

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Lalu lintas merupakan aspek penting dalam bidang transportasi yang kerap menjadi persoalan di area perkotaan. Permasalahan yang sering muncul terkait lalu lintas adalah kemacetan lalu lintas. Putranto (2016) menjelaskan bahwa arus, kecepatan, dan kepadatan merupakan variabel penting untuk menunjukkan kinerja suatu sistem lalu lintas. Kinerja sistem lalu lintas dapat diukur berdasarkan derajat jenuh atau *degree of saturated (DS)* yang merupakan perbandingan antara volume lalu lintas dan kapasitas pada suatu jalan atau simpang.

##### **2.1.1. Pemodelan transportasi**

Transportasi merupakan perpindahan manusia atau barang menggunakan sarana transportasi yang dikenal dengan kendaraan (Munawar, 2005). Pemodelan transportasi seperti yang dijelaskan Tamin (2000) merupakan suatu penyederhanaan aspek transportasi berdasarkan kondisi sebenarnya yang umumnya berupa model grafis atau model matematis. Model grafis merupakan pemodelan berupa gambar yang digunakan sebagai media penyampaian berdasarkan keadaan sebenarnya, sedangkan model matematis merupakan suatu pemodelan berbasis persamaan atau fungsi matematika yang digunakan sebagai media penyampaian.

##### **2.1.2. Simpang APILL**

Simpang sebagaimana dijelaskan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 Tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan merupakan titik pertemuan ruas jalan dalam satu bidang. AASHTO (2001) dan Brockenbrough (2009) menjelaskan bahwa simpang merupakan suatu titik dimana terdapat perpotongan atau pertemuan jalan, yang masing-masing dari jalan tersebut dikenal dengan istilah lengan yang meliputi badan jalan dan fasilitas pendukung lalu lintas diluar badan jalan. Sebagai salah satu bagian penting, simpang harus direncanakan dengan baik berdasarkan tingkat keamanan, kecepatan, biaya operasi, dan kapasitas.

Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas sebagaimana dijelaskan dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, merupakan suatu perangkat elektronik yang menggunakan lampu sebagai isyarat dan dapat dilengkapi dengan isyarat bunyi yang berfungsi untuk mengatur lalu lintas orang dan kendaraan di persimpangan atau ruas jalan.

Prinsip APILL seperti yang dijelaskan dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) Tahun 2015 adalah meminimalkan konflik primer maupun sekunder, dimana konflik primer merupakan konflik dua arus lalu lintas yang saling berpotongan, sedangkan konflik sekunder adalah konflik dari arus lurus yang melawan, arus membelok yang berpotongan dengan arus lurus, atau pejalan kaki yang menyeberang.

Mahmudah dan Tubagus (2015) menjelaskan bahwa optimalisasi simpang APILL dilakukan untuk meningkatkan pelayanan simpang yang dalam hal ini adalah kapasitas simpang yang tersedia terhadap volume lalu lintas.

### **2.1.3. Tingkat pelayanan**

Tingkat pelayanan atau *level of service (LOS)* merupakan pengukuran kualitatif dalam menjelaskan kondisi operasional berdasarkan pengendara atau penumpang terhadap arus lalu lintas (Khisty dan Lall, 2005). Tingkat pelayanan seperti yang dijelaskan dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas merupakan ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas. Tingkat pelayanan simpang merupakan penilaian kondisi operasional persimpangan jalan. Tingkat pelayanan ditetapkan berdasarkan beberapa indikator, yaitu rasio volume dan kapasitas jalan (*V/C ratio*), kecepatan, waktu perjalanan, kebebasan bergerak, keamanan, keselamatan, ketertiban, kelancaran, dan penilaian pengemudi terhadap kondisi arus lalu lintas.

*Highway Capacity Manual* merupakan peraturan yang digunakan di Amerika Serikat untuk aspek jalan. Tingkat pelayanan pada *Highway Capacity Manual* Tahun 2000 dan Peraturan Menteri Nomor 96 Tahun 2015 memiliki kesamaan dalam jumlah klasifikasinya. Namun, terdapat perbedaan pada nilainya. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbandingan Tingkat Pelayanan (Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015; *Transportation Research Board*, 2000)

<b>Tingkat Pelayanan (Level of Service)</b>	<b>Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015 (detik/skr)</b>	<b>Highway Capacity Manual Tahun 2000 (detik/kendaraan)</b>
A	$\leq 5$	$\leq 10$
B	$> 5 - \leq 15$	$> 10 - \leq 20$
C	$> 15 - \leq 25$	$> 20 - \leq 35$
D	$> 25 - \leq 40$	$> 35 - \leq 55$
E	$> 40 - \leq 60$	$> 55 - \leq 80$
F	$> 60$	$> 80$

Julianto (2012) menjelaskan bahwa pertumbuhan kendaraan bermotor secara signifikan akan berdampak pada meningkatnya antrian kendaraan pada simpang. Pengoptimalan dapat dilakukan dengan melakukan analisis untuk memperbaiki tingkat pelayanan simpang. Taufikkurrahman (2013) menjelaskan, tingkat pelayanan simpang yang buruk disebabkan oleh tingginya arus lalu lintas dan kondisi lingkungan simpang.

#### 2.1.4. Biaya kemacetan

Kemacetan merupakan situasi ketika banyaknya jumlah kendaraan dalam suatu arus lalu lintas dan masing-masing kendaraan berkecepatan rendah sehingga tidak seimbang jumlah kendaraan dan kapasitas jalan yang tersedia (Sugiyanto *et al.*, 2011a). Khisty dan Lall (2005) menjelaskan bahwa kemacetan merupakan salah satu masalah bidang transportasi di kota besar yang berdampak pada tingginya biaya sosial, tingginya biaya operasional kendaraan, terbuangnya waktu akibat kemacetan, peningkatan angka kecelakaan lalu lintas, polusi udara, masalah kebisingan, dan menurunnya kenyamanan pejalan kaki. Brockenbrough (2009) menjelaskan bahwa kemacetan merupakan suatu kondisi ketika mengalami tundaan saat berkendara karena tidak dapat bergerak dalam arus lalu lintas. Karakteristik dari kondisi tersebut, yaitu rendahnya kecepatan berkendara, bertambahnya waktu perjalanan, meningkatnya frekuensi kecelakaan, pergerakan kendaraan yang tidak menentu, dan meningkatnya biaya operasional kendaraan.

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2015) perbandingan jumlah kendaraan dengan kapasitas jalan disebut dengan derajat

kejenuhan ( $D_j$ ), dimana memiliki nilai maksimum 0,85. Tidak seimbangnya kapasitas jalan dan volume lalu lintas akan menimbulkan kemacetan lalu lintas dan kerugian biaya akibat kemacetan yang merupakan pertimbangan penting dalam suatu perjalanan (Mahmudah *et al.*, 2018; Muchlisin *et al.*, 2018)

Konsep penerapan biaya perjalanan menurut Stubbs *et al.* (1980) diklasifikasikan berdasarkan pengguna, umum, dan masyarakat. Gallo (2010), Kumar *et al.* (2010), dan Litman dan Doherty (2011) menjelaskan bahwa biaya transportasi dikategorikan berdasarkan biaya internal dan biaya eksternal. Biaya internal merupakan biaya yang ditanggung oleh pengguna transportasi seperti biaya kepemilikan kendaraan, biaya operasional kendaraan, biaya perawatan dan perbaikan kendaraan, serta biaya waktu perjalanan. Sementara itu, biaya eksternal merupakan biaya yang ditanggung oleh masyarakat secara keseluruhan, baik yang menggunakan dan yang tidak menggunakan transportasi seperti biaya fasilitas jalan, biaya konsumsi sumber daya, biaya kebisingan, biaya gas rumah kaca (*green house gas*), biaya polusi air, dan biaya polusi udara .

Biaya kemacetan (*congestion cost*) merupakan selisih antara *marginal social cost* dan *marginal private cost*. *Marginal social cost* merupakan biaya yang dikeluarkan masyarakat dalam suatu perjalanan dengan suatu kendaraan, sedangkan *marginal private cost* merupakan biaya yang dikeluarkan pengguna kendaraan pribadi dalam suatu perjalanan. Penambahan kendaraan pada ruas jalan yang sama merupakan salah satu penyebab munculnya biaya kemacetan. Kemacetan lalu lintas akan berdampak pada peningkatan konsumsi bahan bakar, bertambahnya waktu perjalanan, dan munculnya pencemaran lingkungan. Kerugian biaya yang timbul akibat kemacetan merupakan selisih biaya perjalanan kondisi normal dan kondisi sebenarnya. Kerugian biaya akibat kemacetan merupakan suatu fungsi eksponensial, yaitu semakin menurun kecepatan lalu lintas kondisi aktual maka semakin meningkat kerugian biaya akibat kemacetan yang terjadi (Sugiyanto *et al.*, 2011b, 2011c; Sugiyanto, 2012a, 2018).

Basuki dan Siswadi (2008) menjelaskan bahwa kerugian waktu dalam suatu perjalanan akibat kemacetan merupakan kerugian paling mendasar, karena dengan bertambahnya waktu perjalanan akan berdampak pada bertambahnya konsumsi bahan bakar yang berakibat pada meningkatnya biaya operasional kendaraan.

Hubungan biaya kemacetan dibangun berdasarkan faktor penyebab kemacetan, rasio biaya saat terjadi kemacetan dan arus bebas, serta *V/C ratio*. Efek kemacetan berdasarkan biaya bahan bakar lebih signifikan untuk kendaraan berat, sedangkan untuk biaya waktu perjalanan lebih signifikan pada mobil penumpang (Errampalli *et al.*, 2015).

Basuki dan Siswadi (2008) menjelaskan bahwa salah satu penyebab timbulnya biaya akibat terjadi kemacetan adalah meningkatnya biaya operasional kendaraan. Hubungan antara arus lalu lintas (smp/jam) dan kecepatan (km/jam) adalah berbanding terbalik, sehingga semakin meningkat arus lalu lintas maka semakin menurun kecepatan kendaraan.

Pemberlakuan biaya akibat kemacetan di pusat perkotaan bertujuan untuk menekan penggunaan kendaraan pribadi dan mengalihkan ke penggunaan transportasi umum sehingga dapat meningkatkan kinerja sistem transportasi umum. Pemberlakuan biaya kemacetan pada Jalan Malioboro, Yogyakarta dapat mengalihkan 6,848% pengguna sepeda motor dan 54,16% pengguna mobil pribadi untuk beralih menggunakan bus kota atau Trans Jogja (Sugiyanto, 2008; Sugiyanto *et al.*, 2011a, 2011b).

#### **2.1.5. Perangkat lunak *Vissim***

*Vissim* merupakan suatu program mikroskopik, berorientasi tingkatan waktu, dan perilaku transportasi berbasis simulasi untuk memodelkan lalu lintas perkotaan dan pedesaan termasuk pergerakan pejalan kaki atau pedestrian (PTV, 2017).

*Vissim* atau *Verkehr In Städten – SIMulationsmodel* dalam bahasa Jerman, yang dalam bahasa Indonesia yaitu model simulasi lalu lintas perkotaan. *Vissim* merupakan program mikrosimulasi asal Jerman, yang dibuat oleh University of Karlsruhe di Jerman sejak tahun 1970 dan dikembangkan serta didistribusikan secara komersial oleh PTV *Transport Verkehr AG*.

Aghabayk *et al.* (2013) menjelaskan bahwa model simulasi lalu lintas terbagi menjadi tiga kategori yang salah satunya adalah simulasi mikroskopik atau mikrosimulasi. Mikrosimulasi merupakan simulasi atau pemodelan pergerakan kendaraan pada arus lalu lintas yang memodelkan setiap jenis kendaraan dan juga

pejalan kaki agar dapat mewakili secara individu. Oleh karena itu, semua parameter yang berhubungan dengan pemodelan tersebut perlu dipertimbangkan. Perangkat lunak *Vissim* merupakan salah satu program pemodelan mikrosimulasi yang memiliki beberapa keunggulan yang salah satunya dapat memodelkan berbagai jenis moda transportasi termasuk kendaraan tidak bermotor.

### 2.1.6. Referensi penelitian

Penelitian sejenis yang dijadikan sebagai referensi penelitian seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Referensi Penelitian

<b>Peneliti</b>	<b>Judul Penelitian</b>	<b>Lokasi Penelitian</b>	<b>Fokus Penelitian</b>
Sugiyanto (2018)	<i>The Effect of Congestion Pricing Scheme on the Generalized Cost and Speed of a Motorcycle</i>	Kawasan Pusat Bisnis Malioboro, Yogyakarta	Mengestimasi biaya kemacetan dan efek penerapan jalan berbayar
Mahmudah <i>et al.</i> (2018)	<i>Analysis of Congestion Cost at Signalized Intersection Using Vissim 9 (Case Study At Demak Ijo Intersection, Sleman)</i>	Simpang APILL Demak Ijo, Sleman	Menganalisis kinerja simpang dan biaya akibat kemacetan pada simpang
Muchlisin <i>et al.</i> (2018)	<i>Congestion Cost Analysis of Condongcatur Signalized Intersection Sleman, D.I.Yogyakarta Using PTV. Vissim 9</i>	Simpang APILL Condongcatur, Sleman	Mengevaluasi kinerja simpang dan menghitung biaya kemacetan

Tabel 2.2. Lanjutan

<b>Peneliti</b>	<b>Judul Penelitian</b>	<b>Lokasi Penelitian</b>	<b>Fokus Penelitian</b>
Pribadi (2017)	Pengkinian Manual Kapasitas Jalan Indonesia Segmen Jalan Perkotaan dengan <i>Traffic Micro Simulation</i>	Jalan Perkotaan Indonesia	Mengevaluasi Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997 pada Segmen Jalan Perkotaan menggunakan pemodelan mikrosimulasi
Mahmudah <i>et al.</i> (2016)	Pemodelan Lalu Lintas Pada Simpang Bersinyal Di Kota Yogyakarta (Studi Kasus Simpang Pingit)	Simpang APILL Pingit, Yogyakarta	Mengevaluasi kinerja simpang dengan <i>software Vissim 8</i> dan memberikan alternatif solusi
Irawan dan Putri (2015)	Kalibrasi Vissim Untuk Mikrosimulasi Arus Lalu Lintas Tercampur Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Simpang Tugu, Yogyakarta)	Simpang Tugu, Yogyakarta	Melakukan kalibrasi model pada <i>software Vissim</i> agar lalu lintas seperti kondisi sebenarnya atau dalam kondisi <i>mixed traffic</i>
Sugiyanto (2012a)	Permodelan Biaya Kemacetan Pengguna Mobil Pribadi Dengan Variasi Nilai Kecepatan Aktual Kendaraan	Jalan Malioboro, Yogyakarta	Pengembangan model biaya kemacetan untuk pengendara mobil pribadi berdasarkan waktu dan kecepatan sebenarnya

Tabel 2.2. Lanjutan

<b>Peneliti</b>	<b>Judul Penelitian</b>	<b>Lokasi Penelitian</b>	<b>Fokus Penelitian</b>
Sugiyanto (2012b)	Pengembangan Model dan Estimasi Biaya Kemacetan Bagi Pengguna Mobil dan Sepeda Motor Pribadi di Kawasan Pusat Perkotaan	Kawasan Malioboro, Yogyakarta	Mengembangkan model dan mengestimasi besar biaya akibat kemacetan untuk pengguna mobil pribadi dan sepeda motor di kawasan pusat perkotaan
Sugiyanto <i>et al.</i> (2011a)	<i>Modeling The Effect of Congestion Pricing on Mode Choice in Yogyakarta, Indonesia</i>	Jalan Malioboro, Yogyakarta	Mengembangkan model pemilihan moda transportasi dan memodelkan biaya kemacetannya
Sugiyanto <i>et al.</i> (2011b)	<i>Estimation of Congestion Cost of Motorcycles Users in Malioboro, Yogyakarta, Indonesia</i>	Jalan Malioboro, Yogyakarta	Mengestimasi biaya kemacetan untuk pengendara sepeda motor
Sugiyanto <i>et al.</i> (2011c)	Pengembangan Model Biaya Kemacetan Bagi Pengguna Mobil Pribadi Di Daerah Pusat Perkotaan Yogyakarta	Jalan Malioboro, Yogyakarta	Estimasi dan pengembangan model biaya kemacetan untuk pengendara mobil pribadi



Tabel 2.2. Lanjutan

<b>Peneliti</b>	<b>Judul Penelitian</b>	<b>Lokasi Penelitian</b>	<b>Fokus Penelitian</b>
Sugiyanto dan Malkhamah (2009)	Model Pemilihan Moda Antara Mobil Pribadi Dan Bis Transjogja Akibat Penerapan Biaya Kemacetan	Jalan Malioboro, Yogyakarta	Membuat model pemilihan moda antara mobil pribadi dengan bus Trans Jogja sebagai hasil penerapan biaya kemacetan
Basuki dan Siswadi (2008)	Biaya Kemacetan Ruas Jalan Kota Yogyakarta	Jalan Gejayan Yogyakarta	Menganalisis besar biaya akibat kemacetan di ruas jalan Gejayan

## 2.2. Landasan Teori

Kinerja simpang ditunjukkan dengan tingkat pelayanan simpang melalui proses analisis kinerja simpang atau pemodelan simpang. Analisis kinerja simpang dilakukan berdasarkan pedoman-pedoman terkait, sedangkan pemodelan simpang dilakukan menggunakan program *Vissim 10 student version*.

### 2.2.1. Peraturan transportasi di Indonesia

Indonesia memiliki beberapa peraturan dan pedoman yang berkaitan dengan transportasi, baik transportasi manusia maupun barang. Peraturan tersebut diurutkan mulai dari yang tertinggi yaitu undang-undang hingga yang terendah yaitu pedoman teknis yang disebutkan seperti berikut:

1. Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.
2. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan.
3. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 Tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan.

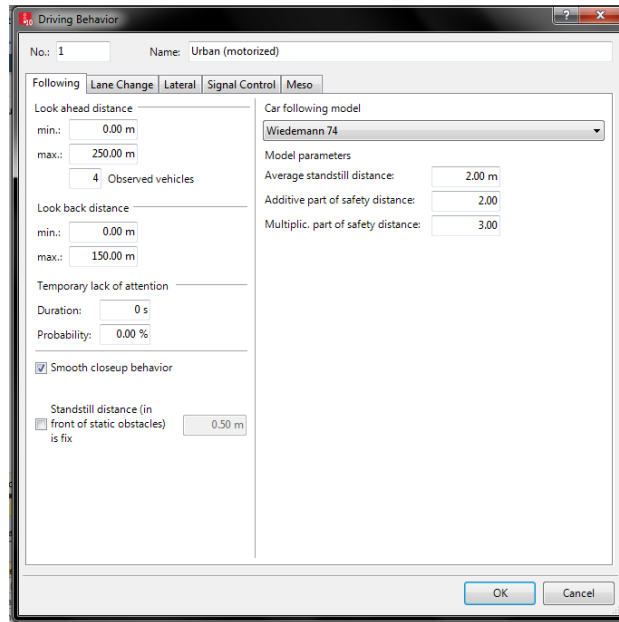
4. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas.
5. Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997 atau Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 2015.

### **2.2.2. Pemodelan menggunakan program *Vissim***

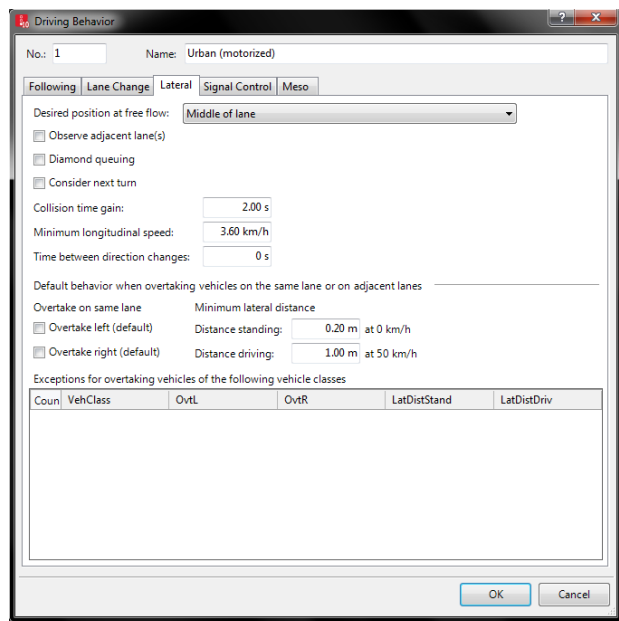
*Vissim* merupakan salah satu program pemodelan yang baik dalam pemodelan mikro. *Vissim* dapat memodelkan berbagai jenis kendaraan yang berbeda atau yang dikenal dengan multi-moda dalam suatu pergerakan lalu lintas. Selain kendaraan, *Vissim* juga dapat memodelkan pergerakan pejalan kaki. Sehingga pemodelan mikro dapat dimodelkan seperti keadaan aslinya.

Parameter keluaran (*output*) hasil pemodelan menggunakan program *Vissim* dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Secara umum, hasil keluaran pemodelan dengan *Vissim* meliputi panjang antrian, waktu tundaan, tingkat pelayanan, dan besar emisi kendaraan.

Mikrosimulasi dengan program *Vissim* mengacu pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh University of Karlsruhe di Jerman, sehingga perlu dilakukan kalibrasi dan validasi agar sesuai dengan kondisi lalu lintas di Indonesia. Kalibrasi pemodelan dilakukan dengan menyesuaikan parameter perilaku mengemudi (*Driving Behavior*) pada program *Vissim*. Kalibrasi parameter *Driving Behavior* dilakukan berdasarkan tipe *Urban (motorized)* pada pengaturan *default* yang tersedia dalam *Vissim*. Penyesuaian parameter dilakukan pada menu *Following* dan *Lateral* seperti yang dimunculkan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2. Kalibrasi model dilakukan berdasarkan penelitian Pribadi (2017) pada menu *Driving Behavior* dengan menyesuaikan nilai parameter *Following* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan parameter *Lateral* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.



Gambar 2.1. Menu *Following* pada *Driving Behavior* program *Vissim 10*



Gambar 2.2. Menu *Lateral* pada *Driving Behavior* program *Vissim 10*

Tabel 2.3. Kalibrasi Parameter *Following* (Pribadi, 2017)

Parameter	Default	Hasil Kalibrasi		
		Kendaraan Ringan	Kendaraan Berat	Sepeda Motor
<b>Following</b>				
<b>Look ahead distance</b>				
Minimum	0 m	40 m	50 m	40 m
Maximum	250 m	250 m	250 m	250 m
Observed vehicles	4	4	4	4
<b>Look back distance</b>				
Minimum	0 m	15 m	20 m	0 m
Maximum	150 m	150 m	150 m	150 m
<b>Temporary Lack of attention</b>				
Duration	0 s	0 s	0 s	0 s
Probability	0 s	0 s	0 s	0 s
Smooth closeup behavior	x	x	x	x
Standstill dist. For static obst	x	x	0.5 m	x
<b>Car following model Model Parameter</b>				
	Wiedemann 74	Wiedemann 74	Wiedemann 74	Wiedemann 74
Average standstill distance	2 m	1.9 m	2 m	0.5 m
Additive part of safety distance	2	1.9	2	0.5
Multiplicative part for safety distance	3	2.9	3	1

Tabel 2.4. Kalibrasi Parameter *Lateral* (Pribadi, 2017)

Parameter	Default	Hasil Kalibrasi		
		Kendaraan Ringan	Kendaraan Berat	Sepeda Motor
<b><i>Lateral</i></b>				
<i>Desired position at free flow</i>	<i>Middle of lane</i>	<i>Any</i>	<i>Middle of lane</i>	<i>Any</i>
<i>Keep lateral distance</i>	x	x	x	x
<i>Diamond queuing</i>	x	x	x	✓
<i>Consider next turn</i>	x	x	x	x
<i>Collision time gain</i>	<i>2 s</i>	<i>2 s</i>	<i>2 s</i>	<i>2 s</i>
<i>Min. longitudinal speed</i>	<i>3.60 km/h</i>	<i>1 km/h</i>	<i>1 km/h</i>	<i>1 km/h</i>
<i>Time between direction changes</i>	<i>0 s</i>	<i>0 s</i>	<i>0 s</i>	<i>0 s</i>
<b><i>Overtake on same lane</i></b>				
<i>Overtake left</i>	x	✓	x	✓
<i>Overtake right</i>	x	✓	✓	✓
<b><i>Minimum lateral distance</i></b>				
<i>Distance standing</i>	<i>0.2 m at 0 km/h</i>	<i>0.1 m at 0 km/h</i>	<i>0.1 m at 0 km/h</i>	<i>0.1 m at 0 km/h</i>
<i>Distance driving</i>	<i>1.00 m at 50 km/h</i>	<i>0.1 m at 50 km/h</i>	<i>0.1 m at 50 km/h</i>	<i>0.1 m at 50 km/h</i>
<i>Exception for overtaking vehicles the following vehicles classes</i>	<i>left blank</i>	<i>left blank</i>	<i>left blank</i>	<i>left blank</i>

### 2.2.3. Menentukan biaya kemacetan

Biaya kemacetan dihitung berdasarkan Tzedakis (1980) seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$CC = N x [VC x V_a + (1 - \frac{V_a}{V_i}) x V'] x QT \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

CC = Biaya kemacetan (Rp/jam)

- $N$  = Volume antrian kendaraan (smp/jam)  
 $VC$  = Biaya operasional kendaraan (Rp/km)  
 $V_a$  = Kecepatan aktual (km/jam)  
 $V_i$  = Kecepatan ideal (km/jam)  
 $V'$  = Nilai waktu kendaraan (Rp/jam)  
 $QT$  = Waktu antrian (jam)

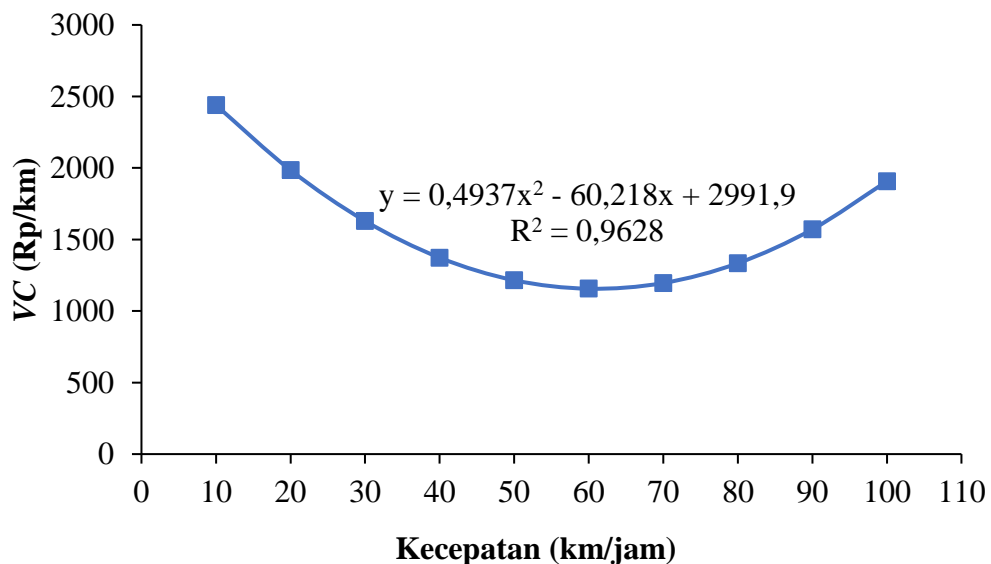
Volume antrian kendaraan dalam perhitungan biaya kemacetan dihitung berdasarkan persamaan 2.2.

$$N = (IV - OV) \times emp \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana:

- $N$  = Volume antrian kendaraan (smp/jam)  
 $IV$  = Volume kendaraan awal (kendaraan/jam)  
 $OV$  = Volume kendaraan yang lolos simpang (kendaraan/jam)  
 $emp$  = ekivalen mobil penumpang

Perhitungan biaya operasional kendaraan ( $VC$ ) menggunakan jenis kendaraan mobil penumpang dengan pendekatan berdasarkan hasil penelitian Sugiyanto (2012a) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hubungan Kecepatan dengan Biaya Operasional Kendaraan (Sugiyanto, 2012a)

Nilai waktu kendaraan ditentukan berdasarkan *Indonesian High Capacity Manual (IHCM)* Tahun 1995 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5. Volume lalu lintas dalam perhitungan biaya kemacetan menggunakan satuan mobil penumpang, sehingga perlu dikalikan dengan ekivalen mobil penumpang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5. Nilai Waktu Kendaraan (Bina Marga, 1995)

<b>Jenis Kendaraan</b>	<b>Nilai Waktu Kendaraan Berdasarkan PDB (Rp/jam.kendaraan)</b>
Sepeda Motor	315
Mobil	1.925
Bus Kecil	7.385
Bus Besar	9.800
Truk Kecil	4.970
Truk Sedang	4.970
Truk Besar	4.970

Tabel 2.6. Ekivalen Mobil Penumpang (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015)

<b>Jenis Kendaraan</b>	<b>emp pendekat Terlindung</b>	<b>emp pendekat Terlawan</b>
Mobil penumpang	1,00	1,00
Kendaraan berat	1,30	1,30
Sepeda motor	0,15	0,40