

## **BAB II**

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

#### **2.1. Penelitian Terdahulu**

Penelitian mengenai analisis kinerja ruas jalan pada simpang tak bersinyal (*unsignalized intersections*) telah banyak dilakukan baik menggunakan acuan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 maupun Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014. Adapun penelitian terdahulu yang juga membahas mengenai analisis kinerja simpang tak bersinyal melalui pemodelan perangkat lunak *PTV VISSIM 9 Student Version* namun jarang ditemui penelitian mengenai hasil besaran nilai emisi gas buang kendaraan dari proses simulasi lalu lintas *VISSIM*. Berdasarkan literatur yang telah dibaca oleh peneliti, penelitian terdahulu mengenai topik ini lebih banyak menggunakan acuan MKJI 1997 dibandingkan penelitian ini yang menggunakan PKJI 2014 serta menggunakan pemodelan dari hasil analisis perangkat lunak *PTV VISSIM 9 Student Version* sebagai acuannya yang dijelaskan Tabel 2.1 dan Tabel 2.2. Penelitian sebelumnya juga telah dilakukan pada berbagai lokasi simpang tak bersinyal di wilayah Indonesia, seperti persimpangan Jalan Inspeksi Selokan Mataram dengan Jalan Perumnas, Sleman dan persimpangan Jalan W.R. Supratman dengan Jalan B.W. Lapian, Kota Manado.

Ansusanto dkk. (2016) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang tak bersinyal berlokasi antara Jalan Inspeksi Selokan Mataram dengan Jalan Perumnas, Condongcatur, Sleman, DIY. Penelitian ini mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 dengan hasil analisis menunjukkan bahwa arus lalu lintas sebesar 3828,9 skr/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 2804,25 skr/jam, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan ( $D_J$ ) sebesar 1,50. Nilai derajat kejenuhan tersebut melebihi batas yang ditentukan dalam PKJI 2014 ( $D_J \leq 0,85$ ), sehingga belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum suatu simpang serta perlu dilakukan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan lalu lintas yaitu perubahan geometrik jalan, pemasangan APILL, dan skenario berkonsep pada manajemen lalu lintas.

Bawangun dkk. (2015) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang tak bersinyal berlokasi antara Jalan W.R. Supratman dengan Jalan B.W. Lopian, Kota Manado, Sulawesi Utara. Penelitian ini mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dengan hasil analisis menunjukkan bahwa arus lalu lintas sebesar 2812 smp/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 2713,932 smp/jam, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 1,036. Nilai derajat kejenuhan tersebut melebihi batas yang ditentukan dalam MKJI 1997 ( $DS \leq 0,75$ ), sehingga belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum suatu simpang serta perlu dilakukan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan lalu lintas yaitu pelarangan belok kanan untuk jalan minor, kombinasi pelarangan belok kanan untuk jalan minor dan pelebaran jalan utama, dan kombinasi antara pelarangan belok kanan untuk jalan minor dan pelebaran jalan utama serta jalan minor.

Bimaputra dkk. (2017) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang Pahlawan, simpang Brig J. Katamso, simpang Cisokan dan ruas jalan pada Jalan Pahlawan, Jalan Surapati, Jalan PH. H. Mustofa, Jalan Brig J. Katamso, Jalan Cisokan, Jalan Terusan Cisokan. Penelitian ini mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 yang hanya difokuskan pada hasil perhitungan kinerja simpang saja. Untuk simpang Pahlawan memiliki arus lalu lintas sebesar 2903 skr/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 2031 skr/jam, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan ( $D_j$ ) terburuk 1,429. Untuk simpang Brig J. Katamso memiliki arus lalu lintas sebesar 4123 skr/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 3006 skr/jam, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan ( $D_j$ ) terburuk 1,372. Untuk simpang Cisokan memiliki arus lalu lintas sebesar 4476 skr/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 3240 skr/jam, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan ( $D_j$ ) terburuk 1,381. Nilai derajat kejenuhan tersebut melebihi batas yang ditentukan dalam PKJI 2014 ( $D_j \leq 0,85$ ), sehingga belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum suatu simpang serta perlu dilakukan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan lalu lintas yaitu menerapkan sistem *one way* pada ruas Jalan Brig J. Katamso, perbaikan geometrik Jalan Brig J. Katamso, pemasangan APILL pada simpang Cisokan, dan pengadaan *overpass* melintang antara Jalan Surapati dan Jalan PH. H. Mustofa.

Budi dkk. (2014) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang tak bersinyal berlokasi di simpang Mengkreng, Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Penelitian ini mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dengan hasil analisis menunjukkan bahwa arus lalu lintas sebesar 3644 smp/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 3621,77 smp/jam, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 1,01. Nilai derajat kejenuhan tersebut melebihi batas yang ditentukan dalam MKJI 1997 ( $DS \leq 0,75$ ), sehingga belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum suatu simpang serta perlu dilakukan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan lalu lintas yaitu menggunakan metode SWOT yang dijelaskan beberapa alternatif, antara lain: memanfaatkan kekuatan (S) untuk meraih peluang (O) dengan pembangunan simpang bersinyal, meminimalkan kelemahan (W) untuk meraih peluang (O) dengan menerapkan sistem satu arah, memanfaatkan kekuatan (S) untuk mengantisipasi ancaman (T) dengan mengoptimalkan kinerja *traffic light*, dan meminimalkan kelemahan (W) untuk menghindari ancaman (T) dengan larangan belok kanan serta pembuatan jembatan *laying (flyover)*.

Guler dkk. (2016) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang tak bersinyal di lima persimpangan kota Zurich, Swiss. Penelitian ini mengacu pada metodologi untuk secara sistematis mengevaluasi penundaan rata-rata yang diharapkan di persimpangan multi-modal yang tidak terkontrol. Metodologi ini mempertimbangkan nilai permintaan dari arus lalu lintas yang berbeda, bersama dengan prioritas dan arah setiap aliran untuk menentukan kapasitas yang tersedia. Menggunakan metodologi ini kapasitas dan formula untuk penundaan diadaptasi dari manual kapasitas jalan raya, rata-rata penundaan untuk setiap aliran kendaraan dapat ditentukan. Hasilnya menunjukkan bahwa metodologi dalam penelitian ini dapat memprediksi keterlambatan aliran kendaraan yang berbeda dalam 4 s/kend dan juga dapat mengidentifikasi aliran yang diharapkan akan terjadi penundaan besar.

Listiana dkk. (2017) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang tak bersinyal berlokasi antara Jalan Raya Dramaga dengan Jalan KH Encep Narwan, Bogor, Jawa Barat. Penelitian ini mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dengan hasil analisis menunjukkan bahwa arus lalu lintas

sebesar 3200 smp/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 4472 smp/jam, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,85. Nilai derajat kejenuhan tersebut melebihi batas yang ditentukan dalam MKJI 1997 ( $DS \leq 0,75$ ), sehingga belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum suatu simpang serta perlu dilakukan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan lalu lintas yaitu memberlakukan larangan angkutan kota berhenti di kawasan simpang, perbaikan simpang Laladon diterapkan sehingga pendekat 2 tidak ada kendaraan keluar simpang belok kiri maupun kanan, dan pemaksimalan alternatif kedua dengan melebarkan tiap pendekat dan pengurangan hambatan samping.

Misdalena (2019) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang bersinyal berlokasi di *Flyover* Jakabaring, Palembang. Penelitian ini mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 untuk evaluasi waktu siklus dan *VISSIM 8.0* untuk menganalisis ruas jalan pada pendekat simpang. Hasil analisis ruas jalan berdasarkan *VISSIM 8.0* menunjukkan bahwa kondisi eksisting memiliki tingkat pelayanan yang sangat buruk (F) dengan panjang antrian rata – rata sebesar  $\pm 150$  meter dengan tundaan rata – rata sebesar  $\pm 25$  det/kend. Tingkat pelayanan tersebut dinilai tidak dapat memenuhi syarat berdasarkan HCM 2010 dalam simulasi *VISSIM 8.0* untuk menampung kinerja operasional simpang, sehingga perlu dilakukan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan lalu lintas yaitu dengan evaluasi waktu siklus APILL menggunakan MKJI 1997 menghasilkan peluang antrian dan tundaan pada simpang dapat berkurang.

Sriharyani dkk. (2016) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang tak bersinyal berlokasi di Pasar Punggur, Lampung Tengah. Penelitian ini mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 dengan hasil analisis menunjukkan bahwa arus lalu lintas sebesar 1894 skr/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 2345 skr/jam, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan ( $D_J$ ) sebesar 0,81. Nilai derajat kejenuhan tersebut tidak mencapai batas yang ditentukan dalam PKJI 2014 ( $D_J \leq 0,85$ ), sehingga memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum suatu simpang serta tidak perlu dilakukan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan lalu lintas.

Trissiyana dkk (2016) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang tidak bersinyal berlokasi antara Jalan Pakunegara – Jalan Udan Said – Jalan

Ahmad Yani – Jalan Padat Karya Gaya Baru, Pangkalan Bun. Penelitian ini mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dengan hasil analisis menunjukkan bahwa arus lalu lintas sebesar 1495 smp/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 3269,3 smp/jam, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan ( $D_j$ ) sebesar 0,457. Nilai derajat kejenuhan tersebut tidak mencapai batas yang ditentukan dalam MKJI 1997 ( $DS \leq 0,75$ ), sehingga memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum suatu simpang serta tidak perlu dilakukan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan lalu lintas.

Wardhana dkk (2016) melakukan analisis kinerja lalu lintas pada simpang tidak bersinyal yang berlokasi antara Jalan Veteran dengan Jalan Ki Sarmidi Mangunsarkoro, Lamongan. Penelitian ini mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dengan hasil analisis menampilkan dua data, yaitu arus lalu lintas tertinggi pada hari Senin sebesar 7680,4 smp/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 1848,9 smp/jam, sehingga diperoleh nilai derajat kejenuhan ( $D_j$ ) sebesar 4,154. Arus lalu lintas terendah pada hari Rabu sebesar 6575 smp/jam dan kapasitas (C) simpang sebesar 1848,9 smp/jam, sehingga diperoleh nilai derajat kejenuhan ( $D_j$ ) sebesar 3,809. Nilai derajat kejenuhan kedua data tersebut melebihi batas yang ditentukan dalam MKJI 1997 ( $DS \leq 0,75$ ), sehingga belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum suatu simpang. Namun dalam penelitian ini tidak dijelaskan menerapkan alternatif memecahkan permasalahan lalu lintas.

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Studi Kasus	Acuan	Output
1	Ansusanto dkk	2016	Simpang tak bersinyal, Sleman	PKJI 2014	Arus lalu lintas ( $Q_{TOT}$ ) 3828,9 skr/jam, kapasitas (C) simpang sebesar 2804,25 skr/jam, nilai derajat kejenuhan ( $D_j$ ) 1,50
2	Bawangun dkk	2015	Simpang tak bersinyal, Manado	MKJI 1997	Arus lalu lintas ( $Q_{TOT}$ ) 2812 smp/jam, kapasitas (C) simpang sebesar 2713,932 smp/jam, nilai derajat kejenuhan (DS) 1,036

Tabel 2.2 Lanjutan Ringkasan Penelitian Terdahulu

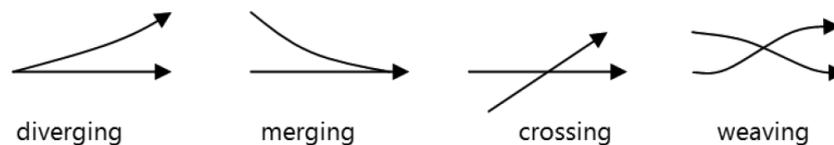
No	Penulis	Tahun	Studi Kasus	Acuan	Output
3	Bimaputra dkk	2017	Simpang tak bersinyal dan bersinyal, Bandung	PKJI 2014	Nilai arus lalu lintas ( $Q_{TOT}$ ), kapasitas (C) simpang sebesar, nilai derajat kejenuhan ( $D_j$ ) untuk analisis beberapa simpang
4	Budi dkk	2014	Simpang tak bersinyal, Jombang	MKJI 1997	Arus lalu lintas ( $Q_{TOT}$ ) 3644 smp/jam, kapasitas (C) simpang sebesar 3621,77 smp/jam, nilai derajat kejenuhan (DS) 1,01
5	Guler dkk	2016	Simpang tak bersinyal, Zurich	-	Keterlambatan aliran kendaraan yang berbeda dalam 4 s/kend
6	Listiana dkk	2017	Simpang tak bersinyal, Bogor	MKJI 1997	Arus lalu lintas ( $Q_{TOT}$ ) 3200 smp/jam, kapasitas (C) simpang sebesar 4472 smp/jam, nilai derajat kejenuhan (DS) 0,85
7	Misdalena	2019	Simpang bersinyal, Palembang	MKJI 1997 dan VISSIM 8.0	Tingkat pelayanan ( $LOS$ ) F atau sangat buruk, panjang antrian ( $Q_{LEN}$ ) $\pm$ 150 meter, dan tundaan ( $VEHDELAY$ ) $\pm$ 25 det/kend
8	Sriharyani dkk	2016	Simpang tak bersinyal, Lampung Tengah	PKJI 2014	Arus lalu lintas ( $Q_{TOT}$ ) 1894 skr/jam, kapasitas (C) simpang sebesar 2345 skr/jam, nilai derajat kejenuhan ( $D_j$ ) 0,81
9	Trissiyana dkk	2016	Simpang tak bersinyal, Pangkalan Bun	MKJI 1997	Arus lalu lintas ( $Q_{TOT}$ ) 1495 smp/jam, kapasitas (C) simpang sebesar 3269,3 smp/jam, nilai derajat kejenuhan (DS) 0,457
10	Wardhana dkk	2016	Simpang tak bersinyal, Lamongan	MKJI 1997	Nilai arus lalu lintas ( $Q_{TOT}$ ), kapasitas (C) simpang sebesar, nilai derajat kejenuhan (DS) untuk analisis dua hari penelitian

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Persimpangan

Persimpangan adalah pertemuan dua atau lebih ruas jalan, dapat berupa simpang atau simpang dengan APILL atau bundaran atau simpang tak sebidang (Kementerian PU, 2014). Khisty dkk (2005) menyebutkan bahwa simpang adalah daerah di mana dua jalan atau lebih bergabung atau bersimpangan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu lintas di dalamnya. Pengertian lain persimpangan jalan merupakan simpul transportasi yang terbentuk dari beberapa pendekat di mana arus kendaraan dari beberapa pendekat tersebut bertemu dan memencar meninggalkan persimpangan. Hal yang sama ditunjukkan pula oleh Hobbs (dalam Anusanto dkk., 2016).

Risdiyanto (2014) menyebutkan bahwa pada persimpangan terdapat empat jenis dasar dari gerakan kendaraan seperti pada Gambar 2.1, yaitu berpencar (*diverging*) atau berpisahny arus lalu lintas dari beberapa ruas jalan, bergabung (*merging*) atau berkumpulnya arus lalu lintas beberapa ruas jalan, bersilangan (*crossing*) atau perpotongan arus kendaraan, dan menjalin (*weaving*) atau gerakan berpindah – pindah jalur. Dijelaskan juga bahwa simpang dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain:



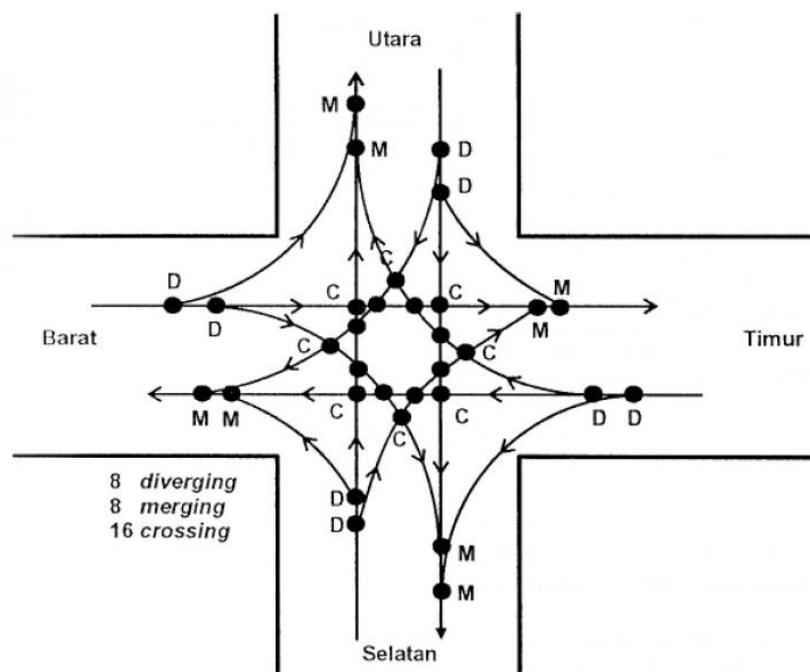
Gambar 2.1 Jenis dasar gerakan kendaraan

#### a. Simpang tak bersinyal (*unsignalized intersection*)

Simpang tak bersinyal adalah pertemuan dua atau lebih ruas jalan sebidang yang tidak diatur oleh Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) (Bina Marga, 1997). Istilah simpang tak bersinyal pada MKJI 1997 diganti menjadi istilah simpang menurut PKJI 2014 sebagai pembaharuan pedoman lalu lintas. Simpang jenis ini banyak terdapat di wilayah perkotaan terutama pada jalan minor dan pergerakan membelok relatif kecil. Simpang tak bersinyal banyak dipakai pada volume lalu lintas yang rendah, dengan pergerakan kendaraan pada simpang tak

bersinyal cukup rumit seperti pada Gambar 2.2. Pada simpang jenis ini hak utama simpang diperoleh berdasarkan aturan *General Priority Rule*, dimana kendaraan yang lebih dulu berada pada simpang mempunyai hak jalan lebih dahulu daripada kendaraan yang akan memasuki simpang tersebut.

Simpang tak bersinyal secara formal dikendalikan oleh aturan dasar lalu lintas Indonesia yaitu memberikan jalan kepada kendaraan dari kiri, namun aturan ini tidak berjalan dengan baik karena karakter berlalu lintas masyarakat Indonesia masih kurang. Kondisi pertemuan jalan mayor dan jalan minor, prioritas memberi hak yang lebih kepada suatu jalan utama atau volume lalu lintas lebih banyak. Bentuk operasi ini dilakukan pada simpang yang mempunyai volume/ arus lalu lintas yang lebih rendah, yaitu pada pendekatan dipasang tanda *stop* atau *yield*.



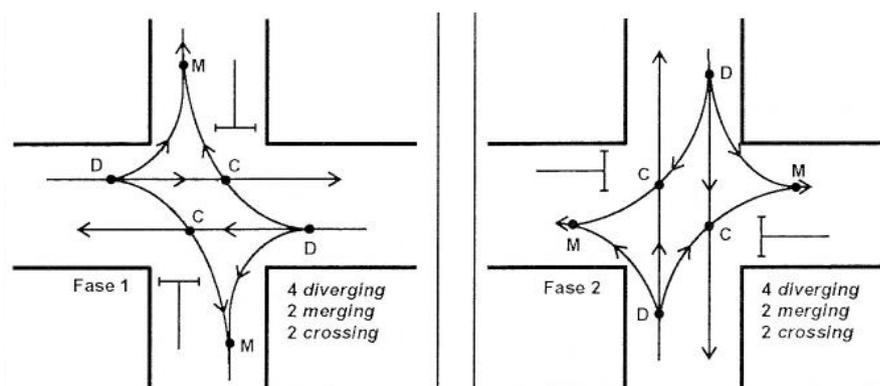
Gambar 2.2 Pergerakan kendaraan simpang tak bersinyal

Munawar (2004) menyebutkan terdapat beberapa penanganan umum simpang tak bersinyal yang dapat dilakukan antara lain perbaikan secara geometrik ruas jalan bertujuan mengurangi tundaan dan meningkatkan kapasitas jalan, pemberlakuan manajemen lalu lintas

sebagai contoh memberikan rambu *stop* atau *yield*, pembuatan pulau lalu lintas serta median di jalan utama dengan lebar 3 – 4 meter dengan tujuan meningkatkan kapasitas dan faktor keselamatan. Penanganan lainnya dengan pengaturan area PKL agar tidak menempati trotoar melalui larangan ataupun penataan secara khusus atau peningkatan fisik ruas jalan dengan beban lalu lintas dengan kemungkinan perubahan tata guna lahan.

b. Simpang bersinyal (*signalized intersection*)

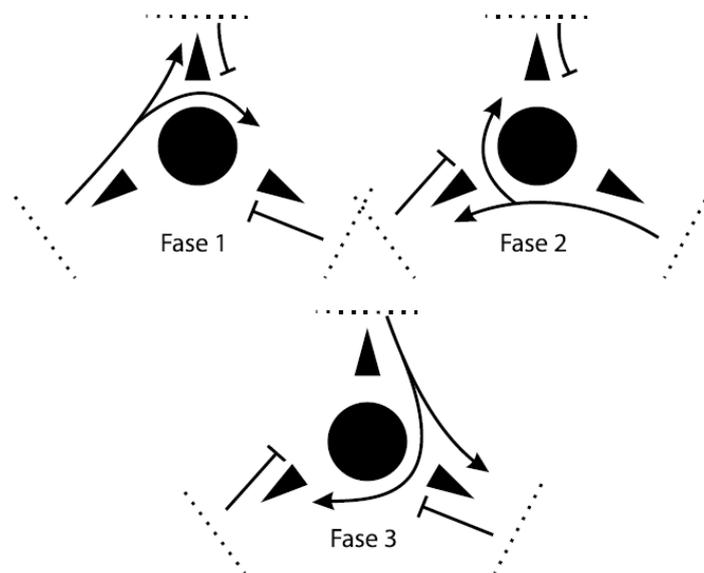
Simpang bersinyal adalah simpang sebidang yang dilengkapi Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) untuk pengaturan lalu lintasnya (Bina Marga, 1997). Penamaan simpang bersinyal pada PKJI 2014 menjadi simpang APILL dengan alasan yang sama untuk simpang tak bersinyal. Pengertian lainnya adalah simpang dengan menggunakan sinyal, arus kendaraan memasuki simpang secara bergantian yang diatur dengan lampu lalu lintas (Risdiyanto, 2014). Diberlakukannya simpang bersinyal ini dikarenakan arus lalu lintas yang tinggi dan penggunaan simpang tak bersinyal sudah tidak memadai lagi dengan APILL sebagai fungsi utama dalam pengatur hak jalan bagi pergerakan lalu lintas termasuk pejalan kaki yang terlihat pada Gambar 2.3. Ukuran meningginya arus lalu lintas, yaitu dari waktu tunggu rata – rata kendaraan pada saat melintasi simpang. Jika waktu tunggu rata – rata tanpa lampu lalu lintas sudah lebih besar dari waktu tunggu rata – rata dengan lampu lalu lintas, maka perlu dipasang lampu lalu lintas (Munawar, 2004).



Gambar 2.3 Pergerakan kendaraan simpang bersinyal

c. Bundaran (*roundabout*)

Risdiyanto (2014) menyebutkan bundaran adalah alternatif lain pengganti lampu lalu lintas. Bundaran lebih digunakan pada keadaan arus lalu lintas tertentu, apabila arus pada tiap lengan relatif seimbang, terdapat volume yang tinggi untuk lalu lintas membelok ke kanan, dan jika persimpangan mempunyai lebih dari empat lengan. Bundaran dapat meningkatkan pemilihan kontrol dan menghasilkan antrian yang lebih kecil pada periode jam tidak sibuk dibandingkan dengan lampu lalu lintas. Adapun bundaran yang dipadukan dengan sinyal atau bisa disebut bundaran bersinyal dengan pengaturan fase sinyal dengan arah yang berlawanan dengan jarum jam dengan contoh pengaturan fase pada Gambar 2.4.

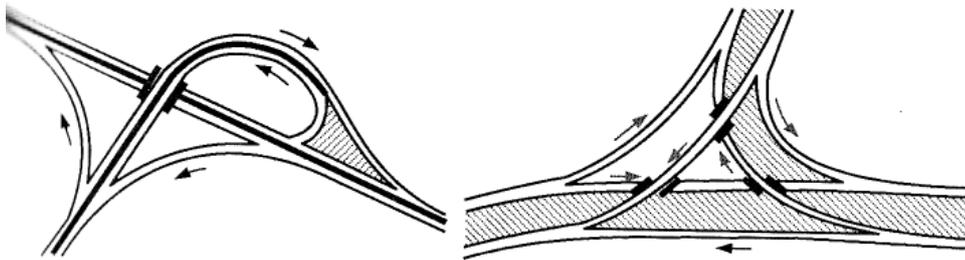


Gambar 2.4 Pengaturan fase bundaran bersinyal (Munawar, 2004)

d. Simpang susun (*interchange*)

Risdiyanto (2014) menyebutkan persilangan seringkali merupakan *bottle neck* (bagian yang mempunyai kapasitas terkecil) sehingga kapasitas suatu jaringan jalan sering ditentukan oleh kapasitas persilangannya. Oleh karena itu, pada arus lalu lintas yang sangat tinggi, persilangan dibuat tidak sebidang (simpang susun) guna meningkatkan

kapasitasnya. Ada beberapa bentuk simpang susun antara lain bentuk T dan Y, bentuk semanggi, dan bentuk *diamond* terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Simpang susun bentuk T

### 2.2.2. Analisis Simpang dengan Metode PKJI 2014

#### a. Data masukan

Data masukan yang diperlukan untuk dua hal, yaitu data arus lalu lintas eksisting dan data arus lalu lintas rencana dengan fungsi yang berbeda. Data lalu lintas eksisting digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja lalu lintas berupa arus lalu lintas per jam eksisting pada jam tertentu yang dievaluasi seperti pada jam sibuk pagi atau jam sibuk sore. Data lalu lintas rencana digunakan untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas. Kementerian PU (2014) menjelaskan bahwa ada tiga data yang perlu ditetapkan untuk melakukan analisis perhitungan kinerja simpang, yaitu data geometrik simpang, data lalu lintas, dan data lingkungan simpang.

#### 1) Data geometrik simpang

Data geometrik simpang didapatkan dari pengukuran dan pengamatan langsung geometrik simpang di lapangan berupa panjang jalan (m), lebar jalan (m), lebar bahu jalan (m), lebar trotoar (m), lebar kerb jalan (m), tipe jalan, jumlah lajur dan arah. Tandai kode pada tiap pendekatan dengan A dan C sebagai jalan minor sedangkan B dan D sebagai jalan mayor. Jalan minor merupakan jalan dengan tingkat kepentingan rendah dibandingkan dengan jalan mayor merupakan jalan dengan tingkat kepentingan tinggi pada suatu simpang dari segi kepadatan lalu lintas maupun lebar geometrik tiap pendekatan (Kementerian PU, 2014).

## 2) Data lalu lintas

Data lalu lintas berupa data arus lalu lintas dari kendaraan yang melewati persimpangan pada waktu yang telah ditentukan. Pengertian arus lalu lintas itu sendiri adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pada jalan tertentu dan pada periode waktu tertentu yang diukur dalam satuan kendaraan per satuan waktu tertentu (Anusanto dkk., 2016). Data arus lalu lintas didapatkan dari hasil survei perhitungan jumlah kendaraan dengan klasifikasi tiap kendaraan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Tabel Klasifikasi Kendaraan (Kementerian PU, 2014)

<b>Kode</b>	<b>Jenis Kendaraan</b>	<b>Tipikal Kendaraan</b>
SM	Kendaraan bermotor roda 2 dengan panjang tidak lebih dari 2,5 m	Sepeda motor, <i>Scooter</i> , Motor gede (moge)
KR	Mobil penumpang termasuk kendaraan roda 3 dengan panjang tidak lebih atau sama dengan 5,5 m	Sedan, Jeep, <i>Station Wagon</i> , Opelet, Minibus, Mikrobus, <i>Pickup</i> , Truk kecil
KS	Bus dan truk 2 sumbu dengan panjang tidak lebih dari atau sama dengan 12,0 m	Bus kota, Truk sedang
KB	Truk dengan jumlah sumbu sama dengan atau lebih dari 3 dengan panjang lebih dari 12,0 m	Truk Tronton dan Truk kombinasi (Truk gandengan dan Truk tempelan)
KTB	Kendaraan tak bermotor	Sepeda, Becak, Dokar, Andong

Data arus lalu lintas yang digunakan adalah data pada jam puncak (*peak hours*) karena diasumsikan waktu tersebut memiliki volume lalu lintas tertinggi. Perkiraan dalam jam puncak terjadi akibat aktivitas pengguna jalan seperti berangkat dan pulang kerja, makan siang, aktivitas para pelajar, serta aktivitas wisatawan untuk berlibur. Diketahui melalui rekapitulasi dan dikonversikan dalam satuan skr/jam menggunakan nilai ekuivalen kendaraan ringan (ekr) untuk kendaraan sedang dan sepeda motor yang dapat dilihat pada Tabel 2.4. Hasil konversi tersebut ditotal untuk tiap jenis kendaraan dari masing – masing pendekatan yang dibedakan menjadi jalan mayor dan jalan minor serta dari tiap pergerakan yang berbeda.

Tabel 2.4 Nilai ekr Tiap Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Nilai ekr
Kendaraan ringan (KR)	1,0
Kendaraan sedang (KS)	1,3
Sepeda Motor (SM)	0,5

Kemudian hitung arus jalan minor total ( $q_{mi}$ ), yaitu jumlah seluruh arus dari pendekat A ( $q_A$ ) dan C ( $q_C$ ) pada persamaan 2.1 dan hitung arus jalan mayor total ( $q_{ma}$ ), yaitu jumlah seluruh arus dari pendekat B ( $q_B$ ) dan D ( $q_D$ ) pada persamaan 2.2. Kedua nilai tersebut dalam satuan skr/jam dan variabel arus lalu lintasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6.

$$q_{mi} = q_A + q_C \quad (2.1)$$

$$q_{ma} = q_B + q_D \quad (2.2)$$

Selanjutnya menghitung arus pada jalan minor ditambah arus pada jalan mayor untuk mendapatkan arus total tiap pergerakan belok kiri, lurus, dan belok kanan secara berurutan pada persamaan 2.3 sampai 2.5. Dan jumlahkan seluruh arus total tiap pergerakan yang telah ditentukan menjadi arus total simpang seperti persamaan 2.6.

$$q_{T,BKi} = q_{A,BKi} + q_{B,BKi} + q_{C,BKi} + q_{D,BKi} \quad (2.3)$$

$$q_{T,LRS} = q_{A,LRS} + q_{B,LRS} + q_{C,LRS} + q_{D,LRS} \quad (2.4)$$

$$q_{T,BKa} = q_{A,BKa} + q_{B,BKa} + q_{C,BKa} + q_{D,BKa} \quad (2.5)$$

$$q_{TOT} = q_{T,BKi} + q_{T,LRS} + q_{T,BKa} \quad (2.6)$$

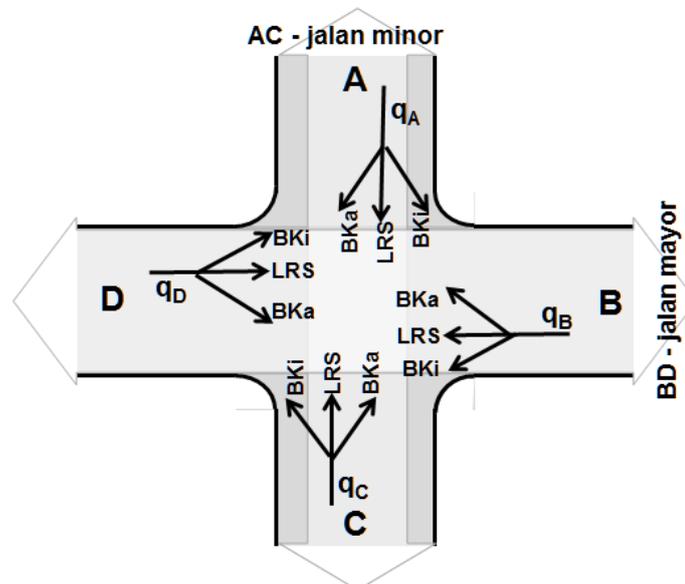
Dan hitung rasio atau perbandingan antara arus lalu lintas total pada jalan dan pergerakan tertentu dengan arus total simpang diantaranya rasio arus jalan minor ( $R_{mi}$ ) pada persamaan 2.7 rasio arus belok kiri total ( $R_{BKi}$ ) pada persamaan 2.8 dan rasio arus belok kanan total ( $R_{BKa}$ ) pada persamaan 2.9. Selain itu, menghitung rasio kendaraan tak bermotor ( $R_{KTB}$ ), yaitu perbandingan antara arus kendaraan tak bermotor terhadap jumlah arus kendaraan bermotor dan kendaraan tidak bermotor (Kementerian PU, 2014) yang dapat dilihat pada persamaan 2.10.

$$R_{mi} = \frac{q_{mi}}{q_{TOT}} \quad (2.7)$$

$$R_{BK_i} = \frac{q_{T,BK_i}}{q_{TOT}} \quad (2.8)$$

$$R_{BK_a} = \frac{q_{T,BK_a}}{q_{TOT}} \quad (2.9)$$

$$R_{KT_B} = \frac{q_{KT_B}}{q_{TOT}} \quad (2.10)$$



Gambar 2.6 Variabel arus lalu lintas

### 3) Data lingkungan simpang

Data lingkungan simpang dapat diketahui melalui dua parameter yaitu ukuran kota dan gabungan antara tipe lingkungan, hambatan samping, dan kendaraan tak bermotor. Pengkategorian ukuran kota dibedakan menjadi lima berdasarkan kriteria populasi penduduk yang dapat dilihat pada Tabel 2.11. Untuk pengkategorian tipe lingkungan dan hambatan samping dibedakan berdasarkan kriteria yang ada pada Tabel 2.12 dan Tabel 2.13, yang selanjutnya digabungkan dengan nilai rasio kendaraan tak bermotor ( $R_{KT_B}$ ) untuk menentukan faktor koreksi hambatan samping ( $F_{HS}$ ) pada Tabel 2.14.

#### b. Kapasitas simpang

Kapasitas ( $C$ ) merupakan arus lalu lintas total maksimum yang masuk ke simpang yang dapat dipertahakan selama waktu paling sedikit satu jam dalam kondisi cuaca dan geometrik yang ada pada saat itu (eksisting), dalam satuan kend/jam atau skr/jam (Kementerian PU, 2014). Perhitungan kapasitas simpang berguna untuk mengetahui total

arus yang masuk dari seluruh lengan simpang dengan cara perkalian antara kapasitas dasar ( $C_0$ ) sebagai kapasitas pada kondisi ideal dengan faktor koreksi yang memperhitungkan perbedaan kondisi lingkungan terhadap kondisi idealnya yang dapat dilihat pada persamaan 2.11.

$$C = C_0 \times F_{LP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{BKl} \times F_{BKk} \times F_{Rmi} \quad (2.11)$$

dengan :

$C$  = Kapasitas Simpang (skr/jam)

$C_0$  = Kapasitas dasar simpang (skr/jam)

$F_{LP}$  = Faktor koreksi lebar rata-rata pendekat

$F_M$  = Faktor koreksi tipe median

$F_{UK}$  = Faktor koreksi ukuran kota

$F_{HS}$  = Faktor koreksi hambatan samping

$F_{BKl}$  = Faktor koreksi rasio arus belok kiri

$F_{BKk}$  = Faktor koreksi rasio arus belok kanan

$F_{Rmi}$  = Faktor koreksi rasio arus dari jalan minor

#### 1) Kapasitas dasar ( $C_0$ )

Merupakan arus lalu lintas total yang masuk ke simpang selama waktu paling sedikit satu jam dengan kondisi cuaca dan geometrik yang baku, yang ditentukan berdasarkan tipe persimpangan pada Tabel 2.5 serta gambar tiap tipe simpang pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7. Kapasitas dasar sebagai nilai pokok yang digunakan dalam perhitungan kapasitas yang ada dalam simpang yang dikalikan dengan faktor – faktor penyesuaian berdasarkan perilaku yang ada dalam kegiatan di simpang.

Tabel 2.5 Nilai Kapasitas Dasar

<b>Tipe Simpang</b>	<b><math>C_0</math>, skr/jam</b>
322	2700
324 atau 344	3200
422	2900
424 atau 444	3400

Tabel 2.6 Gambar Tipe Simbang

Tipe Simbang	Gambar Simbang
322 (3 lengan, 2 lajur jalan minor, 2 lajur jalan mayor)	
324 (3 lengan, 2 lajur jalan minor, 4 lajur jalan mayor)	
344 (3 lengan, 4 lajur jalan minor, 4 lajur jalan mayor)	

Tabel 2.7 Lanjutan Gambar Tipe Simpang

Tipe Simpang	Gambar Simpang
422 (4 lengan, 2 lajur jalan minor, 2 lajur jalan mayor)	
424 (4 lengan, 2 lajur jalan minor, 4 lajur jalan mayor)	
444 (4 lengan, 4 lajur jalan minor, 4 lajur jalan mayor)	

## 2) Penentuan tipe simpang

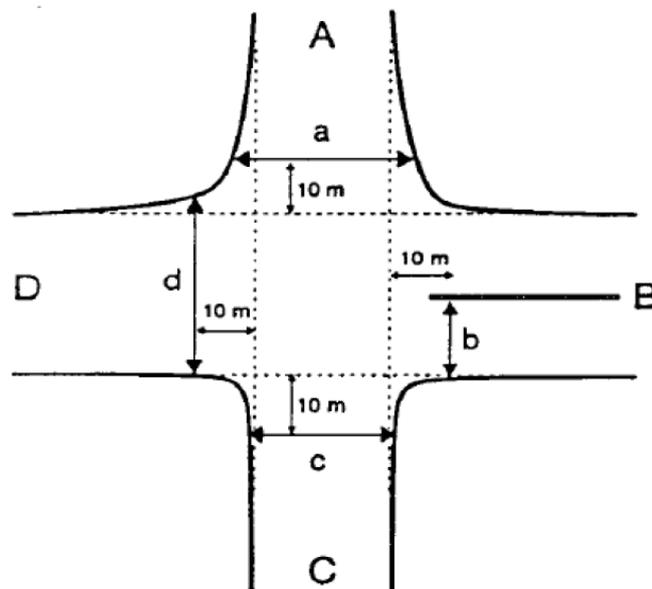
Tipe simpang berdasarkan acuan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 ditentukan dari jumlah lengan simpang, jumlah lajur pada jalan mayor, serta jumlah lajur pada jalan minor yang dapat dilihat pada Tabel 2.8 yang disatukan menjadi kode tipe simpang.

Tabel 2.8 Tipe Simpang

Kode Tipe Simpang	Jumlah Lengan Simpang	Jumlah Lajur Jalan Minor	Jumlah Lajur Jalan Mayor
322	3	2	2
324	3	2	4
422	4	2	2
424	4	2	4

## 3) Penetapan lebar rata – rata pendekat

Lebar rata – rata pendekat digunakan untuk mengetahui jumlah lajur pada jalan minor dan mayor yang akan berguna untuk menentukan tipe simpang yang ada. Cara menetapkan lebar rata – rata pendekat dengan pengukuran geometrik badan jalan yang diambil 10 meter dari tepi simpang untuk tiap pendekatnya dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Tabel 2.9.



Gambar 2.7 Penetapan jumlah lajur

Tabel 2.9 Perhitungan Lebar Rata – rata Pendekat

Lebar Rata – rata Pendekat Mayor (B-D) dan Minor (A-C)	Jumlah Lajur (untuk kedua arah)
$L_{RP\ BD} = \frac{(b+d)}{2} < 5,5\text{ m}$	2
$L_{RP\ BD} \geq 5,5\text{ m}$ (median pada lengan B)	4
$L_{RP\ AC} = \frac{(a+c)}{2} < 5,5\text{ m}$	2
$L_{RP\ AC} \geq 5,5\text{ m}$	4

4) Faktor koreksi lebar pendekat rata – rata, ( $F_{LP}$ )

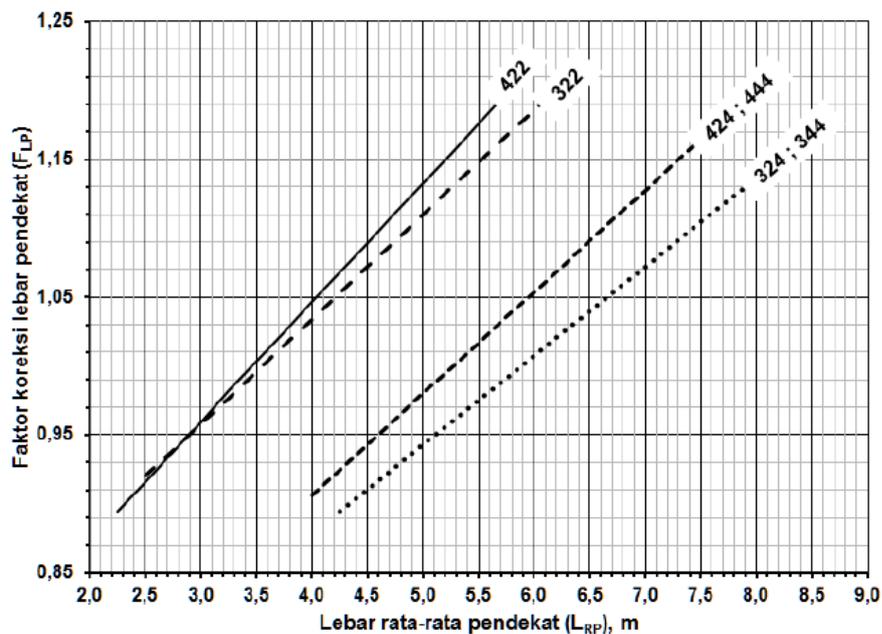
Faktor koreksi lebar pendekat diperoleh dari persamaan 2.12 sampai 2.15 atau diagram pada Gambar 2.8 didasarkan dari nilai lebar rata – rata pendekat simpang ( $L_{RP}$ ) berdasarkan pengukuran dimensi geometrik simpang untuk masing – masing tipe simpang yang telah ditentukan.

$$\text{Untuk Tipe Simpang 422 : } F_{LP} = 0,70 + 0,0866L_{RP} \quad (2.12)$$

$$\text{Untuk Tipe Simpang 424 atau 444 : } F_{LP} = 0,62 + 0,0740L_{RP} \quad (2.13)$$

$$\text{Untuk Tipe Simpang 322 : } F_{LP} = 0,73 + 0,0760L_{RP} \quad (2.14)$$

$$\text{Untuk Tipe Simpang 324 atau 344 : } F_{LP} = 0,62 + 0,0646L_{RP} \quad (2.15)$$

Gambar 2.8 Diagram faktor koreksi lebar pendekat ( $F_{LP}$ )

5) Faktor koreksi tipe median, ( $F_M$ )

Faktor koreksi tipe median diamati pada jalan mayor berupa ada atau tidaknya median dengan ukuran yang telah ditentukan. Maka klasifikasi median dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Klasifikasi Median

<b>Kondisi Simpang</b>	<b>Tipe Median</b>	<b>Faktor Koreksi, <math>F_M</math></b>
Tidak ada median di jalan mayor	Tidak ada	1,00
Ada median di jalan mayor dengan lebar $<3m$	Median sempit	1,05
Ada median di jalan mayor dengan lebar $\geq 3m$	Median lebar	1,20

6) Faktor koreksi ukuran kota ( $F_{UK}$ )

Faktor koreksi ukuran kota didapatkan dari pertumbuhan populasi penduduk pada wilayah dan tahun tertentu yang dapat dilihat klasifikasinya pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Klasifikasi Faktor Koreksi Ukuran Kota

<b>Ukuran Kota</b>	<b>Populasi Penduduk, juta jiwa</b>	<b><math>F_{UK}</math></b>
Sangat kecil	$< 0,1$	0,82
Kecil	$0,1 - 0,5$	0,88
Sedang	$0,5 - 0,1$	0,94
Besar	$1,0 - 3,0$	1
Sangat besar	$> 3,0$	1,05

7) Faktor koreksi hambatan samping ( $F_{HS}$ )

Dalam mendapatkan nilai faktor koreksi hambatan samping ada tiga kriteria yang ditentukan antara lain tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan rasio kendaraan tidak bermotor. Tipe lingkungan jalan dikategorikan berdasarkan fungsi tata guna lahan dan aksesibilitas yang berada pada simpang sesuai pada Tabel 2.12. Kriteria hambatan samping dikategorikan berdasarkan pengaruh aktivitas samping jalan terhadap lalu lintas di sekitar persimpangan yang dapat dilihat pada Tabel 2.13. Penilaian nilai  $F_{HS}$  dari kondisi – kondisi tersebut menurut rentang nilai  $R_{KTB}$  pada Tabel 2.14.

Tabel 2.12 Tipe Lingkungan Jalan

<b>Tipe Lingkungan Jalan</b>	<b>Kriteria</b>
Komersial	Lahan yang digunakan untuk kepentingan komersial, misalnya pertokoan, rumah makan, perkantoran, dengan jalan masuk langsung baik bagi pejalan kaki maupun kendaraan
Permukiman	Lahan digunakan untuk tempat tinggal dengan jalan masuk langsung baik bagi pejalan kaki maupun kendaraan
Akses terbatas	Lahan tanpa jalan masuk langsung atau sangat terbatas, misalnya karena adanya penghalang fisik; akses harus melalui jalan samping

Tabel 2.13 Kriteria Hambatan Samping

<b>Hambatan Samping</b>	<b>Kriteria</b>
Tinggi	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang terganggu dan berkurang akibat aktivitas samping jalan di sepanjang pendekat. Contoh, adanya aktivitas naik/turun penumpang atau ngetem angkutan umum, pejalan kaki, dan atau pedagang kaki lima di sepanjang atau melintas pendekat, kendaraan keluar – masuk simpang pendekat
Sedang	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang sedikit terganggu dan sedikit berkurang akibat aktivitas samping jalan di sepanjang pendekat
Rendah	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang tidak terganggu dan tidak berkurang oleh hambatan samping

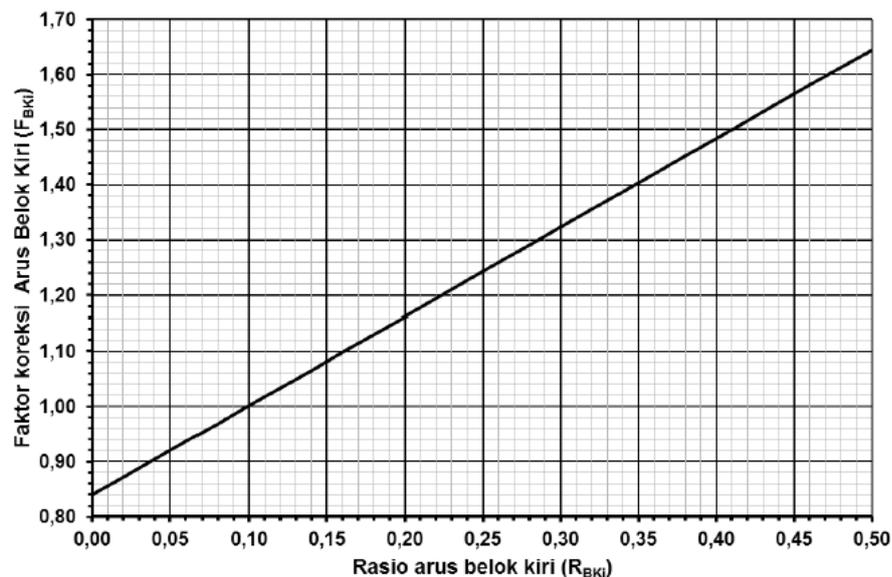
Tabel 2.14 Menentukan Faktor Koreksi Hambatan Samping

<b>Tipe Lingkungan Jalan</b>	<b>HS</b>	<b>F<sub>HS</sub></b>					
		<b>R<sub>KTB</sub>: 0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	<b>≥0,25</b>
Komersial	Tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,70
	Rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71
Permukiman	Tinggi	0,96	0,91	0,86	0,82	0,77	0,72
	Sedang	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73
	Rendah	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74
Akses terbatas	Tinggi/Sedang/ Rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

8) Faktor koreksi rasio arus belok kiri ( $F_{BK_i}$ )

Faktor koreksi rasio arus belok kiri dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16 atau dari diagram pada Gambar 2.9 dengan memperhatikan nilai rasio belok kiri ( $R_{BK_i}$ ) yang telah didapatkan. Faktor ini sangat berpengaruh ketika melakukan rekayasa arus lalu lintas karena arus belok kiri dapat meminimalisir pergerakan memotong sehingga mempengaruhi besaran kapasitasnya.

$$F_{BK_i} = 0,84 + 1,61R_{BK_i} \quad (2.16)$$



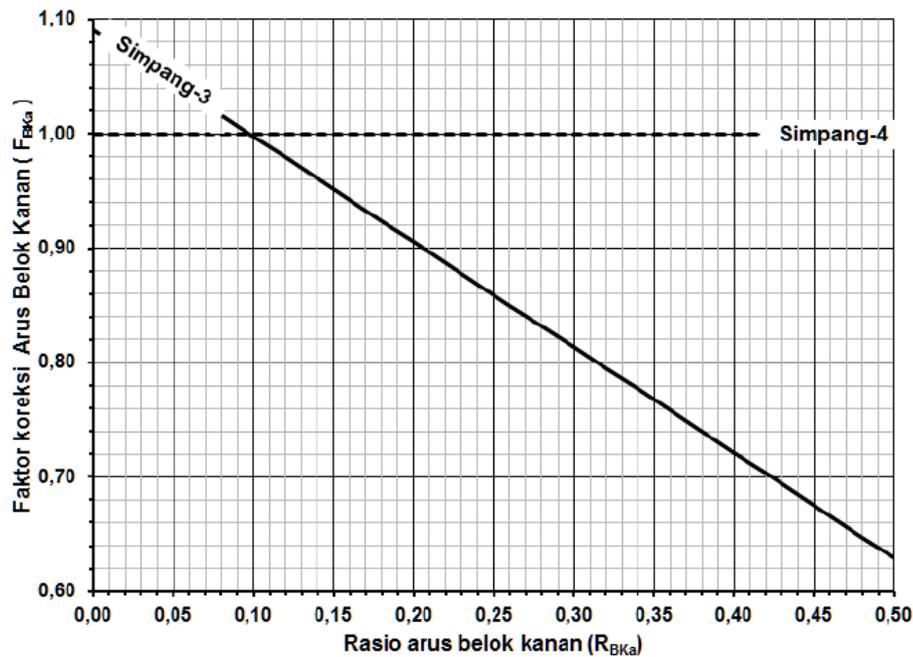
Gambar 2.9 Diagram faktor koreksi rasio arus belok kiri ( $F_{BK_i}$ )

9) Faktor koreksi rasio arus belok kanan ( $F_{BK_a}$ )

Faktor koreksi rasio arus belok kanan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17 dan 2.18 atau dari diagram pada Gambar 2.10. Penentuan menggunakan diagram dengan memperhatikan nilai rasio belok kanan ( $R_{BK_a}$ ) yang telah didapatkan serta berdasarkan jenis simpang di lokasi tersebut.

$$\text{Untuk Simpang 4 : } F_{BK_a} = 1,0 \quad (2.17)$$

$$\text{Untuk Simpang 3 : } F_{BK_a} = 1,09 - 0,922R_{BK_a} \quad (2.18)$$



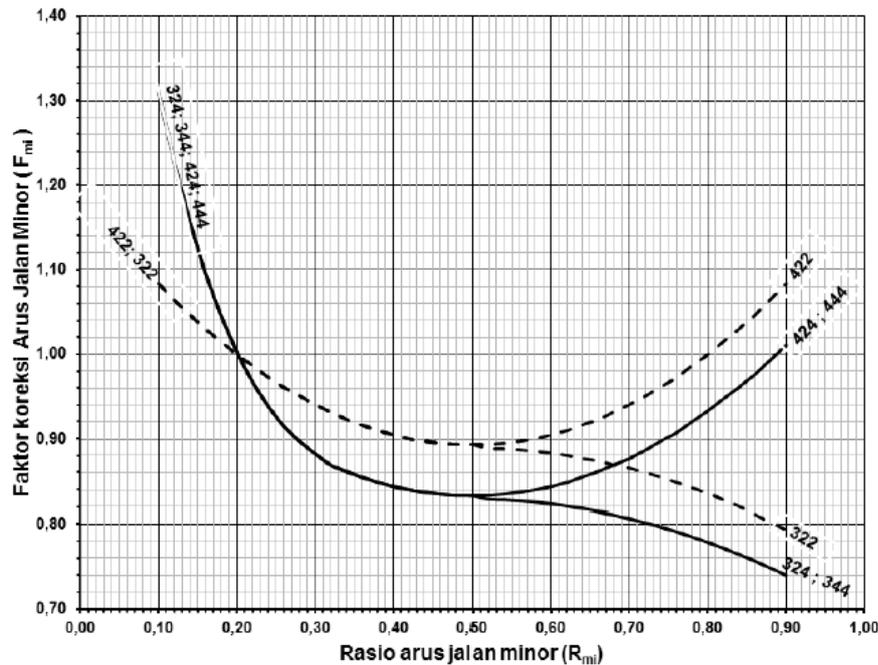
Gambar 2.10 Diagram faktor koreksi rasio arus belok kanan ( $F_{BKa}$ )

10) Faktor koreksi rasio arus jalan minor ( $F_{mi}$ )

Faktor koreksi rasio arus jalan minor ditentukan dari persamaan menurut PKJI 2014 pada Tabel 2.15 atau menggunakan diagram dalam Gambar 2.11. Nilai  $F_{mi}$  didapatkan tergantung dari nilai rasio arus jalan minor ( $R_{mi}$ ) serta tipe simpang yang telah ditentukan dari jumlah lengan serta jumlah lajur untuk tiap pendekatan. Dari karakteristik perhitungan dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai  $R_{mi}$ , maka semakin besar pula nilai  $F_{mi}$  yang akan dihasilkan.

Tabel 2.15 Persamaan Menentukan Nilai  $F_{mi}$

Tipe Simpang	$F_{mi}$	$R_{mi}$
422	$1,19 \times R_{mi}^2 - 1,19 \times R_{mi} + 1,19$	0,1 – 0,9
424 dan 444	$16,6 \times R_{mi}^4 - 33,3 \times R_{mi}^3 + 25,3 \times R_{mi}^2 - 8,6 \times R_{mi} + 1,95$	0,1 – 0,3
322	$1,11 \times R_{mi}^2 - 1,11 \times R_{mi} + 1,11$	0,3 – 0,9
	$1,19 \times R_{mi}^2 - 1,19 \times R_{mi} + 1,19$	0,1 – 0,5
	$-0,595 \times R_{mi}^2 + 0,595 \times R_{mi} + 0,74$	0,5 – 0,9
424 dan 344	$16,6 \times R_{mi}^4 - 33,3 \times R_{mi}^3 + 25,3 \times R_{mi}^2 - 8,6 \times R_{mi} + 1,95$	0,1 – 0,3
	$1,11 \times R_{mi}^2 - 1,11 \times R_{mi} + 1,11$	0,3 – 0,5
	$-0,555 \times R_{mi}^2 + 0,555 \times R_{mi} + 0,69$	0,5 – 0,9



Gambar 2.11 Diagram faktor koreksi rasio arus jalan minor ( $F_{mi}$ )

### c. Kinerja lalu lintas simpang

Kinerja lalu lintas simpang didapat dari penilaian yang bertujuan untuk memperoleh kinerja lalu lintas yang diinginkan berkaitan dengan kapasitas dan tundaan sehingga memungkinkan dilakukan perubahan desain simpang berupa geometrik jalan dan pengaturan sistem lalu lintas (Ansusanto dkk., 2016). Penilaian didasarkan pada tiga parameter yaitu derajat kejenuhan ( $D_J$ ), tundaan ( $T$ ), dan peluang antrian ( $P_A$ ). Berdasarkan nilai yang telah didapatkan dari parameter – parameter tersebut, sehingga perlu dilakukan penilaian kinerja lalu lintas dengan ketentuan yang telah ditetapkan dalam PKJI 2014.

#### 1) Derajat kejenuhan ( $D_J$ )

Derajat kejenuhan adalah rasio antara lalu lintas ( $q$ ) terhadap kapasitas ( $C$ ) seperti pada persamaan 2.19 (Kementerian PU, 2014). Derajat kejenuhan akan menunjukkan rasio lalu lintas pada pendekatan terhadap kapasitas simpang. Untuk nilai tertentu, derajat kejenuhan dapat menyebabkan antrian yang panjang pada kondisi lalu lintas saat jam puncak. Semakin tinggi arus lalu lintas, maka kapasitas simpang harus tinggi agar memadai dalam menampung kendaraan yang lewat.

Jika persimpangan memiliki arus lalu lintas tinggi dengan kapasitas rendah maka perlu dilakukan desain ulang atau peningkatan simpang sesuai perencanaan yang dibutuhkan.

$$D_J = \frac{q}{C} \quad (2.19)$$

dengan :

$D_J$  = Derajat kejenuhan

$q$  = Volume arus lalu lintas total (skr/jam)

$C$  = Kapasitas simpang (skr/jam)

## 2) Tundaan (T)

Tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang digunakan pengemudi untuk melalui suatu simpang apabila dibandingkan dengan lintasan tanpa simpang (Kementerian PU, 2014). Tundaan terdiri dari tundaan lalu lintas ( $T_{LL}$ ) dan tundaan geometrik ( $T_G$ ) yang masing – masing memiliki karakteristik penyebab terjadinya tundaan. Tundaan lalu lintas disebabkan oleh interaksi antara kendaraan dalam arus lalu lintas, sedangkan  $T_G$  disebabkan oleh perlambatan dan percepatan yang terganggu saat kendaraan – kendaraan membelok pada suatu simpang dan/atau berhenti. Tundaan lalu lintas ( $T_{LL}$ ) dibedakan menjadi tiga dasar, yaitu dari seluruh simpang, dari jalan mayor saja, dan dari jalan minor saja. Nilai tundaan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20 dengan mengetahui terlebih dahulu nilai tundaan lalu lintas dan tundaan geometrik.

$$T = T_{LL} + T_G \quad (2.20)$$

dengan :

$T$  = Tundaan (det/skr)

$T_{LL}$  = Tundaan lalu lintas (det/skr)

$T_G$  = Tundaan geometrik (det/skr)

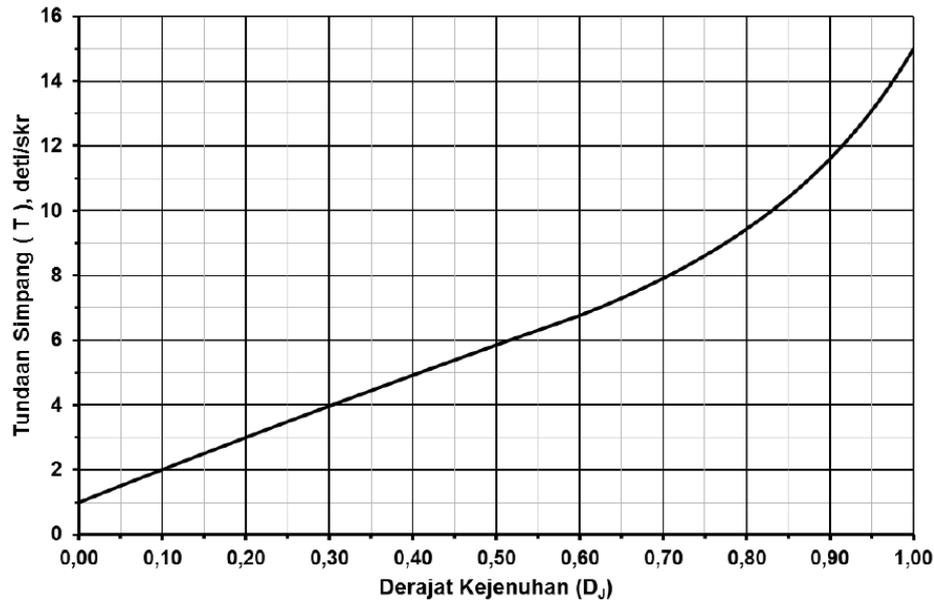
### a) Tundaan lalu lintas ( $T_{LL}$ )

Tundaan lalu lintas adalah tundaan lalu lintas rata – rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari semua arah. Tundaan lalu lintas  $T_{LL}$  dihitung menggunakan persamaan 2.21 dan 2.22 atau menggunakan diagram pada Gambar 2.12 serta

ditentukan berdasarkan nilai derajat kejenuhan ( $D_J$ ).  $T_{LL}$  dibagi menjadi dua yaitu  $T_{LLma}$  (tundaan lalu lintas jalan mayor) dan  $T_{LLmi}$  (tundaan lalu lintas jalan minor) supaya dapat dihitung secara terperinci lagi.

$$\text{Untuk } D_J \leq 60: T_{LL} = 2 + 8,2078D_J - (1 - D_J)^2 \quad (2.21)$$

$$\text{Untuk } D_J > 60: T_{LL} = \frac{1,0504}{(0,2742 - 0,2042D_J)} - (1 - D_J)^2 \quad (2.22)$$



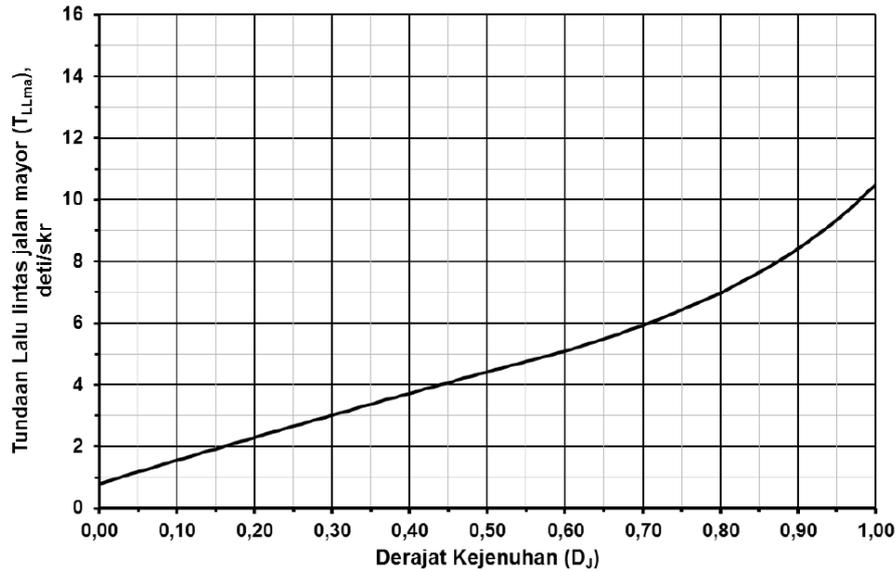
Gambar 2.12 Diagram tundaan lalu lintas simpang ( $T_{LL}$ )

b) Tundaan lalu lintas jalan mayor ( $T_{LLma}$ )

Tundaan lalu lintas jalan mayor adalah tundaan lalu lintas rata – rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari jalan mayor. Tundaan lalu lintas jalan mayor ( $T_{LLma}$ ) dihitung menggunakan persamaan 2.23 dan 2.24 atau menggunakan diagram pada Gambar 2.13 serta ditentukan berdasarkan nilai derajat kejenuhan ( $D_J$ ).

$$\text{Untuk } D_J \leq 60: T_{LL} = 1,8000 + 5,8234D_J - (1 - D_J)^2 \quad (2.23)$$

$$\text{Untuk } D_J > 60: T_{LL} = \frac{1,0503}{(0,3460 - 0,2460D_J)} - (1 - D_J)^2 \quad (2.24)$$



Gambar 2.13 Diagram tundaan lalu lintas jalan mayor ( $T_{LLma}$ )

c) Tundaan lalu lintas jalan minor ( $T_{LLmi}$ )

Tundaan lalu lintas jalan minor adalah tundaan lalu lintas rata – rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari jalan minor. Tundaan lalu lintas jalan minor ( $T_{LLmi}$ ) dihitung menggunakan persamaan 2.25 dengan mengetahui nilai arus total simpang, arus total jalan mayor dan jalan minor.

$$T_{LLma} = \frac{q_{TOT} \times T_{LL} - q_{ma} \times T_{LLma}}{q_{mi}} \quad (2.25)$$

dengan :

$q_{TOT}$  = Arus total yang masuk simpang (skr/jam)

$q_{ma}$  = Arus yang masuk simpang dari jalan mayor (skr/jam)

$q_{mi}$  = Arus yang masuk simpang dari jalan minor (skr/jam)

d) Tundaan geometrik ( $T_G$ )

Tundaan geometrik adalah tundaan geometrik rata – rata seluruh simpang dengan memperhitungkan menggunakan persamaan 2.26 dan 2.27. Nilai  $T_G$  didasarkan dari nilai derajat kejenuhan dan rasio arus belok kendaraan.

$$\text{Untuk } D_j < 1 : T_G = (1 - D_j) \times \{6R_B + 3(1 - R_B)\} + 4D_j \quad (2.26)$$

$$\text{Untuk } D_j \geq 1 : T_G = 4 \quad (2.27)$$

dengan :

$T_G$  = tundaan geometrik (det/skr)

$D_J$  = derajat kejenuhan

$R_B$  = rasio arus belok terhadap arus total simpang

### 3) Peluang antrian ( $P_A$ )

Peluang antrian adalah peluang antriannya kendaraan yang mengantri di sepanjang pendekat pada suatu simpang (Kementerian PU, 2014). Nilai  $P_A$  dinyatakan dalam rentang kemungkinan (%) yang terdiri dari batas atas peluang antrian dan batas bawah peluang antrian menggunakan persamaan 2.28 dan 2.29 atau menentukan dari diagram pada Gambar 2.14 dengan mengetahui nilai derajat kejenuhan. Peluang antrian memperkirakan kisaran rentang panjang antrian yang akan terjadi pada simpang untuk keseluruhan simpang dengan memperhatikan nilai patokan batas atas dan batas bawahnya dalam persen.

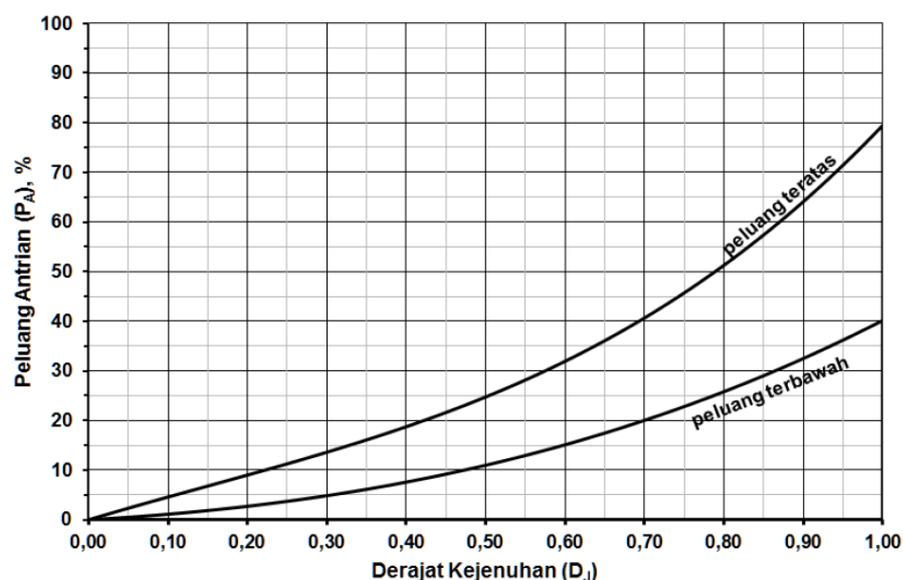
$$\text{Batas atas } P_A = 47,71D_J - 24,68D_J^2 + 56,47D_J^2 \quad (2.28)$$

$$\text{Batas bawah } P_A = 9,02D_J - 20,66D_J^2 + 10,49D_J^2 \quad (2.29)$$

dengan :

Batas atas  $P_A$  = batas tertinggi terjadinya antrian pada simpang (%)

Batas bawah  $P_A$  = batas terendah terjadinya antrian pada simpang (%)



Gambar 2.14 Diagram peluang antrian ( $P_A$ )

#### 4) Penilaian kinerja simpang

Cara menentukan kinerja lalu lintas suatu simpang yang memadai bagi kendaraan yang lewat, perlu dilakukan penilaian kinerja simpang dari hasil analisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014. Kementerian PU (2014) menyebutkan bahwa dalam melakukan penilaian kinerja simpang mengacu pada nilai derajat kejenuhan ( $D_J$ ) dengan standar  $D_J \leq 0,85$ . Jika nilai  $D_J$  melampaui 0,85, maka perlu dilakukan desain ulang pada simpang untuk meningkatkan pelayanan operasional simpang berupa penambahan lebar pendekat atau manajemen lalu lintas.

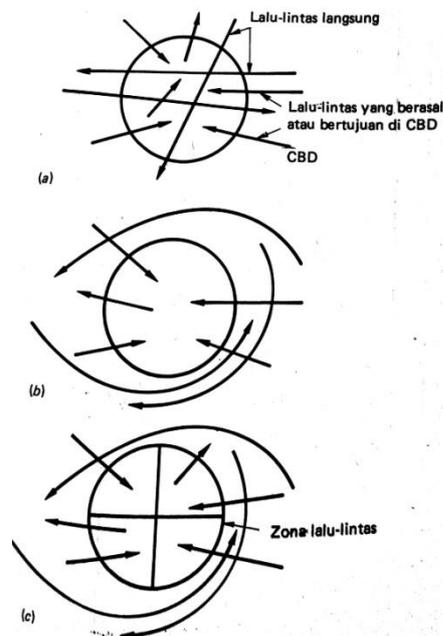
Kementerian PU (2014) menyebutkan untuk nilai tundaan ( $T$ ) dan peluang antrian ( $P_A$ ) memiliki fungsi masing – masing dalam penilaian. Nilai  $T$  dapat digunakan untuk analisis biaya manfaat akibat kehilangan nilai waktu, sedangkan nilai  $P_A$  dapat digunakan untuk mengevaluasi desain geometrik terkait dengan panjang lajur khusus untuk lajur membelok agar antrian yang terbentuk tidak menghalangi arus lalu lintas pada lajur utama dan ketersediaan ruang untuk menampung kendaraan yang antri, sehingga tidak menutupi pergerakan kendaraan – kendaraan pada simpang yang berdekatan.

#### **2.2.3. Alternatif Permasalahan Lalu Lintas**

Konsep manajemen sistem transportasi meliputi berbagai tingkatan yang dikembangkan terutama dalam konteks transportasi perkotaan dengan menyatukan berbagai alternatif menyelesaikan permasalahan lalu lintas untuk dijadikan suatu sistem yang kompleks, sehingga dapat mengendalikan arus lalu lintas (Morlok, 1999). Hal ini dilakukan baik mengkoordinasikan seluruh moda transportasi yang ada atau melakukan manajemen arus lalu lintas berupa merekayasa pergerakan lalu lintas dalam berbagai tingkatan. Tingkat tertinggi mengenai gerakan lalu lintas di dalam suatu daerah meliputi jalan utama daerah dan angkutan daerah dengan jarak tempuh yang relatif jauh. Tingkat selanjutnya terdiri dari satuan manajemen yang berhubungan dengan bagian utama dari suatu sistem seperti sistem angkutan suatu daerah, jaringan jalan raya suatu daerah, dan lain – lain. Tiap tingkatan meninjau hal – hal tertentu dalam tiap fokus

permasalahan yang ada agar dapat terselesaikannya dengan target yang telah ditentukan sebelumnya.

Manajemen lalu lintas adalah pengorganisasian, perencanaan, pemberian arah, dan pemantauan keadaan pergerakan lalu lintas, termasuk pejalan kaki, pengguna sepeda, dan semua tipe kendaraan ditunjukkan oleh *Underwood* (dalam Risdiyanto, 2014). Morlok (1999) menjelaskan bahwa masalah yang sering dijumpai dalam manajemen lalu lintas adalah tingkat kongesti (kemacetan) yang tinggi dalam daerah perdagangan/komersial (*central business district* atau *CBD*) di kota – kota besar. Masalah ini sangat mengganggu di daerah perdagangan akibat terdapatnya konflik antara arus kendaraan dengan kegiatan – kegiatan lainnya terdiri dari pejalan kaki dalam jumlah yang cukup besar, sehingga perlu dilakukan berbagai cara untuk mengalihkan lalu lintas dari pusat kegiatan perdagangan (*CBD*) agar tidak terjadi kemacetan. Perencanaan dan sistem yang baik dalam mengurai kemacetan yang bekerja secara efektif dapat menunjukkan hasil yang maksimal. Morlok (1999) menjelaskan beberapa rekayasa lalu lintas seperti pada Gambar 2.15 untuk menghindari wilayah *CBD* seperti mengalihkan lalu lintas secara melingkar daerah *CBD* dengan rute yang lebih menarik atau dilarang masuk ke daerah *CBD* dengan menggunakan zona – zona lalu lintas.



Gambar 2.15 Skema manajemen lalu lintas (Morlok, 1999)

Munawar (2004) menyebutkan manajemen lalu lintas akan bertujuan untuk memenuhi kebutuhan transportasi, baik saat ini maupun di masa mendatang, dengan mengefisienkan pergerakan orang/kendaraan dan mengidentifikasi perbaikan – perbaikan yang diperlukan di bidang teknik lalu lintas, angkutan umum, perundang – undangan, *road pricing* dan operasional dari sistem transportasi yang ada. Tidak termasuk di dalamnya pembangunan fasilitas transportasi baru dan perubahan – perubahan besar dari fasilitas yang ada. Strategi manajemen lalu lintas dapat diklasifikasikan sebagai berikut ini:

a. Sistem pengontrolan lalu lintas

Sistem pengontrolan lalu lintas merupakan pengaturan lalu lintas yang berupa perintah atau larangan. Perintah atau larangan tersebut dapat berupa lampu lalu lintas, rambu – rambu lalu lintas atau marka jalan. Terdapat beberapa contoh sistem pengontrolan lalu lintas meliputi pemasangan/pemindahan lampu lalu lintas, jalan satu arah, pembatasan kecepatan kendaraan, pengontrolan tempat parkir dan lain – lain.

b. Informasi kepada pemakai jalan

Menyampaikan informasi kepada pemakai jalan dapat melalui beberapa cara, yang pertama pendidikan tertib lalu lintas mengenai tatacara menggunakan kendaraan, mematuhi semua peraturan lalu lintas yang dapat disampaikan dengan memperbaiki kurikulum sekolah mengemudi kendaraan. Kedua, informasi sebelum melakukan perjalanan mengenai informasi tentang kondisi lalu lintas, jadwal dan jalur angkutan umum. Ketiga, informasi pada saat melakukan perjalanan mengenai kondisi lalu lintas, kecepatan dan rute yang disarankan.

c. *Road pricing*

*Pricing* dimaksudkan untuk menekan jumlah pemakai fasilitas transportasi dengan jalan membebani pemakai fasilitas tersebut dengan biaya tertentu yang meliputi *road pricing* dengan memberi beban biaya bagi pemakai jalan, tarif parkir dengan memberi beban biaya bagi pemakai fasilitas parkir, dan tarif angkutan umum yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya tarik angkutan umum serta meratakan beban angkutan umum.

d. Modifikasi operasi angkutan umum

Melakukan modifikasi operasi angkutan umum yang pertama meliputi perbaikan operasi dimaksudkan modifikasi jalur dan jadwal bus, efisiensi jumlah penumpang. Kedua, perpindahan moda dimaksudkan integrasi antar moda, fasilitas *park and ride*, perbaikan kenyamanan halte. Ketiga, efisiensi manajemen dengan melakukan perbaikan pemeliharaan kendaraan dan keamanan sehingga tidak terjadi hal yang tidak diinginkan. Keempat, penggunaan jenis angkutan umum meliputi kualitas angkutan umum dibuat beberapa tingkatan untuk menarik masyarakat dari golongan bawah sampai golongan atas dan kapasitas angkutan umum yang disesuaikan berdasarkan jalur yang dilewati.

e. Modifikasi pemakai jalan

Modifikasi pemakai jalan dimaksudkan agar waktu perjalanan pemakai jalan dapat dirubah, sehingga penggunaan jalan selama 24 jam lebih merata dan efisien meliputi modifikasi distribusi waktu pemakaian jalan seperti penggeseran waktu kerja, pemendekan/perpanjangan waktu kerja. Modifikasi frekuensi pemakaian jalan seperti pengantaran pesenan barang/makanan ke rumah, perluasan jaringan telepon serta modifikasi tata ruang misalnya merubah fungsi suatu bangunan dari perkantoran menjadi perumahan.

Khisty dkk (2005) juga menjelaskan bahwa dalam menyelesaikan suatu permasalahan lalu lintas dapat dilakukan pengendalian persimpangan dengan tujuan mengurangi potensi konflik di antara kendaraan (termasuk pejalan kaki) dan menyediakan kenyamanan maksimum dan kemudahan pergerakan bagi kendaraan. Alternatif ini mungkin salah satu manajemen lalu lintas yang paling efektif untuk dilakukan karena kemudahan dan dampaknya yang akan cepat terasa bagi pengguna jalan. Namun perlu pertimbangan dalam melakukan pengendalian lalu lintas ini, yaitu faktor manusia, pertimbangan lalu lintas simpang, elemen – elemen fisik yang ada di lapangan, dan faktor ekonomi berupa biaya atau konsumsi energi. Terdapat beberapa cara untuk mengendalikan lalu lintas di persimpangan yang bergantung pada jenis persimpangan dan volume lalu lintas pada tiap aliran kendaraan (Khisty dkk, 2005), antara lain:

- a. Rambu berhenti, harus ditempatkan pada suatu persimpangan pada kondisi – kondisi tertentu, seperti persimpangan antara suatu jalan yang relatif kurang penting dengan jalan utama, persimpangan antara jalan – jalan luar kota dan perkotaan dengan jalan raya, dan persimpangan tanpa lampu lalu lintas dengan kondisi rawan terhadap kecelakaan.
- b. Rambu pengendalian kecepatan, umumnya ditempatkan pada suatu jalan minor di titik masuk menuju suatu persimpangan ketika perlu memberikan hak jalan ke jalan utama, di semua persimpangan yang dapat ditanggulangi dengan mudah menggunakan rambu pengatur kecepatan, dan pada pintu masuk ke jalan ekspres.
- c. Kanalisasi di persimpangan, adalah poses atau pengaturan terhadap aliran kendaraan yang saling konflik dalam rute – rute jalan yang jelas dengan menempatkan beton pemisah atau rambu perkerasan untuk menciptakan pergerakan yang aman dan teratur bagi kendaraan bahkan pejalan kaki. Kanalisasi dapat meningkatkan kapasitas, menyempurnakan keamanan, memberikan kenyamanan, dan menaikkan kepercayaan diri pengemudi.
- d. Lampu lalu lintas, merupakan satu metode paling efektif untuk mengatur lalu lintas di persimpangan. Lampu lalu lintas dapat mengurangi beberapa hal seperti penundaan berlebihan pada rambu berhenti atau rambu pengendali kecepatan, masalah yang timbul akibat tikungan jalan, tabrakan sudut dan sisi, serta kecelakaan pejalan kaki.

#### **2.2.4. VISSIM**

Haryadi dkk (2017) menyebutkan *VISSIM* merupakan simulasi mikroskopis berdasarkan waktu dan perilaku yang dikembangkan untuk model lalu lintas perkotaan. Pengertian lainnya *VISSIM* adalah alat bantu atau perangkat lunak simulasi lalu lintas yang bertujuan untuk rekayasa lalu lintas, perencanaan transportasi, serta perencanaan kota yang bersifat mikroskopis yang disajikan secara visual. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh *PTV (Planung Transport Verkehr AG)* di Karlsruhe, Jerman pada tahun 1992 yang memiliki nama berasal dari bahasa Jerman yaitu “*Verkehr In Städten – SIMulationsmodell*” dengan arti model simulasi lalu lintas kota.

*VISSIM* dapat berfungsi sebagai *software* yang menganalisa operasi atau pergerakan lalu lintas berdasarkan batasan konfigurasi garis jalan, komposisi lalu lintas, tempat perhentian dan lain – lain. Selain itu, simulasi menggunakan *VISSIM* dapat bermanfaat dalam mengurangi biaya dari perancangan yang akan dibuat secara nyata. Dalam perangkat lunak ini dapat menampilkan simulasi dengan berbagai jenis dan karakteristik kendaraan yang ada di kehidupan sehari – hari seperti *vehicles* (mobil, bus, truk), *public transport* (tram, bus), *cycles* (sepeda, sepeda motor), dan pejalan kaki. Simulasi dari *software* ini ditampilkan secara visual 3D tiap pergerakan dari jenis – jenis kendaraan yang digunakan dalam suatu pemodelan simulasi sehingga sangat menarik untuk dipresentasikan.

Simulasi menggunakan perangkat lunak *VISSIM* disajikan dari suatu pemodelan arus lalu lintas pada ruas jalan atau persimpangan yang akan ditinjau. Memodelkan arus lalu lintas memerlukan data – data yang akan diinput dalam pengerjaan simulasi dari hasil suatu penelitian yang nyata di lapangan. Data yang digunakan dalam pemodelan *VISSIM*, berupa:

a. Peta/denah satelit lokasi

Peta satelit berfungsi sebagai *background* dalam suatu simulasi arus lalu lintas yang ditampilkan secara visual 3D. Penggunaan peta satelit dalam suatu pemodelan arus lalu lintas untuk memperjelas lokasi dalam pemodelan dengan keadaan asli.

b. Geometrik jalan

Geometrik jalan berfungsi untuk pembuatan jaringan jalan dalam pemodelan sesuai dengan kondisi jalan yang ada yang dihubungkan untuk tiap pergerakan. Data tersebut berupa tipe jalan (jumlah jalur dan lajur) dan lebar badan jalan.

c. Tipe kendaraan

Tipe kendaraan dalam pemodelan sesuai dengan klasifikasi menurut pedoman/peraturan yang digunakan. Tiap tipe kendaraan akan dimodelkan dalam bentuk 2D/3D yang dimasukkan dalam simulasi arus lalu lintas.

d. Kecepatan kendaraan

Kecepatan kendaraan digunakan sebagai batas kecepatan yang ditentukan pada daerah tersebut pada tiap tipe kendaraan (Haryadi dkk., 2017). Dimasukkan data kecepatan kendaraan minimum dan maksimum dalam satuan km/jam.

e. Volume arus lalu lintas

Volume arus lalu lintas didapatkan dari hasil *traffic counting* atau metode perhitungan volume lalu lintas lainnya dalam suatu penelitian. Dalam pemodelan *VISSIM* dimasukkan volume pada tiap tipe kendaraan untuk masing – masing lengan dalam satuan kend/jam.

Haryadi dkk (2017) menjelaskan bahwa dalam perangkat lunak *PTV VISSIM 9 Student Version* terdapat istilah *Node Result* yaitu perintah untuk menampilkan data hasil analisis dari simulasi lalu lintas kendaraan. Hasil analisis tersebut juga akan menampilkan parameter – parameter kinerja persimpangan yang didapatkan dari *Node Result* seperti di bawah ini:

- a. *TimeInt*, yaitu interval waktu data yang diolah.
- b. *Movement*, yaitu pergerakan kendaraan.
- c. *Qlen*, yaitu panjang antrian rata-rata, dalam satuan meter.
- d. *QlenMax*, yaitu panjang antrian maksimum, dalam satuan meter.
- e. *Vehs(All)*, yaitu jumlah kendaraan yang lewat saat simulasi, dalam satuan unit.
- f. *Pers(All)*, yaitu jumlah orang yang lewat saat simulasi, dalam satuan person.
- g. *LOS(All)*, yaitu singkatan dari *Level of Service* atau disebut tingkat pelayanan.
- h. *LOSVal(All)*, yaitu singkatan dari *Level of Service Value* atau disebut nilai tingkat pelayanan ditentukan dengan skala interval yang berupa angka 1, 2, 3, 4, 5, dan 6
- i. *VehDelay(All)*, yaitu tundaan kendaraan, dalam satuan detik.
- j. *PersDelay(All)*, yaitu tundaan orang, dalam satuan detik.
- k. *StopDelay(All)*, yaitu tundaan hingga berhenti, dalam satuan detik.
- l. *Stops(All)*, yaitu jumlah kendaraan yang berhenti.

- m. *Emissions CO*, yaitu jumlah karbon monoksida yang terbang, dalam satuan gram.
- n. *Emissions NO<sub>x</sub>*, yaitu jumlah nitrogen oksida yang terbang, dalam satuan gram.
- o. *Emissions VOC*, yaitu jumlah *volatile organic compounds* yang terbang, gram.
- p. *Fuel Consumption*, yaitu jumlah bahan bakar yang terbang, dalam satuan *US Gallon*.

Tingkat pelayanan atau *level of service* (LOS) adalah kemampuan suatu ruas jalan atau persimpangan untuk menampung lalu lintas pada keadaan tertentu (Permenhub, 2006). Permenhub (2015) menyebutkan pengertian lain tingkat pelayanan adalah suatu ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas ruas jalan atau persimpangan. Pemodelan *VISSIM* akan menunjukkan parameter tingkat pelayanan pada suatu persimpangan yang mengacu pada *Highway Capacity Manual* (HCM) tahun 2010 dengan kriteria pada Tabel 2.16 khusus untuk simpang tak bersinyal (*unsignalized intersections*). Morlok (1995) menyebutkan bahwa tingkat pelayanan ditentukan dengan skala interval yang terdiri dari 6 tingkat yang terdiri dari huruf A, B, C, D, E, dan F, dimana A merupakan tingkat pelayanan tertinggi dan F merupakan tingkat pelayanan terendah. Dalam menentukan tingkat pelayanan persimpangan menggunakan kriteria yang meninjau pada nilai rata – rata tundaan dalam satuan detik perkendaraan (*second/vehicle*).

Penetapan tingkat pelayanan bertujuan untuk menetapkan tingkat pelayanan pada suatu ruas jalan atau persimpangan (Permenhub, 2015). Hal ini akan dapat dimanfaatkan untuk mengindikasikan penyebab masalah lalu lintas yang terjadi pada ruas jalan atau persimpangan yang ditinjau. Tingkat pelayanan harus memenuhi indikator, oleh Permenhub (2015) antara lain rasio antara volume dan kapasitas jalan, kecepatan, waktu perjalanan, kebebasan bergerak, keamanan, keselamatan, ketertiban, kelancaran, serta penilaian pengemudi terhadap kondisi arus lalu lintas. Oleh karena itu, perlu tingkat pelayanan suatu simpang perlu didapatkan secara maksimal agar dapat memenuhi operasional lalu lintas kendaraan yang melintas dengan volume yang tinggi sekalipun.

Tabel 2.16 Kriteria Tingkat Pelayanan

<i>Level of Service</i>	<i>Average Control Delay (second/vehicle)</i>
A	0 – 10
B	> 10 – 15
C	> 15 – 25
D	> 25 – 35
E	> 35 – 50
F	> 50

### 2.2.5. Emisi Gas Buang

Morlok (1995) menyebutkan bahwa kegiatan produktif manusia mempunyai pengaruh terhadap lingkungan alamiah yang salah satunya adalah transportasi. Hal yang menyebabkan transportasi memiliki pengaruh terhadap lingkungan berasal dari konsumsi energi kendaraan sehingga menghasilkan emisi gas buang dari kendaraan yang dapat menimbulkan polusi/pencemaran udara. PP (1999) menyebutkan pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya sebagai salah satu komponen yang dibutuhkan untuk kehidupan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Udara ambien itu sendiri adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia. Polusi merupakan bentuk yang paling berbahaya dan sukar untuk ditangani berupa pengotoran udara dari berbagai partikel dan gas. Selain berasal dari gas buang kendaraan, gas pencemar juga berasal dari pabrik, asap rokok, dan hal berhubungan dengan aktivitas manusia sehari – hari.

Morlok (1999) menjelaskan salah satu indikasi peranan transportasi dalam meningkatkan polusi udara dapat dilihat pada Tabel 2.17 untuk studi kasus di negara Amerika Serikat tahun 1969 dalam satuan persen (%). Dalam tabel tersebut menunjukkan polusi udara secara menyeluruh dari masing – masing sumber dan proporsional dengan sesuatu yang diemisikan oleh setiap sumber terhadap tingkat standar EPA untuk setiap jenis polutan. Transportasi merupakan sumber polusi utama tetapi kontribusinya dibandingkan semua polusi udara hanya 16,7% lebih rendah dari sumber – sumber polusi lainnya. Namun dengan ukuran

yang sama, transportasi merupakan 70% dari sumber polusi udara di Los Angeles dan San Diego serta > 50% untuk berbagai daerah perkotaan di Amerika Serikat.

Tabel 2.17 Sumber Emisi Polusi Udara (Morlok, 1995)

Sumber	Partikel	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC	Total
Transportasi						
- Kendaraan bermotor						
- Bensin	0,4	0,2	5,0	2,6	3,2	11,4
- Solar	0,1	0,1	0,5	0,0	0,3	1,0
- Total, kend. bermotor	0,5	0,3	5,5	2,6	3,5	12,4
- Pesawat udara	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,7
- Kereta api	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,4
- Kapal laut	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,7
- Penggunaan bahan bakar bukan untuk perjalanan	0,1	0,2	1,2	0,2	0,8	2,5
Total, transportasi	1,0	1,0	7,1	3,0	4,6	16,7
Sumber tenaga stasioner	10,4	20,2	3,8	0,1	1,1	35,6
Proses industri	20,9	6,2	0,1	0,3	0,1	27,6
Sampah	2,0	0,1	0,3	0,2	0,2	2,8
Yang lain - lain	16,4	0,2	0,1	0,5	0,1	17,3
Total, semua sumber	50,7	27,7	11,4	4,1	6,1	100,0

Kendaraan bermesin dengan pembakaran di dalam maupun di luar merupakan penyebab polusi paling berbahaya terutama di kawasan padat penduduk. Pembakaran/emisi gas buang kendaraan bergabung udara ambien/udara bebas sehingga asap dari kendaraan menyebar secara bebas yang akan merusak lingkungan bahkan dapat membahayakan kesehatan manusia. Asap yang dapat berbahaya bagi manusia ketika bernafas dalam keadaan menghirup udara dalam – dalam, sekitar 99% dari udara yang dihirup adalah gas nitrogen dan oksigen meskipun ada jenis gas lainnya terhirup walaupun sangat sedikit. Arti dari emisi itu sendiri adalah zat, energi, atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk atau dimasukkan ke udara bebas baik mempunyai potensi sebagai unsur pencemar atau tidak (PP, 1999). Untuk ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang boleh dikeluarkan langsung dari pipa gas buang kendaraan bermotor. Dengan

demikian telah dijalankan berbagai program yang mengharuskan kendaraan dengan teknologi terbaru untuk mengurangi pembakaran atau emisi gas buang dengan bantuan alat yang disebut alat pengontrol emisi. Program lain yang dapat dilakukan ialah mengurangi jumlah gerakan kendaraan pada suatu tempat tertentu atau pembatasan penggunaan konsumsi bahan bakar kendaraan.

Hasil analisis emisi gas buang dari *software PTV VISSIM 9 Student Version* didapatkan kadar polutan karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>). Polutan CO dan NO<sub>x</sub> merupakan senyawa yang memiliki dampak buruk bagi kesehatan manusia seperti gangguan pernafasan, melemahkan sistem pertahanan tubuh, memperlambat refleks bahkan dapat menimbulkan kematian. Dampak pencemaran udara memiliki dampak negatif apabila melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh standar kualitas pencemaran udara yang disebut baku mutu udara. Baku mutu udara (ambien) merupakan ukuran batas atau kadar zat atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien dalam kurun waktu tertentu (Kep.Gub, 2002). Pada Tabel 2.18 akan dijelaskan baku mutu udara untuk wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta menurut Keputusan Gubernur DIY tahun 2002.

Tabel 2.18 Baku Mutu Udara Provinsi DIY

No	Polutan	Waktu Pengamatan	Baku Mutu	
			ppm	µg/m <sup>3</sup>
1	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	1 jam	0,34	900
		24 jam	0,14	365
2	Karbon monoksida (CO)	1 jam	35	30000
		8 jam	9	10000
3	Nitrogen Oksida (NO <sub>2</sub> )	1 jam	0,212	400
		24 jam	0,08	150
4	Oksidan (O <sub>3</sub> )	1 jam	0,12	235
		24 jam	0,08	157
5	Hidro Karbon (HC)	3 jam	-	160
6	Partikel diameter < 10 mikron (PM <sub>10</sub> )	24 jam	-	150
7	Partikel diameter < 2,5 mikron (PM <sub>2,5</sub> )	24 jam	-	65