besarnya arus normal ( $q$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.1):

$$q = (q_{LV} \times emp_{LV}) + (q_{HV} \times emp_{HV}) + (q_{MC} \times emp_{MC}) \quad (2.1)$$

Keterangan :

$q$  = Arus normal,

$q_{LV}$  = Jumlah kendaraan ringan,

$q_{HV}$  = Jumlah kendaraan berat,

$q_{MC}$  = Jumlah sepeda motor,

$emp_{LV}$  = Nilai emp kendaraan ringan,

$emp_{HV}$  = Nilai emp kendaraan berat,

$emp_{MC}$  = Nilai emp sepeda motor.

### 2.1.5 Arus Jenuh

Pada anak subbab ini dijelaskan definisi dan rumus perhitungan arus jenuh. Pentingnya untuk memberikan definisi arus jenuh, yaitu untuk memudahkan pembaca. Rumus arus jenuh ini nantinya juga sangat dibutuhkan pada saat penelitian menggunakan salah satu metode yang dipakai, yaitu metode webster. Arus jenuh dinotasikan dengan  $s$  dan dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per jam. Menentukan besarnya arus jenuh pada masing-masing pergerakan, dapat dilakukan dengan mengukur lebar jalan.

Arus jenuh adalah banyaknya keberangkatan kendaraan pada antrian saat kendaraan berada di laju konstan, yakni setelah melakukan percepatan, sampai kendaraan melakukan perlambatan selama periode hijau dan kuning. Arus jenuh biasanya dinyatakan dalam kendaraan per jam waktu hijau (Anisa, 2015).

Tabel 2.1 Arus jenuh persimpangan untuk lebar < 5,5 m\*)

Lebar Jalan (m)	3,0	3,5	4	4,5	5	5,5
Arus jenuh (smp/jam)	1850	1875	1975	2175	2550	2900

\*)Poernamasari, 2019

Jika lebar jalan melebihi nilai yang ditetapkan, maka untuk menghitung arus jenuh, yaitu dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Arus jenuh } (s) = \text{Lebar jalan } (w) \times 525(\text{smp/jam}) \quad (2.2)$$

Satuan mobil penumpang (smp) adalah satuan kendaraan di dalam arus lalu lintas yang disetarakan dengan kendaraan ringan atau mobil penumpang. Besaran smp dipengaruhi oleh tipe atau jenis kendaraan, dimensi kendaraan, dan kemampuan olah gerak (Poernamasari, 2019).

Setiap ruas individu-individu pada suatu fase mempunyai tingkat arus berbeda-beda yang bervariasi menurut waktu. Untuk menentukan tingkat arus lalu lintas jalan masuk dapat dinyatakan dengan nilai  $y$  dan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3) (Ulfah, 2018)

$$y = \frac{q}{s} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$y$  = Tingkat arus lalu lintas

$q$  = Arus normal

$s$  = Arus jenuh (*smp/jam*)

### 2.1.6 Waktu Hilang

Pada subsubbab ini dijelaskan definisi dan rumus perhitungan waktu hilang. Untuk memudahkan pembaca, maka sangat penting untuk memberikan definisi pada tinjauan pustaka ini. Rumus waktu hilang ini nantinya juga sangat dibutuhkan pada saat penelitian menggunakan salah satu metode yang dipakai, yaitu metode Webster.

Faktor yang diperlukan untuk menghitung siklus waktu maksimum (*the optimum cycletime setting*) adalah waktu hilang ( $L$ ), yaitu lama waktu satu siklus penuh pada saat tidak ada kendaraan. Hal ini dilakukan tidak hanya waktu merah dan waktu kuning tetapi juga sebagai waktu persiapan jalan (*Starting-Up*) dan persiapan berhenti (*Tailing-Off*) yang terjadi pada saat perubahan warna lampu (Miftahurrahmah, 2016). Menurut Poernamasari (2019) waktu yang tebuang dihitung dengan rumus:

$$L = 2n + R \quad (2.4)$$

www.itk.ac.id

Keterangan :

$L$  = Waktu hilang (*detik*)

$n$  = Banyaknya fase

$R$  = Waktu hilang yang diakibatkan antrian (*waktu kuning*)

### 2.1.7 Lampu Hijau Efektif

Pada subsubbab ini diberikan rumus untuk perhitungan lampu hijau efektif. Rumus perhitungan lampu hijau efektif sangat dibutuhkan pada saat penelitian menggunakan salah satu metode yang dipakai, yaitu metode webster.

Penghitungan nyala lampu hijau efektif pada setiap persimpangan, waktu hijau efektif yakni ketika kendaraan bergerak melintas selama periode nyala lampu hijau (Poernamasari, 2019)

$$g = \frac{y(C_0 - l)}{Y} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$g$  = Waktu hijau efektif (*detik*)

$y$  = Tingkat arus lalu lintas

$C_0$  = Waktu siklus (*detik*)

$L$  = Waktu hilang total (*detik*)

$Y$  = Jumlah  $y$  maksimum untuk seluruh fase

### 2.1.8 Waktu siklus Optimum

Pada subsubbab ini diberikan penjelasan mengenai waktu siklus optimum dan rumus untuk perhitungannya. Rumus perhitungan ini nantinya dibutuhkan pada saat penelitian menggunakan salah satu metode yang dipakai, yaitu metode Webster.

Panjang waktu siklus pada *fixed time operation* tergantung dari volume lalu lintas. Bila waktu lalu lintas tinggi maka waktu siklus lebih panjang daripada bila waktu lalu lintasnya rendah. Salah satu satuan yang perlu diketahui adalah nilai perbandingan volume dan arus jenuh untuk suatu pendekatan. Untuk suatu keadaan

lalu lintas di persimpangan dengan *fixed time operation*, panjang waktu siklus mempengaruhi tundaan kendaraan rata-rata yang melewati persimpangan. Bila waktu siklus pendek, bagian dari waktu siklus yang terambil oleh kehilangan waktu dalam periode antara hijau dan kehilangan waktu awal menjadi tinggi, menyebabkan pengaturan sinyal tidak efisien. Sebaliknya, bila waktu siklus panjang, kendaraan yang menunggu lewat pada awal periode dan kendaraan yang lewat pada akhir periode hijau mempunyai waktu antara yang besar. Suatu pelepasan dari garis henti adalah besar bila terjadi arus jenuh dan terus terjadi iring-iringan sehingga keadaan akhir juga tidak efisien. Sebagai suatu hasil simulasi komputer pada lampu lalu lintas yang dilakukan oleh *Road Research Laboratory*, hasil tersebut dapat didekati dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.5) (Ulfah, 2018).

$$C_0 = \frac{1,5 L + 5}{1 - Y} \quad (2.6)$$

Keterangan :

$C_0$  = Waktu siklus (*detik*)

$L$  = Waktu hilang total per siklus (*detik*)

$Y$  = Jumlah  $y$  maksimum untuk semua fase

## 2.2 Graf

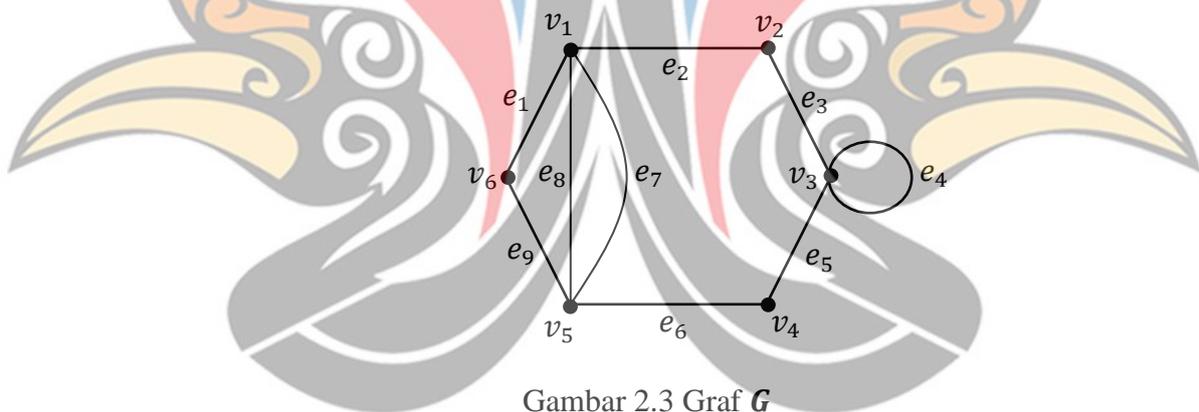
Subbab graf ini dibutuhkan dalam pembuatan graf ketika mengubah persimpangan ke dalam bentuk graf. Sebuah graf  $G$  berisikan dua himpunan, yaitu himpunan berhingga tak kosong  $V(G)$  dari objek-objek yang disebut simpul dan himpunan berhingga (mungkin kosong)  $E(G)$  yang elemen-elemennya disebut sisi sedemikian hingga setiap elemen  $e$  dalam  $E(G)$  merupakan pasangan tak berurutan dari titik-titik di  $V(G)$  disebut himpunan titik  $G$  (Setiawan, 2015).

Graf didefinisikan sebagai pasangan himpunan  $(V, E)$ , ditulis dengan notasi  $G = (V, E)$ , yang dalam hal ini  $V$  adalah himpunan tidak kosong dari titik-titik (*vertices* atau *node*) dan  $E$  adalah himpunan sisi (*edges* atau *arcs*) yang menghubungkan sepasang titik,  $E$  boleh kosong. Jadi, sebuah graf dimungkinkan tidak mempunyai sisi, tetapi titiknya harus ada minimal satu. Graf yang hanya mempunyai satu buah titik tanpa sisi dinamakan graf trivial.

Misalkan  $G$  adalah sebuah graf. Sebuah jalan (*walk*) di  $G$  adalah sebuah barisan berhingga tak kosong  $W = (v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, e_k, v_k)$  yang suku-sukunya bergantian titik dan sisi, sedemikian hingga  $v_{i-1}$  dan  $v_i$  adalah titik-titik akhir sisi  $e_i$ , untuk  $1 \leq i \leq k$ . Dapat dinyatakan  $W$  adalah sebuah jalan dari titik  $v_0$  ke titik  $v_k$  atau jalan  $(v_0, v_k)$ . Titik  $v_0$  dan titik  $v_k$  berturut-turut disebut titik awal dan titik akhir  $W$ . Jika semua sisi  $e_1, e_2, e_3, \dots, e_k$  dalam jalan  $W$  yang berbeda, maka  $W$  disebut jejak (*trail*). Jika semua titik  $v_0, v_1, v_2, \dots, v_k$  dalam jalan  $W$  juga berbeda, maka  $W$  disebut lintasan (*path*).

Misalkan  $G$  adalah sebuah graf. Sebuah jalan  $W$  disebut tertutup jika titik awal dan titik akhir dari  $W$  sama. Jejak tertutup disebut sirkuit. Sirkuit dengan titik internal yang berlainan disebut siklus (*cycle*). Siklus dengan  $n$  titik dinotasikan dengan  $C_n$ .

Contoh :



Gambar 2.3 Graf  $G$

Keterangan :

$$G = (V, E)$$

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$$

$$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9\}$$

$$\text{Jalan (walk)} = v_1, e_2, v_2, e_3, v_3, e_5, v_4, e_6, v_5, e_7, v_1, e_8, e_7, v_1$$

$$\text{Jejak (trail)} = v_5, v_6, v_1, v_5, v_4$$

$$\text{Lintasan (path)} = v_1, v_2, v_3, v_4$$

$$\text{Jejak tertutup (sirkuit)} = v_1, e_3, v_3, e_5, v_4, e_6, v_5, e_7, v_1$$

$$\text{Siklus (cycle)} = v_1, v_5, v_6, v_1$$

Pada Gambar 2.3, sisi  $e_4$  adalah *loop*. Sisi  $e_7$  dan  $e_8$  merupakan sisi ganda, karena kedua sisi tersebut terkait dengan titik  $v_1$  dan  $v_5$  (Hardianti, 2013).

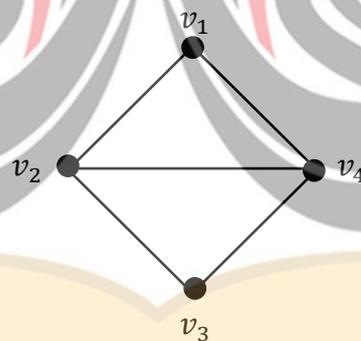
### 2.2.1 Jenis – jenis Graf

Graf dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis bergantung pada sudut pandang pengelompokkannya. Pengelompokkan graf dapat dilihat berdasarkan ada tidaknya sisi ganda atau sisi kalang, berdasarkan jumlah simpul, atau berdasarkan orientasi arah pada sisi.

Berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada suatu graf maka secara umum graf dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu:

#### 1. Graf Sederhana (*Simple Graph*)

Graf sederhana merupakan graf yang tidak mengandung gelang maupun sisi ganda. Pada graf sederhana, sisi adalah pasangan tak terurut (*unordered pairs*). Jadi, menuliskan sisi  $(u, v)$  sama saja dengan  $(v, u)$ . Graf sederhana juga dapat didefinisikan  $G = (V, E)$  terdiri dari himpunan tidak kosong simpul - simpul dan  $E$  adalah himpunan pasangan tak terurut yang berbeda disebut dengan sisi (Munir, 2010).



Gambar 2.4 Graf Sederhana

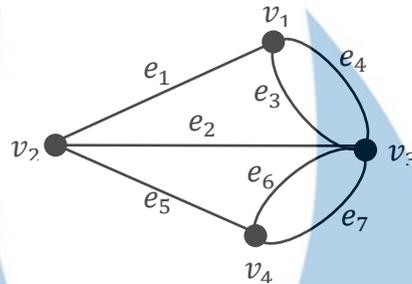
#### 2. Graf Tak – Sederhana (*Unsimple Graph*)

Graf tak sederhana (*unsimple graph*) adalah graf yang mengandung sisi ganda atau gelang (*loop*). Ada dua macam graf tak sederhana, yaitu graf ganda (*multigraph*) dan graf semu (*pseudograph*) (Munir, 2010).

##### a. Graf Ganda

Graf ganda adalah graf yang mengandung sisi  $> 1$  (sisi ganda). Sisi ganda dapat diasosiasikan sebagai pasangan tak-terurut yang sama. selain itu, graf ganda

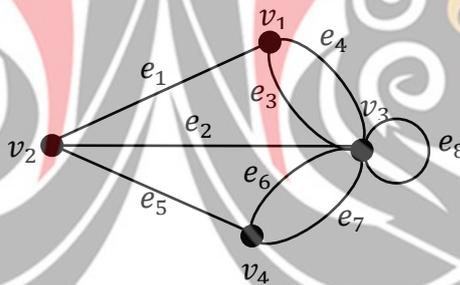
dapat juga didefinisikan  $G = (V, E)$  terdiri dari himpunan tidak kosong simpul-simpul dan  $E$  adalah himpunan ganda (*multiset*) yang mengandung sisi ganda, seperti pada Gambar 2.5 (Munir, 2010).



Gambar 2.5 Graf Ganda

b. Graf Semu

Graf semu adalah graf yang mengandung gelang (*loop*). Graf semu lebih umum dari graf ganda, karena sisi pada graf semu dapat terhubung ke dirinya sendiri, seperti pada Gambar 2.6 (Munir, 2010).

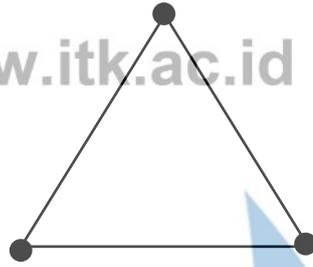


Gambar 2.6 Graf Semu

Berdasarkan banyaknya titik pada suatu graf, maka secara umum graf dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Graf Berhingga

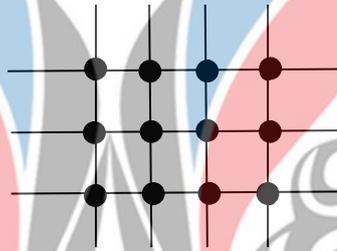
Graf berhingga adalah graf yang memiliki simpul atau titik berhingga sebanyak  $n$  buah, dengan  $n < \infty$ . Pada Gambar 2.7 merupakan contoh graf berhingga yang memiliki titik sebanyak tiga ( $n = 3$ ) (Miftahurrahmah, 2016).



Gambar 2.7 Graf Berhingga

## 2. Graf Tak Berhingga

Graf yang memiliki tak hingga buah simpul atau titik disebut graf tak berhingga. Pada Gambar 2.8 merupakan contoh graf tak hingga karena sisi-sisinya pada gambar tersebut dapat terus bergerak, sehingga banyaknya titik juga tak hingga ( $n = \infty$ ) (Miftahurrahmah, 2016).

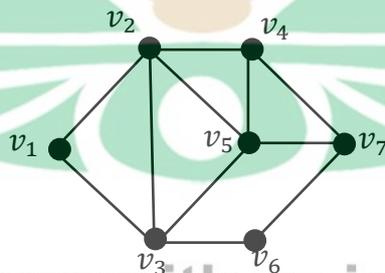


Gambar 2.8 Graf Tak Berhingga

Berdasarkan orientasi atau arah pada sisi, maka secara umum graf dibedakan atas 2 jenis:

### 1. Graf tak-berarah (*undirected graph*)

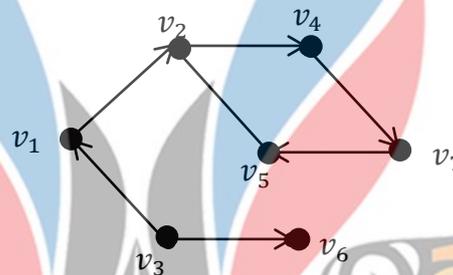
Graf yang sisinya tidak mempunyai orientasi atau arah disebut graf tak-berarah, seperti pada Gambar 2.11. Pada graf tak berarah, urutan pasangan simpul yang dihubungkan oleh sisi tidak diperhatikan. Jadi,  $(u, v) = (v, u)$  adalah sisi yang sama (Munir, 2010).



Gambar 2.9 Graf Tak Berarah

## 2. Graf berarah (*directed graph* atau *digraph*)

Graf yang setiap sisinya diberikan orientasi atau arah disebut sebagai graf berarah, seperti pada Gambar 2.10. Biasanya sisi berarah disebut dengan busur (*arc*). Pada graf berarah,  $(u, v)$  dan  $(v, u)$  menyatakan dua buah busur yang berbeda, dengan kata lain  $(u, v) \neq (v, u)$ . Untuk busur  $(u, v)$ , simpul  $u$  dinamakan simpul asal (*initial vertex*) dan simpul  $v$  dinamakan simpul terminal (*terminal vertex*). Graf berarah sering digunakan untuk menggambarkan aliran proses, peta lalu lintas suatu kota (jalan searah atau dua arah), dan sebagainya. Pada graf berarah, gelang diperbolehkan, tetapi sisi ganda tidak (Munir, 2010).

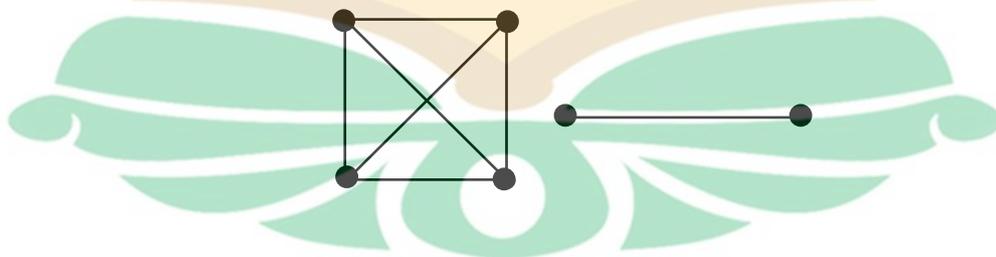


Gambar 2.10 Graf Bearah

Berdasarkan beberapa graf sederhana khusus, maka secara umum graf dibedakan atas 2 jenis, yaitu:

### 1. Graf Lengkap (*Complete Graph*)

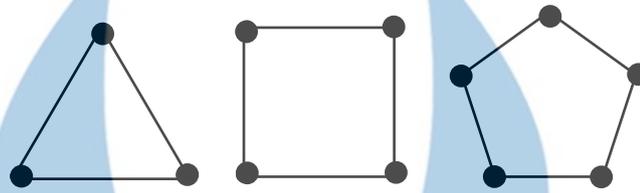
Graf lengkap merupakan graf sederhana yang setiap simpulnya terhubung (oleh satu sisi) ke semua simpul lainnya. Dengan kata lain setiap simpulnya bertetangga. Graf lengkap dengan  $n$  buah simpul dilambangkan dengan  $K_n$ . Contoh graf lengkap pada Gambar 2.11 (Miftahurrahmah, 2016).



Gambar 2.11 Graf Lengkap  $K_4$  dan  $K_2$

## 2. Graf Lingkaran

Graf lingkaran merupakan graf sederhana yang setiap simpulnya berderajat dua. Graf lingkaran  $n$  simpul dilambangkan dengan  $C_n$ . Contoh graf lingkaran pada Gambar 2.12 (Miftahurrahmah, 2016).



Gambar 2.12 Graf Lingkaran  $C_3$ ,  $C_4$ , dan  $C_5$

## 3. Graf Teratur/Graf Reguler

Graf teratur merupakan graf yang setiap simpulnya mempunyai derajat sama. Apabila derajat setiap simpul pada graf teratur adalah  $r$ , maka graf tersebut dinamakan graf teratur berderajat  $r$  (Miftahurrahmah, 2016).

## 4. Graf Bipartit (*Bipartite Graph*)

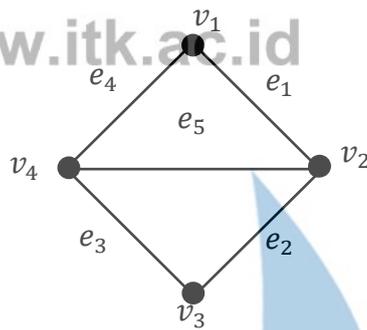
Graf bipartit adalah graf  $G$  himpunan titiknya dapat dikelompokkan menjadi dua himpunan bagian  $V_1$  dan  $V_2$ , sedemikian sehingga setiap sisi di dalam  $G$  menghubungkan sebuah titik di  $V_1$  ke sebuah titik di  $V_2$  dan dinyatakan sebagai  $G(V_1, V_2)$  (Andhany, 2018).

### 2.2.2 Terminologi Graf

Pengubahan persimpangan ke dalam bentuk graf sangat membutuhkan yang namanya terminologi graf agar lebih memudahkan dalam pembuatan grafnya. Dalam pembahasan mengenal graf biasanya sering menggunakan terminologi (istilah) yang berkaitan dengan graf. Penting adanya subbab terminologi graf pada tinjauan pustaka ini, yaitu dalam mengubah persimpangan dalam bentuk graf. Terminologi yang berkaitan dengan graf adalah sebagai berikut.

#### 1. Bertetangga (*Adjacent*)

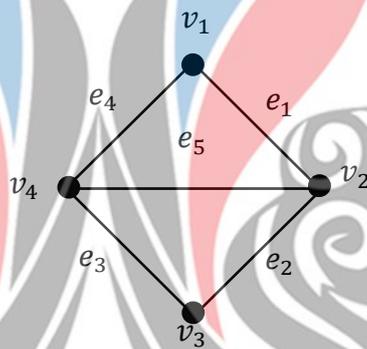
Dua buah simpul pada graf tak berarah  $G$  dikatakan bertetangga bila keduanya terhubung langsung dengan sebuah sisi. Dengan kata lain  $v_j$  bertetangga dengan  $v_k$  jika  $(v_j, v_k)$  adalah sebuah sisi pada graf  $G$ . Pada Gambar 2.13 simpul  $v_1$  bertetangga dengan simpul  $v_2$  dan  $v_4$ , simpul  $v_1$  tidak bertetangga dengan simpul  $v_3$  (Setiawan, 2015).



Gambar 2.13 Graf Bertetangga

2. Bersisian (*Incident*)

Untuk sembarang sisi  $e = (v_j, v_k)$ , sisi  $e$  dikatakan bersisian dengan titik  $v_j$  dan titik  $v_k$  (Setiawan, 2015).



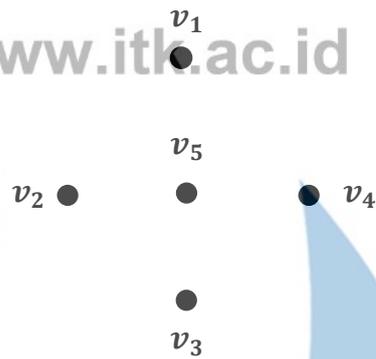
Gambar 2.14 Graf Beririsan

3. Derajat (*Degree*)

Derajat suatu titik pada graf tak berarah adalah jumlah sisi yang bersisian dengan titik tersebut (Setiawan, 2015).

4. Graf Kosong (*Null Graph*)

Graf yang himpunan sisinya merupakan himpunan kosong disebut Graf Kosong (*Null Graph*) dan ditulis sebagai  $N_n$  dengan  $n$  adalah jumlah titik. Selain itu menurut (Wilson & Watkin, 1976) Graf kosong (graf nol) adalah graf yang tidak memiliki sisi, seperti pada Gambar 2.15 (Setiawan, 2015).



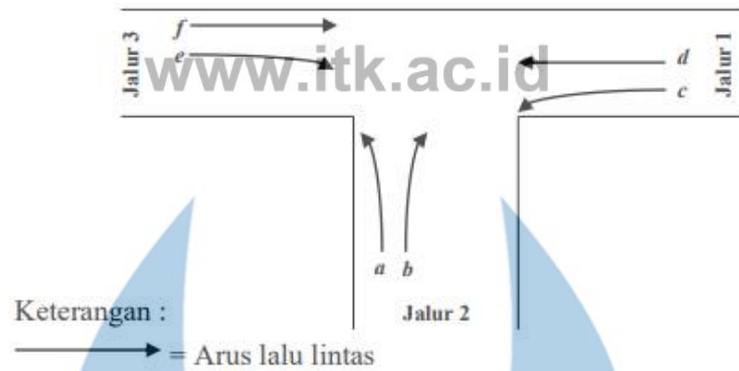
Gambar 2.15 Graf Kosong

### 2.3 Hubungan Graf Pada Arus Kompabilitas

Setelah dibahas mengenai graf, kemudian dibahas mengenai hubungan graf pada arus kompabilitas. Metode webster dipengaruhi dengan adanya sub bab ini, karena pada metode webster dibutuhkan pengubahan persimpangan dalam bentuk graf. Pada subbab ini diberikan penjelasan tentang cara mengubah suatu persimpangan menjadi bentuk graf. Biasanya proses ini diperlukan ketika melakukan penelitian menggunakan metode Webster.

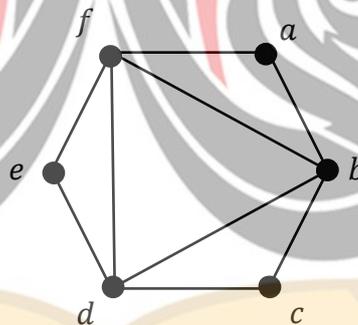
Kompabilitas jika diartikan adalah sejauh mana suatu kinerja dianggap kompatibel (sesuai) dengan sistem yang mempunyai nilai, pengalaman, dan kebutuhan, tanpa mengubah aktivitas dan komponen dari sistem konsumen yang sudah ada. Arus lalu lintas dapat disebut kompatibel jika kedua arus tersebut tidak menghasilkan perselisihan yang disebabkan oleh kendaraan.

Secara umum graf merupakan himpunan dari objek-objek yang dinamakan titik dihubungkan oleh penghubung yang dinamakan sisi, sehingga pada permasalahan lalu lintas, relasi kompabilitas pada arus lalu lintas dapat di kerjakan dengan menggunakan Teori Graf. Pada Teori Graf simpul merepresentasikan arus lalu lintas dan sisinya menghubungkan pasangan simpul yang arusnya kompatibel (sesuai). Pada proses perubahan bentuk arus lalu lintas di persimpangan ke dalam bentuk graf, dicari terlebih dahulu dua buah arus lalu lintas yang kompatibel (kedua arus dapat berjalan bersamaan dengan aman atau tidak menyebabkan konflik). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 2.16 untuk contoh arus lalu lintas pada Simpang Tiga berikut.



Gambar 2.16 Contoh Skema Persimpangan Jalan (3 Sim pang)

Pada Gambar 2.16 diketahui arus lalu lintas yang kompatibel. Beberapa contoh arus lalu lintas yang kompatibel, yaitu arus kendaraan  $a$  kompatibel dengan arus kendaraan  $b, c, d, e$  dan  $f$ , sedangkan arus kendaraan  $b$  kompatibel dengan arus kendaraan  $a, c$  dan  $f$ . Arus lalu lintas yang kompatibel dari Gambar 2.16 dapat ditunjukkan dalam graf, yang simpulnya mewakili arus lalu lintas dan sisinya menghubungkan pasangan simpul yang arusnya kompatibel. Graf dari arus lalu lintas persimpangan jalan pada Gambar 2.16 dapat dilihat pada Gambar 2.17 berikut.



Gambar 2.17 Bentuk Graf Lalu Lintas pada Gambar 2.16

Untuk simpul  $a$  dan  $b$  menunjukkan arus lalu lintas di jalur 1, simpul  $c$  dan  $d$  menunjukkan arus lalu lintas di jalur 2, dan simpul  $e$  dan  $f$  menunjukkan arus lalu lintas di jalur 3. Setelah dibahas mengenai hubungan graf dengan arus kompatibel, kemudian dijelaskan definisi dan tahap dari metode Webster (Ulfa, 2018)

## 2.4 Metode Webster

Tahap dalam metode Webster digunakan setelah persimpangan telah diubah dalam bentuk graf. Dalam menentukan durasi lampu lalu lintas dibutuhkan perhitungan tiap tahap yang mempengaruhi metode Webster ini.

Metode Webster adalah konsep untuk menentukan panjang siklus waktu yang optimal dan menghitung durasi waktu lampu lalu lintas berdasarkan kepadatan kendaraan dan lebar jalan. Tahapan perhitungan lampu lalu lintas dengan metode Webster adalah:

1. Menentukan urutan dan banyaknya fase;
2. Hitung arus normal ( $q$ );
3. Hitung arus jenuh ( $s$ );
4. Menentukan tingkat arus lalu lintas ( $y$ );
5. Hitung waktu hilang ( $L$ ) dalam waktu siklus;
6. Hitung waktu siklus optimal ( $C_0$ ); dan
7. Hitung waktu hijau efektif tiap fase/*stage* (Noval, 2018).

## 2.5 Logika Fuzzy

Pada subbab ini dijelaskan mengenai definisi dan sejarah Fuzzy. Dalam kondisi yang nyata, beberapa aspek dalam dunia nyata selalu atau biasanya berada diluar model matematis dan bersifat inexact. Konsep ketidakpastian inilah yang menjadi konsep dasar munculnya konsep logika fuzzy. Pencetus gagasan logika fuzzy adalah Prof. L.A. Zadeh (1965) dari California University. Pada prinsipnya himpunan fuzzy adalah perluasan himpunan *crisp*, yaitu himpunan yang membagi sekelompok individu kedalam dua kategori, yaitu anggota dan bukan anggota.

Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan suatu item  $x$  dalam suatu himpunan A, yang sering ditulis dengan  $\mu_A [x]$ , memiliki 2 kemungkinan, yaitu:

- a. Satu (1) yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan.
- b. Nol (0) yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Himpunan *crisp* memiliki nilai keanggotaan hanya 2 kemungkinan, yaitu 0 atau 1. Sedangkan pada himpunan Fuzzy nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1 (Djunaidi, 2005).

Menurut Kholifah (2018) ada beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika fuzzy, antara lain:

- a. Konsep Logika Fuzzy mudah dimengerti, konsep matematis yang mendasari penalaran Fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti;
- b. Logika Fuzzy sangat *fleksibel*;
- c. Logika Fuzzy memiliki toleransi terhadap data data yang tidak tepat;
- d. Logika Fuzzy dapat dibangun dan diaplikasikan berdasarkan pengalaman pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan;
- e. Logika Fuzzy dapat digunakan pada sistem kendali secara konvensional; dan
- f. Logika Fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

### 2.5.1 Himpunan Fuzzy

Jika pada himpunan *crisp*, nilai keanggotaan hanya ada dua kemungkinan, yaitu 0 atau 1, pada himpunan Fuzzy nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Apabila  $x$  memiliki nilai keanggotaan Fuzzy  $\mu_A[x] = 0$  berarti  $x$  tidak menjadi himpunan  $A$ , demikian pula apabila  $x$  memiliki nilai keanggotaan Fuzzy  $\mu_A[x] = 1$  berarti  $x$  menjadi anggota penuh pada himpunan  $A$  (Abrori, 2015).

Himpunan fuzzy memiliki dua atribut, yaitu linguistik dan numeris. Atribut linguistik adalah atribut yang digunakan untuk penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti muda, paruh baya, tua, sedangkan atribut numeris adalah suatu nilai yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti 40, 25, 50, dan sebagainya. Terdapat beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy, yaitu:

#### a. Variabel Fuzzy

Variabel Fuzzy merupakan variabel yang dibahas dalam sistem fuzzy.

#### b. Himpunan Fuzzy

Himpunan Fuzzy merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel Fuzzy.

c. Semesta Pembicaraan

Semesta Pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel Fuzzy. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan riil yang senantiasa bertambah secara monoton. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif.

d. Domain

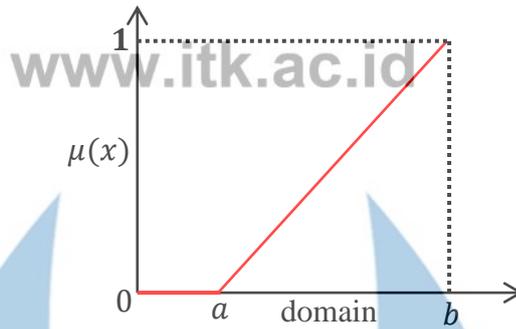
Domain himpunan Fuzzy adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy. Sama halnya semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan riil yang senantiasa bertambah secara monoton. Nilai domain dapat berupa bilangan positif maupun negatif (Wardani, 2017).

### 2.5.2 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

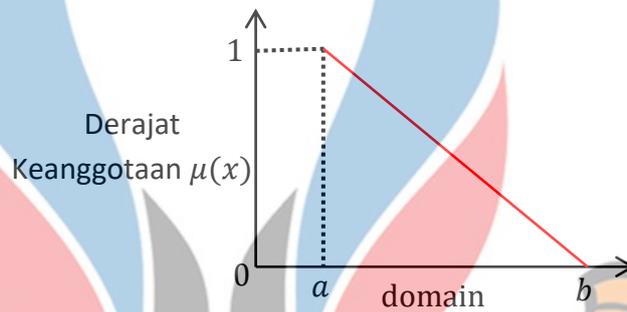
Setelah dibahas mengenai himpunan Fuzzy, kemudian dibahas mengenai fungsi keanggotaan Fuzzy. Pada subbab ini diberikan definisi dan bentuk –bentuk representasi fungsinya. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data kedalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan diantaranya representasi linear, representasi kurva segitiga, dan representasi kurva trapezium (Solikin, 2011).

a. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya dapat digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada 2 keadaan himpunan Fuzzy yang linear, yaitu representasi linear naik dan representasi linear turun. Representasi linear naik, yaitu kenaikan himpunan dimulai dari nilai domain yang memiliki nilai keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih tinggi ditunjukkan pada Gambar 2.18. Representasi linear turun, yaitu garis lurus yang dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak turun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah yang ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.18 Representasi Linear Naik



Gambar 2.19 Representasi Linear Turun

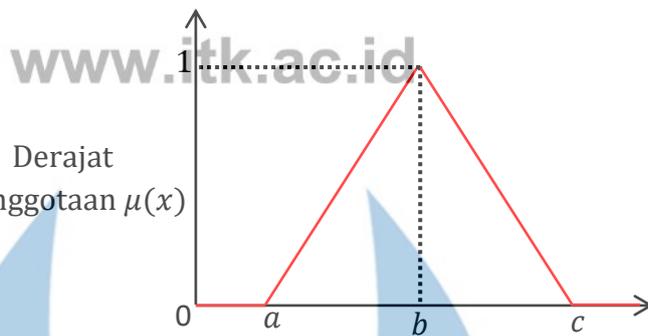
Adapun fungsi keanggotaan representasi linear naik ditunjukkan pada Persamaan (2.6) dan representasi linear turun ditunjukkan pada Persamaan (2.7) adalah sebagai berikut.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a} & ; a < x \leq b \end{cases} \quad (2.7)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{b - x}{b - a} & ; a \leq x < b \\ 0 & ; x \geq b \end{cases} \quad (2.8)$$

b. Representasi Kurva Segitiga

Representasi kurva segitiga, pada dasarnya adalah gabungan antara dua representasi linear (representasi linear naik dan representasi linear turun), seperti terlihat pada Gambar 2.20.



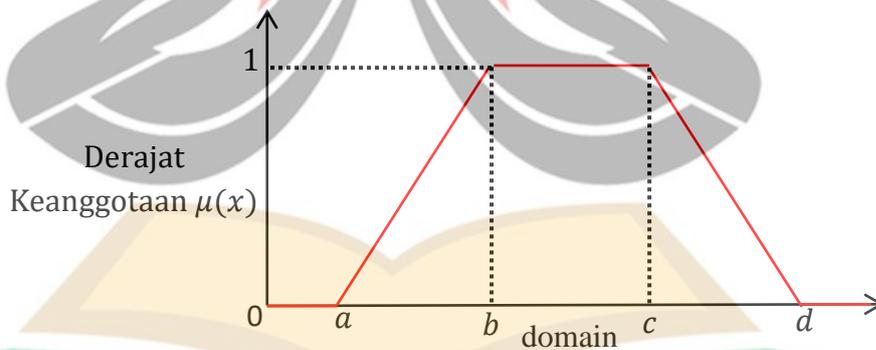
Gambar 2.20 Representasi Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan dari representasi kurva segitiga:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ dan } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b < x < c \end{cases} \quad (2.9)$$

c. Representasi Kurva Trapesium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya, seperti bentuk kurva segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (satu), seperti pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Representasi Kurva Trapesium

Fungsi keanggotaan dari representasi kurva trapesium:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; a \leq 26 \text{ atau } a \geq 37 \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a < a \leq b \\ 1 & ; b < a \leq 3c \\ \frac{d-x}{d-c} & ; c < a < d \end{cases} \quad (2.10)$$

### 2.5.3 Aturan Fuzzy

Aturan yang digunakan pada himpunan fuzzy adalah aturan *if then*. Aturan fuzzy *IF-THEN* merupakan pernyataan yang direpresentasikan dengan

$$IF \langle \text{proposisi fuzzy} \rangle THEN \langle \text{proposisi fuzzy} \rangle. \quad (2.11)$$

Proposisi fuzzy dibedakan menjadi dua, proposisi fuzzy *atomic* dan proposisi fuzzy *compound*. Proposisi fuzzy *atomic* adalah pernyataan *single* dengan  $x$  sebagai variabel linguistik dan  $A$  adalah himpunan fuzzy dari  $x$ . Proposisi fuzzy *compound* adalah gabungan dari proposisi fuzzy *atomic* yang dihubungkan dengan operator “OR”, “AND”, dan “NOT”. (Wang, 1997:62-63).

a. Operator OR

$$\mu A \cup B = \max(\mu A(x), \mu B(y)) \quad (2.12)$$

Hasil dari operasi dengan operator OR disebut  $\alpha$  – *predikat* yang diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan yang bersangkutan. Persamaan (2.12) merupakan rumus operator OR berhubungan dengan operasi gabungan (*union*) pada himpunan.

b. Operator AND

$$\mu A \cap B = \min(\mu A(x), \mu B(y)) \quad (2.13)$$

Hasil dari operasi dengan operator AND disebut  $\alpha$  – *predikat* yang diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan yang bersangkutan. Persamaan (2.13) merupakan rumus operator AND berhubungan dengan operasi irisan (*interseksi*) pada himpunan.

c. Operator *NOT*

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A(x) \quad (2.14)$$

Hasil dari operasi dengan operator *NOT* disebut  $\alpha$  – predikat yang diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan. Persamaan (2.14) merupakan rumus operator *NOT* berhubungan dengan operasi gabungan (*union*) pada himpunan (Ageng, 2015).

## 2.6 Metode Mamdani

Metode Mamdani dikenal juga dengan nama metode *min-max*. Metode Mamdani bekerja berdasarkan aturan-aturan linguistik. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim H. Mamdani pada tahun 1975. Ada 4 langkah untuk mendapatkan *output* (hasil):

a. Fuzzifikasi

Variabel yang digunakan ditentukan terlebih dahulu. Variabel *input* dan variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy

b. Aplikasi Fungsi Implikasi

Tahap kedua dari prosedur metode Fuzzy Mamdani adalah penerapan fungsi implikasi. Fungsi implikasi merupakan struktur logika yang terdiri atas variabel *input* dan variabel *output*. Bentuk dari fungsi implikasi ini adalah dengan pernyataan sebagai berikut :

$$\text{Jika } a \text{ adalah } A_i \text{ dan } b \text{ adalah } B_i, \text{ maka } z \text{ adalah } Z_i \quad (2.15)$$

dengan,  $A_i, B_i$ , dan  $Z_i$  adalah predikat fuzzy yang merupakan nilai linguistik ke- $i$  dari variabel input fuzzy. Banyaknya nilai linguistik variabel *input* dan *output* menentukan banyaknya aturan yang telah dibentuk. Setelah terbentuknya proposisi, selanjutnya adalah menentukan nilai keanggotaan berdasarkan aturan fuzzy yang telah dibentuk menggunakan fungsi implikasi min. Pada fungsi implikasi min, digunakan operator *AND* (*interseksi*).

c. Komposisi Aturan

Tahap ketiga dari prosedur metode Fuzzy Mamdani adalah komposisi aturan. Pada tahap ketiga ini, pada logika fuzzy mamdani tujuan untuk menentukan inferensi dari kumpulan dan korelasi antar aturan menggunakan metode *Max* (maksimum). Solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan,

kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy dan mengaplikasikannya ke dalam *output* (keputusan akhir) dengan menggunakan operator *OR* (*union*). Apabila semua proposisi telah dievaluasi, maka *output* berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari setiap proposisi.

#### d. Defuzzifikasi

Tahap terakhir dari prosedur metode Fuzzy Mamdani adalah proses defuzzifikasi. Input dari langkah defuzzifikasi adalah himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan fuzzy, sedangkan *output*, suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Oleh karena itu, apabila diketahui suatu himpunan fuzzy dalam suatu *range* tertentu, maka harus dapat diperoleh suatu nilai *crisp* (bilangan riil) tertentu sebagai *output* atau hasil keputusannya.

Metode yang dipergunakan dalam proses defuzzifikasi ini adalah defuzzifikasi dengan metode *centroid* (titik pusat). Metode *centroid*, yaitu suatu metode dengan semua daerah fuzzy dari hasil komposisi aturan digabungkan dengan tujuan untuk membentuk hasil yang optimal dan mengambil titik pusat daerah fuzzy. Prosedur defuzzifikasi dengan menggunakan metode *centroid*, yaitu menentukan *moment* (integral dari masing-masing fungsi keanggotaan dari komposisi aturan), menentukan luas, dan menentukan titik pusat.

Proses dalam menentukan titik pusat daerah fuzzy dilakukan dengan menggunakan perumusan:

$$z^* = \frac{\int_z \mu(z)z dz}{\int_z \mu(z) dz} \quad (2.16)$$

dengan  $z^*$  menyatakan nilai hasil defuzzifikasi/titik pusat daerah fuzzy,  $\mu(z)$  menyatakan nilai keanggotaan, dan  $\int \mu(z)z dz$  menyatakan momen untuk semua daerah hasil komposisi aturan (Ageng,2015).

## 2.7 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

*Mean Absolute Percentage Error* (*MAPE*) merupakan suatu ukuran akurasi peramalan dari suatu metode peramalan. Caranya, yaitu dengan menghitung selisih dari *output* yang diperoleh dengan data sebenarnya, kemudian dibagi dengan data sebenarnya. Hasilnya yang berbentuk persentase kemudian dimutlakkan. Perhitungan ini dilakukan pada setiap amatannya, kemudian dirata-

ratakan. Hasil peramalan sangat bagus jika nilai *MAPE* kurang dari 10% sedangkan nilai *MAPE* dikatakan bagus jika kurang dari 20% (Harun,1999).

*MAPE* didefinisikan sebagai berikut :

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - F_i}{x_i} \right|}{n} \times 100\% \quad (2.17)$$

Keterangan :

$X_i$  = Nilai data hasil amatan ke-i

$F_i$  = Nilai ramalan amatan ke-i

$n$  = Banyaknya data.

## 2.8 Penelitian Terdahulu

Pada subbab ini diberikan hasil dari penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu ini berguna sebagai acuan dalam penelitian ini. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang menjadi referensi dalam pengerjaan penelitian ini.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Nama, Tahun Publikasi, dan Judul	Hasil
1	Adhitya, 2013, Optimalisasi Lampu Lalu Lintas dengan <i>Fuzzy Logic</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Satu putaran adalah ketika semua simpang jalan telah menerima bagian lampu hijaunya masing-masing.</li> <li>2. Pada bagian konvensional jumlah detik lampu hijau sama, yaitu 120 detik.</li> <li>3. <math>\frac{20+40}{120}</math> artinya ada 20 mobil + 40 motor dan lama lampu hijaunya adalah 120 detik.</li> <li>4. Pada bagian <i>Fuzzy Logic</i>, range output (lampu hijau) adalah 0 – 120 detik.</li> <li>5. Lama lampu hijau yang diberikan untuk suatu simpang jalan berbeda-beda tergantung dengan tingkat kepadatan yang ada pada simpang jalan tersebut.</li> <li>6. Pembagian lama lampu hijau dengan <i>Fuzzy Logic</i> ini lebih adil dan efektif jika dibandingkan dengan pembagian lampu hijau pada sistem lampu lalu lintas konvensional</li> </ol>

No	Nama, Tahun Publikasi, dan Judul	Hasil
2	Anisa, 2015, Penerapan Metode Webster Untuk Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas Di Simpang Empat Semplak Bogor	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengurangan kemacetan pada lampu lalu lintas dapat diatasi dengan mengatur lampu lalu lintas sesuai dengan kepadatan jumlah kendaraannya. Salah satu metode yang dapat mengatasi hal ini adalah metode Webster. Metode Webster dihasilkan dari penelitian <i>Road Research Laboratory</i> di USA. Model awal dari penelitian ini adalah perhitungan penundaan minimum dari setiap kendaraan yang kemudian menghasilkan waktu siklus optimum untuk setiap persimpangan.</li> <li>2. Sebelum masuk ke perhitungan pada kondisi nyata, dilakukan simulasi numerik metode Webster yang menunjukkan bahwa siklus optimum bergantung pada volume kendaraan dan lebar jalan, serta semakin padat jumlah kendaraan semakin panjang pula lamanya waktu-nyala lampu hijau.</li> <li>3. Perhitungan menggunakan metode Webster, yang diaplikasikan di simpang empat Semplak, Bogor, pada tanggal 18-21 Maret 2014 dan 25-28 Maret 2014, pukul 07.00-08.00, menghasilkan lama waktu-nyala lampu hijau sebesar 29,37 detik untuk jalur utara, 29,98 detik untuk jalur selatan, 31,56 detik untuk jalur timur, dan 31,33 detik untuk jalur barat. Dihasilkan pula waktu-nyala lampu merah sebesar 97,87 detik untuk jalur utara, 97,27 detik untuk jalur selatan, 95,69 detik untuk jalur timur, dan 95,92 detik untuk jalur barat. Pada kondisi nyata, lama waktu-nyala lampu hijau dan merah berturut-turut adalah 45 detik dan 90 detik. Hal ini memperlihatkan bahwa pengaturan waktu-nyala lampu lalu lintas simpang empat Semplak masih dapat dioptimalkan sehingga diharapkan dapat menurunkan penundaan rata-rata bagi semua kendaraan yang melewati persimpangan tersebut sehingga kemacetan dapat dikurangi.</li> </ol>

No	Nama, Tahun Publikasi, dan Judul	Hasil
3	Wirantina, 2015, Perhitungan Sinyal Pada Simpang dengan Metode Webster	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jalan dengan empat buah mulut menggunakan empat stage memiliki waktu hijau aktual (<math>k</math>), yaitu dari arah utara di peroleh waktu 17 detik, dari arah timur diperoleh waktu 18 detik, dari arah selatan diperoleh waktu 15 detik dan dari arah barat diperoleh waktu 24 detik. Lalu jalan dengan empat buah mulut menggunakan tiga stage memiliki waktu hijau aktual (<math>k</math>), yaitu dari arah utara - selatan di peroleh waktu 11 detik, dari arah timur diperoleh waktu 12 detik dan dari arah barat diperoleh waktu 15 detik.</li> <li>2. Perbedaan antara pertemuan jalan dengan empat buah mulut menggunakan empat stage dan pertemuan jalan dengan empat buah mulut menggunakan tiga stage terletak diantara waktu siklus yang dipilih (<math>C</math>). Empat stage waktu siklus yang dipilih adalah 90 detik sedangkan dengan tiga stage waktu yang dipilih adalah 50 detik.</li> </ol>
4	Saleh, 2015, Implementasi Metode Fuzzy Mamdani dalam Memprediksi Tingkat Kebisingan Lalu Lintas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metode <i>Fuzzy</i> mamdani berhasil diimplementasikan dalam memprediksi tingkat kebisingan lalu lintas.</li> <li>2. Dari 10 data yang diuji menggunakan metode Fuzzy mamdani, didapat nilai persentase error sebesar 2,39 %.</li> </ol>
5	Reddy, 2016, <i>Signal Design for T-Intersection by Using Webster's Method in Nandyal Town, Kurnool District of Andhra Pradesh</i>	Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada nilai smp yang diperoleh dari survei lalu lintas, siklus sinyal pagi adalah 83 detik, sore adalah 145 detik, dan malam adalah 65 detik. Dengan diberikan sinyal, ada pengurangan konflik, dan juga pergerakan lalu lintas menjadi tertib di persimpangan halte bus menuju Atmakur, Srisailam, Kurnool, Kadapa, Allagadda dan pusat Srinivas menuju Halte Bus, Bommalasathram. Selain itu, polisi lalu lintas tidak perlu mengatur lalu lintas di Gerbang Sanjeev Nagar.
6	Miftahurrahmah, 2016, Aplikasi Teori Graf dalam Pengaturan Lampu Lalu Lintas	Pengaturan durasi lampu lalu lintas menggunakan teori graf dan metode Webster diperoleh hasil untuk jalan Usman Salengke (Utara), durasi lampu hijau 39

No	Nama, Tahun Publikasi, dan Judul	Hasil
		<p>detik, kuning 5 detik, dan merah 51 detik. Untuk jalan Poros Malino, durasi lampu hijau 28 detik, kuning 5 detik, dan merah 62 detik. Pada jalan Usman Salengke (Selatan), durasi lampu hijau 39 detik, kuning 5 detik, dan merah 51 detik. Pada jalan K.H.Wahid Hasyim, durasi lampu hijau 17 detik, kuning 5 detik, dan merah 73 detik.</p>
7	<p>Ulfah, 2018, Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas Kota Medan Menggunakan Graf dan Metode Webster</p>	<p>Penggunaan graf untuk mengetahui fase lampu lalu lintas menggunakan graf berarah dan graf berbobot. Sedangkan pada metode Webster digunakan untuk mengoptimalkan waktu siklus lalu lintas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh sebanyak 3 fasa lalu lintas yang di optimalkan yaitu jalan Jamin Ginting (RS Siti Hajar), jalan K.H. Wahid Hasyim, dan jalan Iskandar Muda dengan pengurangan waktu siklus optimum sebesar 8%, sehingga hasil dari metode Webster cukup efektif dengan keadaan volume kendaraan di persimpangan Iskandar Muda karena terjadinya penambahan waktu hijau pada kaki simpang yang bervolume tinggi.</p>
8	<p>Noval, 2018, Optimasi Lampu Lalu Lintas Cerdas menggunakan Metode Webster</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengujian metode Webster dapat bekerja dengan baik dalam mengoptimalkan waktu siklus lalu lintas dan waktu penundaan rata-rata kendaraan.</li> <li>2. Dapat mengoptimalkan waktu penundaan rata-rata kendaraan yang terbentuk berkurang hingga 40,52% untuk fase 1 dan 15,97% untuk fase dari kondisi eksisting pada bulan November pada pagi hari.</li> <li>3. Jika diambil median jumlah kendaraan di bulan November pada pagi hari dari nilai intensitas trafik terbesar pada masing-masing fase setiap untuk harinya maka waktu penundaan rata-rata yang terbentuk berkurang 42,22% untuk fase 1 dan 12,5% untuk fase 2 dari kondisi eksisting.</li> <li>4. Jika nilai median ditambah 10% pada kedua fase maka waktu penundaan rata-rata yang terbentuk berkurang 34,47% untuk fase 1 dan 11,76% untuk fase 2</li> </ol>

No	Nama, Tahun Publikasi, dan Judul	Hasil
		dari kondisi eksisting, hal ini membuktikan bahwa metode Webster dapat bekerja dengan baik dalam mengoptimalkan kondisi eksisting sistem.
9	Pramana, 2018, Optimasi Sistem Kendali Lampu Lalu Lintas Cerdas menggunakan Metode Logika Fuzzy	Perhitungan untuk memperoleh waktu sinyal lampu lalu lintas dapat dilakukan dengan memanfaatkan Logika Fuzzy. Kinerja yang dihasilkan dengan menggunakan Logika Fuzzy lebih cepat dibandingkan dengan sistem konvensional yang sebelumnya durasinya lebih lama. Durasi lampu lalu lintas jika dibandingkan dengan sistem konvensional yang awalnya dari arah selatan ke utara 2250 detik (100%) dan dari arah barat ke timur dan sebaliknya 1400 detik (100%) bisa dipercepat dan diefektifkan menjadi 1782 detik (79.22%) dari arah selatan ke utara dan 550,8 detik (39.34%) dari arah barat ke timur dan sebaliknya untuk kondisi pagi hari. Pada kondisi sore hari bisa dipercepat dan diefektifkan menjadi 1249,9 detik (55,55%) dari arah selatan ke utara dan 998,6 detik (71,33%) dari arah barat ke timur dan sebaliknya.
10	Poernamasari, 2019, Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan menggunakan Metode Webster (Studi Kasus Persimpangan Jalan Babe Palar)	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="775 1227 1353 1473">1. Metode Webster dikatakan efektif yakni penghitungan tersebut menghasilkan waktu siklus optimum persimpangan sebesar 137 detik dan lebih optimal dibandingkan data sekunder yang mempunyai waktu siklus optimum sebesar 171 detik.</li> <li data-bbox="775 1485 1353 1843">2. Hasil perhitungan dengan menggunakan metode Webster pada ruas jalan Maengket yang memiliki tingkat volume lalu lintas yang tinggi terjadi pengurangan pada waktu nyala lampu merah yakni yang sebelumnya 103 detik berkurang menjadi 76 detik dan terjadi penambahan pada nyala lampu hijau yakni yang sebelumnya 22 detik bertambah menjadi 56 detik.</li> <li data-bbox="775 1854 1353 1991">3. Pengaturan arus dengan asumsi yang telah dibuat yakni dapat langsung berbelok ke arah kanan diketahui lebih optimal dan konflik yang terjadi lebih</li> </ol>

No	Nama, Tahun Publikasi, dan Judul	Hasil
		kecil dibandingkan dengan pengaturan real dari persimpangan.

Pada tugas akhir ini dibandingkan dua metode, yaitu metode Webster dan Logika Fuzzy. Penelitian ini banyak merujuk pada penelitian Akhmad Hafiezh Pramana, dkk tahun 2018 yang berjudul “Optimasi Sistem Kendali Lampu Lalu Lintas Cerdas menggunakan Metode Logika Fuzzy” dan penelitian Indah Poernamasari, dkk tahun 2019 yang berjudul “Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan menggunakan Metode Webster (Studi Kasus Persimpangan Jalan Babe Palar)“. Hal yang berbeda dari penelitian ini dengan penelitian Akhmad Hafiezh Pramana, dkk tahun 2018 dan penelitian Indah Poernamasari, dkk tahun 2019, yaitu pada penelitian ini dibandingkan kedua metode, yaitu metode Webster dan Logika Fuzzy. Pada penelitian ini, dijabarkan mengenai langkah-langkah penyelesaian masalah lalu lintas, kemudian dibandingkan untuk melihat durasi lampu lalu lintas yang efektif dari hasil perhitungan kedua metode, yaitu metode Webster dan Logika Fuzzy.

