

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Analisis Kinerja Simpang

Penelitian yang akan dilakukan memiliki dua parameter yang akan dibandingkan yaitu analisis menggunakan MKJI 1997 dan pemodelan *Vissim*. Berikut ini adalah penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan:

- a. Wijanarko dan Ridlo (2019) melakukan penelitian mengenai faktor-faktor pendorong penyebab terjadinya kemacetan di kawasan Sukun Banyumanik Kota Semarang. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kemacetan terjadi oleh adanya *on site activity*, kapasitas jalan yang tinggi, hambatan samping, dan kondisi geometrik jalan.
- b. Ansusanto dan Tanggu (2018) menganalisis kinerja dan manajemen pada simpang dengan derajat kejenuhan tinggi. Hasil yang didapat pada kondisi saat ini bahwa simpang tidak mampu melayani arus lalu lintas dengan baik dan dilakukannya perbaikan seperti pemasangan APILL, perubahan kondisi geometrik, serta penerapan manajemen lalu lintas.
- c. Mammudah dkk. (2018) melakukan penelitian tentang analisis biaya kemacetan pada simpang APILL Demak Ijo Yogyakarta menggunakan *Vissim 9*. Hasil penelitian tersebut didapat kondisi eksisting tundaan rata-rata 80 detik dengan tingkat pelayanan (*level of service*) bernilai F dan panjang antrian rata-rata 48,73 meter. Pada penelitian ini jam puncak lalu lintas terjadi pada pagi hari jam 06.15 – 07.15 WIB dengan total kendaraan yang melintas 14.633 kendaraan. Biaya yang dikeluarkan untuk kemacetan yang terjadi pada jam puncak adalah Rp. 2.830.336 per jam.
- d. Muchlisin dkk. (2018) melakukan penelitian tentang analisis biaya kemacetan pada simpang APILL menggunakan *PTV. Vissim 9* di Simpang Condongcatur. Hasil penelitian tersebut didapat kondisi eksisting rata-rata 103,72 dengan panjang antrian rata-rata 49,39 meter dan tingkat pelayanan pada simpang

adalah F. Jam puncak lalu lintas terjadi pada pagi hari jam 07.30 – 08.30 WIB dengan biaya kemacetan yang dikeluarkan sebesar Rp. 5.663.790 per jam.

- e. Yulianto dkk. (2018) menganalisis kinerja simpang menggunakan metode IHCM 1997 dan *Software PTV Vistro* di Simpang Jalan Brigjen Slamet Riyadi, Yogyakarta. Hasil analisis kinerja simpang menunjukkan nilai panjang antrian kendaraan menggunakan metode IHCM 1997 dan PTV Vistro berbeda dengan panjang antrian lapangan. Pada penelitian ini jam puncak lalu lintas yang terjadi pada sore hari jam 16.00 – 17.00 WIB dengan metode IHCM 1997 menghasilkan tingkat kejenuhan, penundaan kendaraan, dan tingkat pelayanan yang lebih rendah dibandingkan *PTV Vistro*. Kalibrasi dan validasi dilakukan dengan mengubah nilai aliran saturasi dasar dan PCU untuk sepeda motor. Validasi menggunakan uji T diperoleh hasil model dan data lapangan tidak ada perbedaan yang signifikan.
- f. Malkhamah dkk. (2018) melakukan penelitian tentang nilai arus jenuh, kinerja simpang, dan kebutuhan fasilitas belok kanan untuk sepeda motor di Simpang UPN Yogyakarta. Hasil dari penelitian yang dilakukan didapat nilai kalibrasi untuk arus jenuh rata-rata sebesar 851 dengan derajat jenuh pada kondisi eksisting pada lengan utara 0,84, timur 0,82, selatan 0,88, dan barat 0,92. Dengan dilakukan larangan belok kiri langsung derajat jenuh dasar dapat diturunkan menjadi 0,65 lengan utara dan 0,75 pada ketiga lengan yaitu timur, utara, serta selatan. Fasilitas belok kanan untuk meningkatkan keselamatan bagi pengguna sepeda motor pada lengan barat $12 \times 11,19 \text{ m}^2$ (alternatif 1) dan $10 \times 11,19 \text{ m}^2$ (alternatif 2).
- g. Hastutiningrum dkk. (2018) dalam penelitiannya tentang analisis hubungan aktivitas kendaraan terhadap konsentrasi SO_2 dan NO_2 udara ambien di Jalan Panembahan Senopati Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan metode Pararosanilin untuk pengukuran SO_2 dan *Griess Saltzman* untuk NO_2 sedangkan penentuan konsentrasi dilakukan menggunakan spektrofotometer *UV-Vis Thermo Scientific Genesys 20*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak adanya keterkaitan konsentrasi SO_2 dan NO_2 di udara ambien dengan aktivitas kendaraan bermotor. Adapun konsentrasi SO_2 tertinggi sebesar

232,05 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan NO_2 sebesar 17,9522 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dimana baik SO_2 dan NO_2 tidak melebihi batas baku mutu udara ambien DIY maupun nasional.

- h. Nugroho dan Malkhamah (2018) melakukan analisis mengenai manajemen sistem transportasi Perkotaan Yogyakarta. Hasil penelitian ini menunjukkan beberapa rencana yaitu pada jaringan jalan, tata ruang, sistem angkutan umum, wisata, dan fasilitas parkir.
- i. Pribadi (2017) melakukan penelitian tentang pengkinian MKJI segmen jalan perkotaan dengan *traffic micro simulation* di Jalan Affandi Yogyakarta dengan tipe empat lajur dua arah terbagi (4/2 D). Hasil penelitian didapat beberapa nilai baru untuk kapasitas dasar, faktor penyesuaian lebar jalan kendaraan parkir dan alinyemen vertikal dimana tidak adanya faktor penyesuaian ukuran kota, satuan mobil penumpang untuk sepeda motor dan kendaraan berat serta parameter untuk kecepatan arus bebas.
- j. Irawan dan Putri (2017) melakukan penelitian mengenai kalibrasi *Vissim* untuk mikrosimulasi arus lalu lintas tercampur di simpang Tugu Yogyakarta. Hasil penelitian yang dilakukan setelah adanya kalibrasi *Vissim* diperoleh panjang antrian yang tidak berbeda dari simulasi *Vissim* dengan panjang antrian lapangan yang ditunjukkan pada nilai R^2 sebesar 0,9985 (lengan barat), 0,9825 (lengan utara) dan 0,9713 (lengan timur). Nilai volume lalu lintas menggunakan uji GEH sebesar 0,0 (lengan barat), 0,6 (lengan utara), dan 0,2 (lengan timur) sedangkan uji MAPE pada panjang antrian dan volume lalu lintas terdapat selisih yang tidak signifikan untuk semua lengan pada simpang Tugu Yogyakarta.
- k. Mahmudah dkk. (2016) dalam penelitiannya tentang pemodelan lalu lintas pada simpang APILL Pingit Yogyakarta yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang tersebut memodelkan menggunakan *Vissim 8*. Hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa volume lalu lintas tertinggi pada jam puncak pukul 06.45 – 07.45 WIB dan tundaan simpang rata-rata pada kondisi eksisting 88,65 det/smp dengan tingkat pelayanan F, perancangan ulang volume jam puncak (VJP) 55,56 det/smp dengan tingkat pelayanan E, pengaturan ulang satu jam rata-rata (LHR) 75,59 det/smp dengan tingkat pelayanan F, serta

pelebaran jalan untuk lengan utara dan timur sebesar 49,13 det/smp dengan tingkat pelayanan E.

- l. Putra dan Ahyudanari (2016) mensimulasikan RHK pada simpang bersinyal Jalan Dr.Ir.H. Soekarno – Jalan Kertajaya Indah Surabaya ditinjau dari nilai tundaan. Hasil analisis penelitian pada kondisi eksisting adalah RHK tipe kotak dengan panjang RHK sebesar $12 \times 3,5$ meter dan kinerja pendekat diperoleh tiga kondisi yaitu kondisi a, b, dan c yang menggambarkan perbedaan pola grafik akibat adanya penerapan RHK dengan arus kendaraan sebesar 180 per menit untuk sepeda motor, 55 per menit untuk mobil besar, dan 2 per menit untuk truk.
- m. Sugiyanto (2016) melakukan penelitian tentang dampak biaya kemacetan pada biaya umum dan kecepatan sepeda motor di kota Yogyakarta. Hasil penelitian yang dilakukan diperoleh nilai kecepatan aliran kendaraan pada sepeda motor sebesar 45,45 km/jam dengan biaya Rp. 774 per perjalanan. Kecepatan aktual pada kondisi kemacetan lalu lintas yang terjadi sebesar 12,57 km/jam dengan biaya yang dikeluarkan Rp. 1.655 per perjalanan sedangkan untuk biaya kemacetan sepeda motor sebesar Rp. 881 per perjalanan. Dampak penerapan harga kemacetan antara 0,42 – 6,32% akan berakibat pada peningkatan kecepatan kendaraan di Jalan Malioboro sebesar 1,76 km/jam (6,32%) dan terjadi penurunan di Jalan Walikora Suryotomo sebesar 1,07 km/jam (2,64%) serta Jalan Bhayangkara sebesar 0,93 km/jam (2,94%).
- n. Winnetou dan Munawar (2015) meneliti tentang penggunaan software *Vissim* untuk mengevaluasi hitungan MKJI 1997 pada kinerja ruas di Jalan Affandi Yogyakarta. Metode yang dilakukan yaitu dengan membandingkan kecepatan hasil pengukuran lapangan, analisis MKJI 1997 dan *software Vissim* yang kemudian dilakukan uji statistik T menggunakan *software SPSS 15.0 for windows*. Hasil yang diperoleh pada nilai kecepatan mobil dan sepeda motor pada MKJI 1997 dengan nilai kecepatan di lapangan terdapat perbedaan yang signifikan sedangkan untuk nilai kecepatan mobil dan sepeda motor pada *software Vissim* dan kecepatan sepeda motor menurut MKJI 1997 tidak ada perbedaan yang menonjo karena jumlah kedua kendaraan > 90% mendominasi jalan.

- o. Mulyodiputro dan Subanar (2015) dalam penelitiannya melakukan simulasi antrian dengan layanan siklik pada simpang bersinyal dengan menggunakan aturan layanan antrian *First In First Out* (FIFO) pada simpang bersinyal Mirota Campus, MM UGM, dan Kentungan. Hasil penelitian ini diperoleh tiga aturan layanan yang nilai karakteristik dan kinerja yang sama, akan tetapi layanan *exhaustive* dan *exhaustive* normal merupakan aturan layanan yang cocok untuk diterapkan di simpang tersebut.
- p. Putri dan Irawan (2015) melakukan penelitian tentang mikrosimulasi *mixed traffic* pada simpang dengan perangkat lunak *Vissim* pada simpang Tugu, Yogyakarta. Hasil yang didapatkan meliputi optimalisasi lampu hijau lalu lintas berdasarkan MKJI dan panjang antrian berkurang menjadi 39% per jam.
- q. Cahyaningrum dan Munawar (2014) meneliti tentang koordinasi simpang bersinyal pada simpang Kentungan – Monjali. Hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa pada kondisi eksisting untuk jam puncak pagi nilai derajat kejenuhan sebesar 0,5008, panjang antrian sebesar 92,125 meter, dan tundaan sebesar 56,575 detik sedangkan pada jam puncak sore nilai derajat kejenuhan sebesar 0,6045, panjang antrian sebesar 136,25 meter, dan tundaan sebesar 59,575 detik. Waktu siklus yang didapatkan sebesar 130 detik dengan waktu *offset* sebesar 70,93 detik dan *bandwidth* sebesar 37 detik serta 32 detik untuk arah timur dan barat.
- r. Pribadi dkk. (2014) menganalisis kapasitas jalan dengan metode *traffic microsimulation* di Jalan Menteri Supeno Yogyakarta. Hasil analisis yang dilakukan dengan uji statistik menunjukkan bahwa *headway* kedatangan kendaraan dan kecepatan lalu lintas tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara data hasil lapangan dengan model dan kapasitas jalan sebesar 4.193 kendaraan pada lajur satu dan dua.
- s. Sitanggang (2014) menganalisis mengenai kinerja simpang pada Jalan K.H Wahid Hasyim - Jalan Gajah Mada. Hasil yang didapatkan yaitu tingkat pelayanan F dan perlunya perubahan fase atau perubahan bentuk simpang, pelebaran jalan, dan perubahan waktu hijau.
- t. Nugroho dan Malkhamah (2018) melakukan analisis mengenai manajemen sistem transportasi Perkotaan Yogyakarta. Hasil penelitian ini menunjukkan

beberapa rencana yaitu pada jaringan jalannya, tata ruang, sistem angkutan umum dan lain-lain.

2.2. Landasan Teori

Proses analisis kinerja simpang ditunjukkan berdasarkan tingkat pelayanan simpang atau *level of service (LOS)* melalui pemodelan simpang. Analisis yang dilakukan mengacu pada MKJI 1997 dan pedoman-pedoman yang telah ditetapkan yang kemudian dilakukan validasi. Pemodelan simpang dilakukan dengan menggunakan Software PTV. *Vissim 11.00-08 Student Version*.

2.2.1. Transportasi

Transportasi merupakan sarana yang bermanfaat bagi kehidupan manusia untuk memenuhi kebutuhannya dalam memindahkan suatu barang dan jasa. Sistem transportasi memiliki struktur tatanan yang berkaitan dalam kegiatan perpindahan barang maupun penumpang dari suatu tempat ke tempat lainnya (Munawar, 2005). Ortuzar dan Willumsen (dalam Wiley dan Sons, 2011) menyatakan adanya transportasi memunculkan berbagai masalah yang mengakibatkan kemacetan, keterlambatan, kecelakaan, dan pencemaran lingkungan. Adanya *on site activity*, tingginya kapasitas jalan, hambatan samping dan kondisi geometri jalan merupakan penyebab terjadinya kemacetan (Wijanarko dan Ridlo, 2019).

2.2.2. Pemodelan Transportasi

Menurut Tamin (2000) model merupakan penyederhanaan bentuk yang sebenarnya, termasuk diantaranya :

1. Model fisik (model arsitek, teknik sipil, wayang golek, dan lain sebagainya).
2. Peta dan diagram (grafik).
3. Model statistika dan matematika (persamaan) yang meliputi aspek fisik, sosial ekonomi, dan model transportasi.

Perencanaan dan pemodelan transportasi biasanya menggunakan model utama, yaitu model grafik dan matematika. Model grafik digunakan untuk menggambarkan terjadinya pergerakan (arah dan besarnya) yang beroperasi secara spasial. Sedangkan, model matematika digunakan sebagai sarana untuk mewujudkan kondisi nyata yang ada di lapangan.

2.2.3. Pendekat

Pendekat merupakan daerah untuk kendaraan mengantri sebelum keluar melewati garis henti di lengan persimpangan. Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (1997) tipe pendekat dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Terlindung (P) adalah arus berangkat tanpa konflik dengan lalu lintas dari daerah berlawanan.
2. Terlawan (O) adalah arus berangkat dengan konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan.

2.2.4. Arus dan komposisi lalu lintas

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (1997) nilai arus lalu lintas merupakan gambaran komposisi lalu lintas dengan arus dalam satuan mobil penumpang (smp). Nilai arus lalu lintas diubah menjadi satuan mobil penumpang (smp) menggunakan ekivalensi mobil penumpang (emp). Secara empiris tipe kendaraan sebagai berikut:

- a. Kendaraan ringan (LV), kendaraan bermotor yang mempunyai dua as dengan empat roda dimana jarak masing-masing antar as 2 – 3 meter. Kendaraan yang dimaksud seperti mobil penumpang, oplet, mikrobis, pick-up dan truk kecil.
- b. Kendaraan berat (HV), kendaraan bermotor yang mempunyai lebih dari empat roda seperti bis, truk dua as, truk tiga as, dan truk kombinasi.
- c. Sepeda motor (MC), kendaraan bermotor yang memakai dua atau tiga roda seperti sepeda motor dan kendaraan roda tiga.
- d. Kendaraan tak bermotor (UM), kendaraan yang sistem pergerakan rodanya digerakkan oleh orang atau hewan seperti sepeda, becak, kereta kuda, dan kereta dorong.

Tabel 2. 1. Ekivalen kendaraan penumpang (emp) berdasarkan tipe pendekat (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Jenis Kendaraan	emp untuk tipe pendekat :	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan Ringan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan Berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,4

Komposisi lalu lintas menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas merupakan klasifikasi kendaraan. Klasifikasi kendaraan yang dimaksud meliputi :

1. Klasifikasi kendaraan berdasarkan berat kendaraan, beban sumbu, dilakukan untuk hal-hal yang berkaitan dengan desain konstruksi perkerasan dan penanganan jalan.
2. Klasifikasi kendaraan berdasarkan dimensi kendaraan dilakukan untuk menentukan lebar lajur dan radius putar.
3. Klasifikasi kendaraan berdasarkan kendaraan pribadi dan kendaraan umum dilakukan untuk menentukan skema manajemen pembatasan.
4. Klasifikasi kendaraan berdasarkan kendaraan bermotor, kendaraan tidak bermotor dan pejalan kaki dilakukan untuk menentukan teknik optimasi penggunaan ruang jalan dan keselamatan pejalan kaki.

2.2.5. Kecepatan lalu lintas

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas kecepatan lalu lintas adalah kemampuan kendaraan untuk menempuh jarak tertentu dalam satuan waktu (km/jam) . Kecepatan lalu lintas dapat diukur sebagai :

1. Kecepatan setempat (*spot speed*)

Kecepatan setempat (*spot speed*) merupakan kecepatan sesaat di lokasi tertentu pada suatu ruas jalan. Terdapat 2 (dua) jenis kecepatan rata-rata setempat (*mean spot speed*), yaitu :

 - a) Kecepatan rata-rata waktu (*time mean speed*) adalah rata-rata kecepatan kendaraan yang melintasi suatu titik selama rentang waktu tertentu.
 - b) Kecepatan rata-rata ruang (*space mean speed*) adalah rata-rata kecepatan kendaraan yang berada pada rentang jarak dan waktu tertentu.
2. Kecepatan tempuh (*travel speed*)

Kecepatan tempuh (*travel speed*) merupakan kecepatan rata-rata (km/jam) arus lalu lintas dihitung dari panjang jalan dibagi dengan waktu tempuh rata-rata kendaraan. Waktu tempuh rata-rata yang digunakan termasuk semua tundaan

waktu berhenti (detik) atau jam. Waktu tempuh tidak termasuk berhenti untuk istirahat dan perbaikan kendaraan.

3. Kecepatan arus bebas (*free flow speed*)

Kecepatan arus bebas (*free flow speed*) merupakan kecepatan rata-rata teoritis (km/jam) lalu lintas pada kerapatan nol (tidak ada kendaraan yang lewat) dan tidak dipengaruhi oleh kendaraan lain (kecepatan dimana pengendara merasakan perjalanan yang nyaman, dalam kondisi geometrik, lingkungan, dan pengaturan lalu lintas yang ada).

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19 Tahun 2011 kecepatan rencana adalah kecepatan yang menjadi dasar perencanaan teknis jalan. Kecepatan rencana untuk jalan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kecepatan Rencana berdasarkan Fungsi dan Klasifikasi Medan Jalan (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19 Tahun 2011)

Jenis Jalan	Kecepatan Rencana (km/jam)
Jalan bebas Hambatan	80 – 120
Jalan Raya	40 – 100
Jalan Sedang	40 – 80
Jalan Kecil	30 – 60

2.2.6. Simpang

Persimpangan adalah daerah dimana dua atau lebih ruas jalan yang berpotongan satu sama lain sehingga akibat adanya perpotongan tersebut sering kali terjadi konflik lalu lintas. Salah satu optimalisasi terjadinya kemacetan yaitu dengan perencanaan dan pengaturan manajemen lalu lintas yang baik. Adanya lampu lalu lintas atau alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL) sangat bermanfaat untuk mengatur arus lalu lintas di persimpangan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan simpang merupakan titik kumpul dalam satu bidang yang terdiri dari dua ruas jalan atau lebih yang memiliki fungsi hirarki sama atau berbeda. Simpang pada umumnya terbagi menjadi 3 jenis yaitu simpang sebidang, simpang tak sebidang (*interchange*), dan pembagian jalur jalan tanpa *ramp*. Menurut Mahmudah dkk. (2016) simpang

merupakan bagian jaringan jalan yang tidak terpisahkan dimana tempat titik konflik dan kemacetan terjadi. Parameter kondisi lingkungan simpang yaitu ukuran kota, hambatan samping, dan kendaraan tak bermotor (Ansusanto dan Tanggu, 2018).

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia tahun 1997 terdapat dua jenis persimpangan jalan yaitu persimpangan bersinyal dan persimpangan tak bersinyal. Kinerja simpang bersinyal berhubungan dengan geometri, lingkungan dan lalu lintas jalan dipengaruhi oleh arus lalu lintas (Q), kapasitas samping (C), derajat kejenuhan (DS), tundaan (D), dan peluang antrian.

2.2.7. Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL)

Menurut UU No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas) adalah media elektronik berupa lampu yang digunakan untuk mengatur lalu lintas di persimpangan atau ruas jalan. Lampu lalu lintas secara umum berwarna merah (berhenti), kuning (hati-hati), dan hijau (berjalan dengan hati-hati). APILL ini merupakan instrumen yang sangat penting bagi lalu lintas perkotaan. Pengendalian simpang ber APILL menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 dapat dilakukan sesuai persyaratan berikut:

1. Volume lalu lintas di persimpangan rata-rata > 750 (kend/jam) selama 8 jam.
2. Waktu tunggu (*delay*) rata-rata kendaraan di persimpangan > 30 detik.
3. Rata-rata jumlah pejalan kaki yang menyeberang > 175 pejalan kaki/jam dalam waktu 8 jam/hari.
4. Jumlah tingkat kecelakaan > 5 kecelakaan/tahun.

Pengendalian simpang ber APILL biasanya dilengkapi dengan APILL, marka dan rambu peringatan. Dalam penyampaian informasi lalu lintas dan sosialisasi terkait ketertiban dalam berkendara, APILL dapat dilengkapi dengan *Display Information System* (DIS).

Pada umumnya sinyal lalu lintas digunakan untuk menghindari kemacetan, memberikan kesempatan kepada kendaraan dan pejalan kaki untuk berjalan memotong jalan utama, serta mengurangi tingkat kecelakaan lalu lintas akibat adanya tabrakan antara kendaraan dari arah berlawanan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997).

2.2.8. Tingkat pelayanan Simpang

Tingkat pelayanan atau *level of service (LOS)* adalah kondisi arus lalu lintas dan penilaiannya yang mencakup aspek kecepatan, waktu tempuh, kebebasan bergerak, interupsi lalu lintas, keenakan, kenyamanan, dan keselamatan bagi pengguna jalan (MKJI, 1997). Optimalisasi pengaturan waktu sinyal sangat mempengaruhi kinerja simpang untuk menentukan tingkat kejenuhan, keterlambatan, panjang antrian, dan tingkat layanan pada simpang (*LOS*) (Yulianto dkk., 2018). Sesuai yang dijelaskan pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas mengenai tingkat pelayanan adalah ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas. Tingkat pelayanan ditetapkan berdasarkan beberapa indikator, yaitu rasio antara volume dan kapasitas jalan, kecepatan, waktu perjalanan, kebebasan bergerak, keamanan, keselamatan, ketertiban, kelancaran, dan penilaian pengemudi terhadap kondisi arus lalu lintas.

Nilai tingkat pelayanan pada persimpangan biasanya diklasifikasikan menjadi beberapa tingkat, yaitu tingkat pelayanan A, B, C, D, E, dan F. Pada Peraturan Menteri Nomor 96 Tahun 2015 dan *Transportation Research Board* (2010) terdapat hubungan pada nilai tingkat pelayanan yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Nilai Tingkat Pelayanan Simpang (*Level of Service*) berdasarkan Peraturan Menteri No. 96 Tahun 2015 dan AHCM Tahun 2010 (Kementerian Perhubungan No. 96 Tahun 2015; *Transportation Research Board* 2010)

Tingkat Pelayanan (<i>Level of Service</i>)	Peraturan Menteri No. 96 Tahun 2015 (detik/kend)	<i>American Highway Capacity Manual</i> Tahun 2010 (detik/kend)
A	≤ 5	≤ 10
B	5,1 – 15	10 – 20
C	15,1 – 25	20 – 35
D	25,1 – 40	35 – 55
E	40,1 – 60	55 – 80
F	≥ 60	≥ 80

Mulyodiputro dan Subanar (2015) menjelaskan bahwa dalam mengevaluasi kinerja simpang terdapat model antrian siklik yaitu kendaraan mewakili pelanggan dan lampu lalu lintas merupakan server. Menurut Cahyaningrum dan Munawar (2014) penentuan kinerja terbaik pada simpang dapat dilakukan dengan 3 (tiga) cara yaitu :

1. Berdasarkan kinerja derajat jenuh, panjang antrian, dan tundaan.
2. Efisiensi *bandwidth* dan *nonstop volume*.
3. Kemampuan sinyal dalam meloloskan kendaraan.

Kapasitas jalan dan volume lalu lintas yang tidak seimbang menimbulkan kemacetan lalu lintas dan kerugian biaya dalam suatu perjalanan (Muchlisin dkk., 2018; Mahmudah dkk., 2018; Sitanggang, 2014). Salah satu upaya untuk mengoptimalkan kapasitas jalan yaitu dengan adanya manajemen sistem transportasi yang baik (Nugroho dan Malkhamah, 2018). Kemacetan adalah suatu masalah dalam bidang transportasi di berbagai kota besar yang memiliki dampak pada biaya sosial, tingginya biaya operasional, terbuangnya waktu yang disebabkan oleh kemacetan, peningkatan angka kecelakaan, polusi udara, masalah kebisingan, dan menurunnya kenyamanan pengguna jalan (pejalan kaki) (Khisty dan Lall, 2005).

Menurut Sugiyanto (2016) biaya kemacetan diperoleh berdasarkan biaya operasi kendaraan (BOK) dan biaya waktu perjalanan. BOK merupakan biaya yang dihitung dari konsumsi bahan bakar, minyak pelumas, ban, perawatan, dan biaya tetap. Sedangkan, biaya waktu perjalanan tergantung pada kecepatan dan lamanya perjalanan kendaraan. Upaya untuk mengatasi kemacetan pada simpang bersinyal di Indonesia yaitu dengan memberlakukan Ruang Henti Khusus (RHK). RHK merupakan pemisah antara sepeda motor dengan kendaraan roda empat pada simpang bersinyal (Putra dan Ahyudanari, 2016). Tetapi, adanya pemisah antara jalur cepat dan lambat menyebabkan sepeda motor yang akan belok kanan kesulitan mencapai antrian terdepan karena kendaraan non sepeda motor sudah memenuhi antrian di jalur cepat saat mencapai ujung pembatas dan menyebabkan terjadinya konflik yang disebabkan adanya kendaraan yang berada di tengah – tengah antrian ketika masuk fase hijau (Malkhamah dkk., 2016).

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas kelancaran lalu lintas merupakan kondisi berlalu lintas dan penggunaan angkutan yang bebas dari hambatan dan kemacetan di jalan. Kemacetan biasanya terjadi karena adanya tundaan (*delay*) dan panjangnya antrian (*queue*) pada persimpangan serta penumpukan kendaraan di ruas jalan. Tundaan yang ada di simpang ber APILL adalah sebagai berikut :

1. Tundaan lalu lintas (*delay traffic*) merupakan waktu tunggu yang berasal dari interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang bertentangan.
2. Tundaan geometrik (*delay geometric*) merupakan waktu tunggu yang berasal dari cepat dan lambatnya kendaraan yang membelok dipersimpangan yang terhenti oleh lampu merah.

2.2.7. Perhitungan berdasarkan MKJI (1997)

- a. Perhitungan penilaian panjang arus jenuh (S)

Arus jenuh (S) didapatkan dari hasil perkalian arus jenuh dasar (S_0) dengan faktor penyesuaian (F). Perhitungan arus jenuh dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \dots \dots \dots (1)$$

Nilai arus jenuh dasar ditentukan sebagai fungsi lebar efektif pendekat (W_e).

$$S_0 = 600 \times W_e \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

S_0 = Arus jenuh dasar

F_{CS} = Faktor koreksi ukuran kota

F_{SF} = Faktor koreksi gangguan samping

F_G = Faktor koreksi kelandaian

F_P = Faktor koreksi parkir

F_{RT} = Faktor koreksi belok kanan

F_{LT} = Faktor koreksi belok kiri

W_e = Lebar efektif pendekat

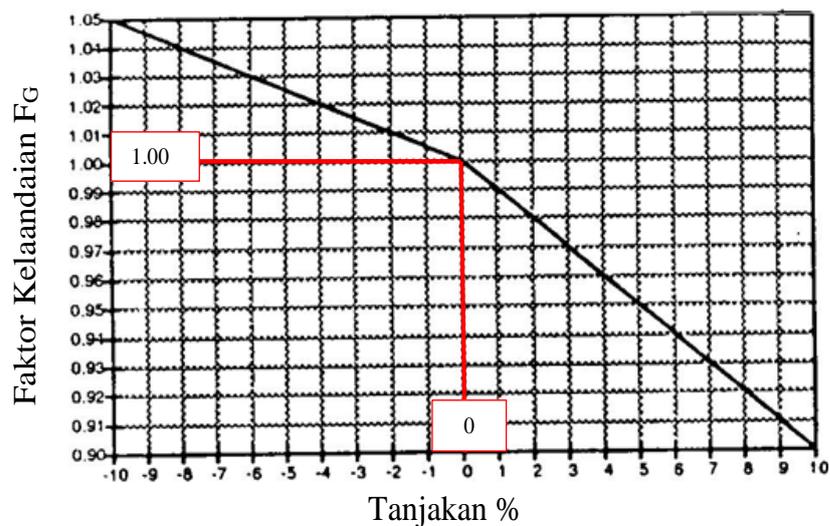
Faktor koreksi ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 2.4, faktor koreksi gangguan samping pada Tabel 2.5 dan faktor koreksi kelandaian dapat diketahui melalui Gambar 2.1 berikut.

Tabel 2.4. Faktor koreksi ukuran kota (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Penduduk kota (Juta jiwa)	Faktor koreksi ukuran kota (F_{cs})
> 3,0	1,05
1,0 – 3,0	1,00
0,5 – 1,0	0,94
0,1 – 0,5	0,83
< 0,1	0,82

Tabel 2.5. Faktor koreksi gangguan samping (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
(COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
(RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
(RA)	Tinggi/Sedang/Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88



Gambar 2.1. Faktor koreksi kelandaian

Faktor koreksi parkir dan lajur belok kiri yang pendek (F_P) dapat dihitung dari persamaan dan Gambar 2.2 berikut, yang mencakup pengaruh panjang waktu hijau.

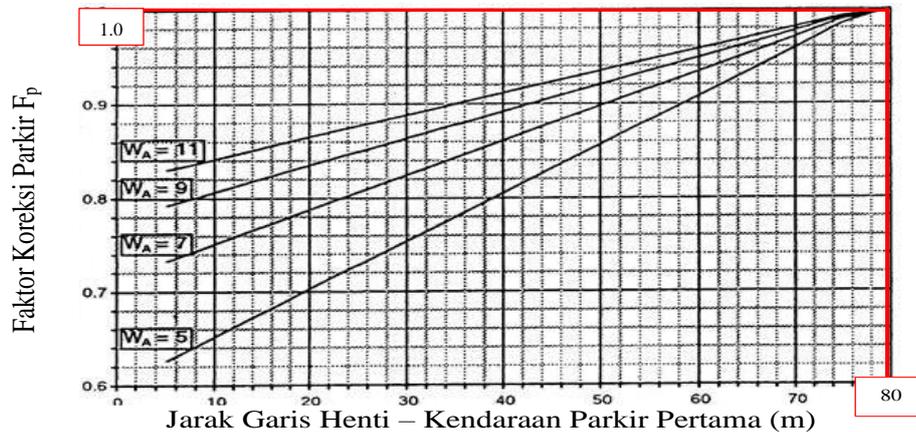
$$F_P = \frac{\left[\frac{LP}{3 - (WA - 2)} \times \frac{LP}{3 - g} \right]}{WA} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

L_P = Jarak antara garis henti dan kendaraan yang parkir pertama (m) (atau panjang dari lajur pendek)

W_A = Lebar pendekat (m)

g = Waktu hijau (detik)



Gambar 2.2. Faktor koreksi pengaruh parkir dan lajur belok kiri yang pendek (F_P)

Faktor koreksi belok kanan (F_{RT}) ditentukan sebagai fungsi dari rasio kendaraan belok kanan (P_{RT}) dan faktor koreksi belok kiri (F_{LT}) ditentukan dari rasio kendaraan belok kiri (P_{LT}) dengan persamaan seperti berikut:

$$F_{RT} = 1,0 + (P_{RT} \times 0,26) \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan,

$$F_{LT} = 1,0 - (P_{LT} \times 0,16) \dots\dots\dots(5)$$

b. Kapasitas

Kapasitas tiap lengan simpang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C = S \times g/c \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

C = Kapasitas (smp/jam)

S = Arus jenuh (smp/jam)

g = Waktu hijau (detik)

c = waktu siklus yang ditentukan (detik)

c. Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan merupakan faktor utama dalam penentuan kinerja simpang.

Nilai derajat jenuh ditentukan dengan persamaan berikut:

$$DS = Q/C \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

DS = Derajat jenuh

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

d. Panjang antrian

Dari nilai derajat jenuh dapat digunakan untuk menghitung jumlah antrian smp yang tertinggal sebelumnya dari fase hijau (NQ_1), diperoleh persamaan:

Jika $DS > 0,5$

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}} \right] \dots\dots\dots(8)$$

Jika $DS \leq 0,5$

$$NQ_1 = 0 \dots\dots\dots(9)$$

dimana:

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

DS = Derajat jenuh

GR = Rasio hijau (detik)

C = Kapasitas (smp/jam) = $S \times GR$

Jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ_2) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \dots\dots\dots(10)$$

dimana:

NQ_2 = Jumlah smp yang datang selama fase merah

Q = Volume lalu lintas yang masuk di luar LTOR (smp/detik)

c = Waktu siklus (detik)

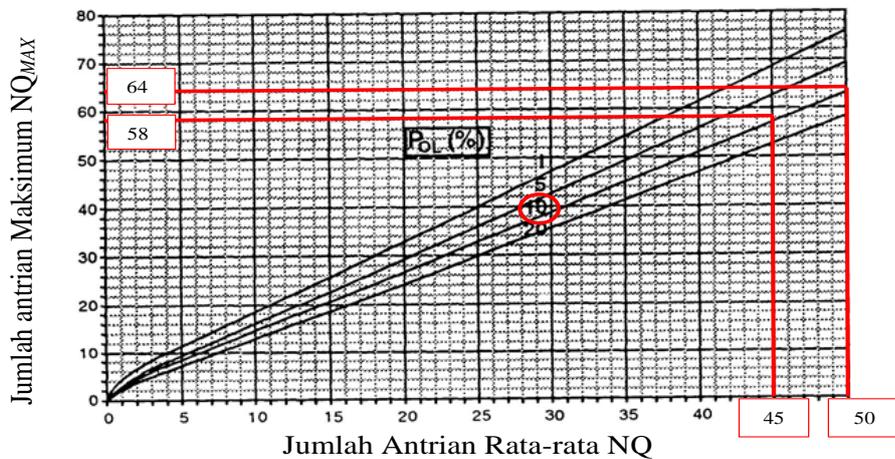
DS = Derajat jenuh

GR = Rasio hijau (detik)

Jumlah antrian total dapat dihitung dengan menjumlahkan hasil dari kedua persamaan diatas.

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots \dots \dots (11)$$

Perhitungan nilai NQ_{maks} dihitung berdasarkan peluang yang diinginkan untuk terjadinya pembebanan lebih P_{OL} (%). Pembebanan untuk perancangan dan perencanaan $P_{OL} \leq 5\%$ sedangkan operasi suatu nilai $P_{OL} = 5 - 10\%$. Perhitungan jumlah antrian (NQ_{MAX}) dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Perhitungan jumlah antrian (NQ_{MAX}) dalam smp

Perhitungan panjang antrian dalam satuan meter dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$NQ_L = \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{ENTRY}} \dots \dots \dots (12)$$

dimana:

NQ_L = Panjang antrian (meter)

NQ_{MAX} = Panjang antrian maskimum (smp/jam)

W_{ENTRY} = Lebar lajur yang ditinjau (meter)

e. Kendaraan terhenti

Angka rasio kendaraan terhenti (NS) tiap smp diperoleh dari persamaan (13) dan jumlah kendaraan terhenti pada persamaan (14).

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{(Q \times c)} \times 3600 \dots \dots \dots (13)$$

Sedangkan,

$$NS_v = Q \times NS \dots\dots\dots(14)$$

dimana:

NS = Rasio kendaraan terhenti (stop/smp)

NS_v = Jumlah kendaraan terhenti (smp/jam)

NQ = Jumlah antrian total

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

c = Waktu siklus (detik)

f. Tundaan lalu lintas

Tundaan lalu lintas (DT) terjadi karena adanya pergerakan lalu lintas pada simpang sedangkan tundaan geometri rata-rata (DG) terjadi akibat perlambatan dan percepatan yang disebabkan oleh lampu merah. Nilai tundaan lalu lintas dapat dihitung dengan persamaan (15) dan tundaan geometri rata-rata dengan persamaan (16) berikut:

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1 - GR)^2}{(1 - GR \times DS)} + \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \dots\dots\dots(15)$$

dimana:

DT = Tundaan lalu lintas rata-rata (det/smp)

c = Waktu siklus (detik)

DS = Derajat jenuh

GR = Rasio hijau (detik)

C = Kapasitas (smp/jam) = S × GR

NQ₁ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

Sedangkan,

$$DG = (1 - P_{sv}) \times (P_T \times 6) + (P_{sv} \times 4) \dots\dots\dots(16)$$

dimana:

DG = Tundaan geometri rata-rata (det/smp)

P_{sv} = Rasio kendaraan terhenti pada pendekat

P_T = Rasio kendaraan berbelok pada pendekat

Tundaan rata-rata (D) diperoleh dengan menjumlahkan tundaan lalu lintas rata-rata dan tundaan geometri rata-rata.

2.2.8. *Software PTV. Vissim 11.00-08 Student Version*

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

Vissim merupakan perangkat lunak yang mensimulasikan keadaan lalu lintas perkotaan dan pedesaan yang mikroskopik, termasuk transportasi umum, dan pejalan kaki atau pedestrian (PTV, 2016). *Vissim* dipilih karena dapat mensimulasikan suatu jaringan jalan dalam kondisi lalu lintas tercampur dengan tipe dan jenis kendaraan secara mikroskopik (Putri dan Irawan, 2015; Irawan dan Putri, 2017).

Menurut Pribadi dkk. (2014) *Vissim* mensimulasikan aliran lalu lintas yang dibebankan pada perilaku pegemudi dan kemampuan teknik kendaraan. Karakteristik tiap unit, kendaraan, dan pengemudi dibedakan menjadi 3 (tiga) kategori seperti berikut :

1. Spesifikasi teknik kendaraan yang meliputi panjang kendaraan, kecepatan maksimum, kekuatan percepatan, posisi aktual kendaraan, percepatan, dan kecepatan aktual.
2. Perilaku unit, kendaraan, perilaku yang meliputi batas persepsi *psycho-physical*, ingatan pengemudi, dan percepatan berdasarkan kecepatan berjalan yang diinginkan pengemudi.
3. Kebebasan antar unit, kendaraan, dan pengemudi seperti pertimbangan kendaraan yang berada pada lajur yang sama atau disampingnya, segmen jaringan jalan dan titik lintasan, serta pertimbangan pada APILL.

Winnetou dan Munawar (2015) menjelaskan bahwa model simulasi *Vissim* dapat digunakan untuk mengetahui atau membandingkan kecepatan kendaraan yang dikalibrasi melalui uji statistik. Salah satu keunggulan dari perangkat lunak *Vissim* dapat memodelkan berbagai jenis moda transportasi tidak terkecuali kendaraan bermotor. Beberapa keunggulan *Vissim* lainnya adalah parameter keluaran (*output*) hasil pemodelan program *Vissim* dapat disesuaikan dengan

kebutuhan penggunaannya. Hasil dari pemodelan dengan *Vissim* meliputi panjang antrian, waktu tundaan, tingkat pelayanan, dan besar emisi kendaraan bermotor. Simulasi program *Vissim* pada dasarnya berpedoman pada penelitian-penelitian yang dilakukan oleh University of Karlsruhe di Jerman maka untuk mensimulasikan model yang sesuai dengan kondisi lalu lintas di Indonesia diperlukan kalibrasi dan validasi model.

Kalibrasi model dilakukan dengan menyesuaikan parameter pengemudi (*Driving Behavior*) pada program *Vissim*. Menurut Pribadi (2017) penyesuaian parameter *Following* dan *Lateral* dapat dilakukan pada menu *Driving Behavior*. Parameter *Following* ditunjukkan pada Tabel 2.6 dan parameter *Lateral* ditunjukkan pada Tabel 2.7 seperti berikut.

Tabel 2.6. Hasil Kalibrasi Parameter *Following* (Pribadi, 2017)

Parameter	Default	Heavy Vehicle (HV)	Light Vehicle (LV)	Motor Cycle (MC)
<i>Following</i>				
<i>Look ahead distance</i>				
<i>Minimum</i>	0 m	50 m	40 m	40 m
<i>Maximum</i>	250 m	250 m	250 m	250 m
<i>Observed Vehicles</i>	4	4	4	4
<i>Look back distance</i>				
<i>Minimum</i>	0 m	20 m	15 m	0 m
<i>Maximum</i>	150 m	150 m	150 m	150 m
<i>Temporary Lack of attention</i>				
<i>Duration</i>	0 s	0 s	0 s	0 s
<i>Probability</i>	0 s	0 s	0 s	0 s
<i>Smooth clooseup behaviour</i>	x	x	x	x
<i>Standstill dist. For static obst</i>	x	0.5 m	x	x
<i>Car following model</i>				
Model Parameter	Wiedemann	Wiedemann	Wiedemann	Wiedemann
	74	74	74	74
<i>Average standstill distance</i>	2 m	2 m	1,9 m	0,5
<i>Additive part of safety distance</i>	2	2	1,9	0,5
<i>Multiplicative part for safety distance</i>	3	3	2,9	1

Tabel 2.7. Lanjutan

Parameter	Default	Heavy Vehicle (HV)	Light Vehicle (LV)	Motor Cycle (MC)
Lateral				
<i>Desired position at free flow</i>	<i>Middle of lane</i>	<i>Middle of lane</i>	<i>Any</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>	2 s	2 s	2 s	2 s
<i>Min. longitudinal speed</i>	3,60 km/h	1 km/h	1 km/h	1 km/h
<i>Time between direction changes</i>	0 s	0 s	0 s	0 s
Overtake on same lane				
<i>Overtake left</i>	x	x	√	√
<i>Overtake right</i>	x	√	√	√
Minimum lateral distance				
<i>Distance standing</i>	0,2 m at 0 km/h	0,1 m at 0 km/h	0,1 m at 0 km/h	0,1 m at 0 km/h
<i>Distance driving</i>	1,00 m at 50 km/h	0,1 m at 50 km/h	0,1 m at 50 km/h	0,1 m at 50 km/h
<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>

2.2.9. Pencemaran udara

Pencemaran udara menurut Peraturan Daerah Provinsi DIY Nomor 5 Tahun 2007 tentang Pengendalian Pencemaran Udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain oleh kegiatan manusia yang mempengaruhi mutu udara ambien sehingga tidak dapat digunakan sesuai dengan fungsinya. Udara ambien merupakan udara bebas yang berada di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang dibutuhkan dan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup yang lain. Gas buang terdiri dari gas tidak beracun nitrogen (N_2), karbon dioksida (CO_2), dan uap air (H_2O) serta gas beracun seperti nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), dan karbon monoksida (CO).

Pencemaran udara juga disebabkan oleh polutan belerang oksida (SO_x) yang dapat mengalami oksidasi menjadi SO_2 yang berasal dari lapisan troposfer dimana polutan ini mengakibatkan iritasi pada sistem pernapasan. Sedangkan nitrogen

oksida (NO_x) pada konsentrasi udara ambien normal dapat mengalami oksidasi menjadi NO_2 . Polutan ini dipengaruhi oleh cuaca, kecepatan angin, suhu, dan kelembaban udara pada udara ambien (Hastutiningrum dkk., 2018).

Ofrial dkk. (2015) menjelaskan jika peningkatan emisi gas buang kendaraan sejalan dengan meningkatnya jumlah kendaraan. Semakin rendah kecepatan maka semakin tinggi emisi yang dikeluarkan. Sepeda motor memiliki tingkat emisi gas buang tertinggi saat ini. Standar baku mutu nasional dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Baku Mutu Udara Ambien Nasional (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999)

Parameter	Waktu Pengukuran			
	1 jam	3 jam	24 jam	1 tahun
Sulfur Dioksida (SO_2)	900 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		365 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
Karbon Monoksida (CO)	30.000 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		10.000 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	
Nitrogen Dioksida (NO_2)	400 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		150 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
Oksidan (O_3)	235 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$			50 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
Hidro Karbon (HC)		160 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		
PM_{10} (Partikel < 10 um)			150 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	
$\text{PM}_{2,5}$ (Partikel < 2,5 um)			65 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
TSP (Debu)			230 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	90 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
Pb (Timah Hitam)			2 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	1 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$