

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Penelitian Terdahulu

Banyak ditemui pada penelitian terdahulu yang meneliti kinerja simpang tak bersinyal, baik menggunakan pemodelan dengan bantuan *software* maupun hanya menggunakan salah satu acuan dalam memperhitungkan kinerja simpang. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu terletak pada acuan yang digunakan dalam mengurangi kemacetan. Penelitian ini menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 sebagai dasar perhitungan kinerja simpang tak bersinyal, sedangkan penelitian terdahulu yang banyak ditemui menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Berdasarkan literatur yang telah di pelajari oleh peneliti, banyak hal yang mempengaruhi keberhasilan dari penelitian yang telah dilakukan mengenai kinerja simpang tak bersinyal, baik dalam menggunakan acuan sebagai dasar perhitungan kinerja simpang saja maupun disertai dengan menggunakan pemodelan *software PTV VISSIM 9 Student Version*, dan menghasilkan data dampak polusi dari emisi gas buang kendaraan yang ada. Beberapa penelitian terdahulu mengenai kinerja simpang akan dijelaskan pada paragraf selanjutnya. Perbedaan pada penelitian ini yaitu terletak pada metodenya.

Frans, dkk (2018) melakukan penelitian mengenai kinerja lalu lintas simpang tak bersinyal pada kompleks kampus Universitas Nusa Cendana. Masalah utama pada simpang ini berupa lebar jalan, kendaraan umum yang berhenti, dan kendaraan yang parkir di daerah simpang. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Penelitian ini memperhitungkan kinerja simpang untuk setiap 5 dengan jam puncak, yaitu 07.00 – 10.00 WITA, 11.00 – 14.00 WITA, dan 14.00 – 17.00 WITA. Setelah dianalisis, simpang 1 dan simpang 2 dalam keadaan jenuh karena derajat kejenuhan melebihi dari syarat yang ditentukan pada MKJI 1997, maka perlu upaya perbaikan, sedangkan pada simpang 3, simpang 4, dan simpang 5 sudah stabil/baik. Hasil pada simpang 1 berupa kapasitas (C) sebesar 3037 smp/jam, dengan nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,89 smp/jam, tundaan

simpang (T) sebesar 11,10 detik/smp, peluang antrian (QP) sebesar 32%-101%. Sedangkan pada simpang 2 didapatkan hasil berupa kapasitas (C) sebesar 2465 smp/jam, dengan nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 1,07 smp/jam, tundaan simpang (T) sebesar 25,13 detik/smp, peluang antrian (QP) sebesar 46%-149%. Pada simpang 1 diberikan alternatif berupa perubahan lebar pada pendekat jalan utama dan pengalihan arus lalu lintas, alternatif 2 diberikan alternatif berupa perubahan lebar pendekat jalan mayor dan jalan minor serta pengalihan arus lalu lintas, simpang 3 diberikan alternatif berupa perubahan lebar pendekat jalan mayor dan larangan parkir di daerah simpang, simpang 4 diberikan alternatif berupa perubahan lebar pada pendekat C dan pengalihan arus lalu lintas serta larangan parkir di daerah simpang, simpang 5 diberikan alternatif perubahan lebar pada pendekat jalan utama dan pengalihan arus lalu lintas.

Hadijah, dkk (2018) juga melakukan penelitian mengenai analisis kinerja simpang tidak bersinyal Kota Metro. Pola pengaturan lalu lintas di simpang ini belum optimal, arus lalu lintas cukup padat, faktor disiplin pemakai jalan menjadi agresif, dan kendaraan berebut ruang untuk melewati simpang, sehingga menyebabkan kemacetan. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Hasil pada kondisi eksisting analisis penelitian ini berupa kapasitas (C) sebesar 7389,77 smp/jam, dengan nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,862 smp/jam, tundaan simpang (T) sebesar 11,42 detik/smp, peluang antrian (QP) sebesar 23%-51%. Nilai derajat kejenuhan yang dihasilkan belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum, maka dilakukan upaya penerapan berbagai alternatif yang berupa alternatif 1 pelebaran Jalan AH.Nasution dan Jalan Imam Bonjol, alternatif 2 dengan pelebaran Jalan Jend.Sudirman dan Jalan Imam Bonjol, dan alternatif 3 dengan pelebaran Jalan Imam Bonjol di sertai pemasangan rambu larangan masuk ke Jalan Imam Bonjol dan pelarangan rambu larangan masuk ke Jalan Ade Irma Suryani. Dari ketiga alternatif dipilihlah alternatif 3 karena nilai derajat kejenuhan telah memenuhi syarat.

Iduwin, dkk (2018) melakukan penelitian berupa evaluasi kinerja simpang tiga tak bersinyal di Jalan Raya Duri Kosambi. Pola pengaturan lalu lintas pada simpang ini tidak teratur sehingga kendaraan saling berebutan saat melewati

simpang dan hal ini menyebabkan terjadinya kemacetan dan resiko kecelakaan yang tinggi. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Penelitian ini mengamati jam puncak yang ditentukan dalam 1 hari terdapat 2 jam puncak, yaitu pagi hari jam 06.00 - 09.00 WIB dan sore hari jam 17.00 – 20.00 WIB. Hasil analisis penelitian ini pada pagi hari berupa kapasitas (C) sebesar 4053 smp/jam, dengan nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,8 smp/jam, tundaan simpang (T) sebesar 13,21 detik/smp, peluang antrian (QP) sebesar 26%-51%. Sedangkan pada sore hari menghasilkan kapasitas (C) sebesar 2640 smp/jam, dengan nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 1,07 smp/jam, tundaan simpang (T) sebesar 18 detik/smp, peluang antrian (QP) sebesar 46%-92%. Dari kedua jam puncak tersebut memiliki nilai DS tidak memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum, sehingga dilakukan berbagai alternatif yang berupa alternatif 1 dengan pemberian sinyal lalu lintas tiap jalan mayor dan jalan minor, dan alternatif 2 dengan pelebaran jalan mayor dan minor yang di sertai dengan pemberian sinyal lalu lintas. Berdasarkan analisis tersebut, maka dipilih alternatif 2 dengan nilai derajat kejenuhan yang sesuai syarat ketentuan derajat maksimum.

Kabi, dkk (2015) juga melakukan penelitian mengenai analisis kinerja simpang tanpa sinyal pada studi kasus simpang tiga ringroad Maumbi. Pada persimpangan ini menjadi titik termacet di Kota Manado, karena terjadi titik pertemuan antara kendaraan yang berasal dari arah Maumbi dengan kendaraan yang berasal dari arah Baitung. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 untuk menganalisa kapasitas dan perilaku lalu lintas. Hasil analisis penelitian ini berupa kapasitas (C) sebesar 2728,775smp/jam, dengan nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,98 smp/jam, tundaan simpang (T) sebesar 18,107 detik/smp, peluang antrian (QP) sebesar 38%-76%. Nilai DS tidak memenuhi syarat dalam MKJI 1997, yaitu $DS < 0,75$. Dalam penelitian ini dilakukan alternatif dengan pelebaran pada jalan utama, arus pergerakan memisah dan menyatu diperbaiki agak dimaksimalkan, pemberian rambu-rambu jalan yang mengharuskan pengguna jalan memakai arus pergerakan tersebut.

Raco, dkk (2016) melakukan penelitian mengenai kinerja persimpangan tak bersinyal pada persimpangan Jalan Dotulolong Lasut, Jalan Sudirman, Jalan Sarapung, Jalan Sudirman Kota Manado. Kondisi simpang ini selalu ramai karena melayani arus lalu lintas cukup tinggi, terlebih pada jam jam sibuk terjadi kemacetan yang tidak dapat dihindari lagi. Metode peneltian ini menggunakan menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 untuk memperhitungkan kinerja lalu lintas tahun 2014 hingga 2019. Didapatkan berbagai nilai derajat kejenuhan (DS) tiap tahunnya, sehingga disimpulkan bahwa tahun 2015 simpang tidak mampu melayani lalu lintas pada jam puncak.

Rorong, dkk (2015) melakukan penelitian mengenai kinerja simpang tak bersinyal di Jalan S.Parman dan Jalan DI.Panjaitan. Pada kondisi lokasi simpang yang dilakukan penelitian terjadi kemacetan disebabkan oleh hambatan samping, tingginya populasi kendaraan yang tidak diimbangi dengan ketersediaan infrastruktur (prasarana) jalan yang memadai. Metode yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas (C) sebesar 2140 smp/jam, derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,958 yang menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum dalam MKJI 1997 yaitu $DS \leq 0,75$, tundaan (DT1) sebesar 13,28 det/smp, dan peluang antrian (DP%) batas atas sebesar 72,70% dan batas bawah sebesar 36,99 %. Dalam penelitian ini dilakukan alternatif dengan pemberian rambu lalu lintas dilarang parkir disisi jalan, perlunya direncanakan pembuatan lahan parkir yang strategis, dan perlu dilakukan peninjauan kembali pada simpang empat lengan tersebut.

Saputro, dkk (2017) melakukan penelitian mengenai kajian simpang tiga tidak bersinyal menjadi simpang bersinyal di Kariangau KM 5,5 Kelurahan Karang Joang Balikpapan Utara. Kondisi simpang ini terjadi konflik antara kendaraan yang berbeda dari setiap lajur jalan yang ada, baik asal maupun tujuan. Pada penelitian ini menggunakan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 2014 untuk menganalisis kinerja simpang dan pemodelan *software PTV VISSIM 9 Student Version* untuk simulasi lalu lintas, yang diharapkan dapat memberikan solusi untuk meningkatkan kinerja simpang dengan melakukan

perbaikan untuk melancarkan arus lalu lintas pada simpang. Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa arus lalu lintas rata-rata sebesar 5096 smp/jam, kapasitas (C) sebesar 2140 smp/jam, derajat kejenuhan (DS) sebesar 2,279 yang menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum dalam MKJI 1997 yaitu $DS \leq 0,75$, tundaan (DT1) sebesar 1.062 det/smp, dan peluang antrian (DP%) 252-649 %. Alternatif yang dapat digunakan, yaitu dengan memodelkan simpang bersinyal menggunakan MKJI didapatkan arus lalu lintas rata-rata sebesar 1248,2 smp/jam, kapasitas (C) sebesar 1527,4 smp/jam, derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,756 yang menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan telah memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum dalam MKJI 1997 yaitu $DS \leq 0,75$. Sedangkan saat di dimodelkan dalam *software PTV VISSIM 9 Student Version* dapat diketahui keefektivannya dari simpang tak bersinyal diubah menjadi simpang bersinyal.

Bukan hanya menggunakan metode MKJI 1997. Dua penelitian berikut menggunakan metode yang berbeda, yaitu Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014. Anusanto, dkk (2016) melakukan penelitian mengenai analisis kinerja dan manajemen pada simpang dengan derajat kejenuhan tinggi. Kondisi simpang ini merupakan tempat pertokoan, Universitas, permukiman, hiburan, dll. Pada jalan inpeksi Selokan Mataram dan Jalan Perumnas terjadi kemacetan dan konflik lalu lintas di jam sibuk akibat kendaraan ingin saling mendahului. Pada penelitian ini menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 untuk menganalisis kinerja simpang. Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa arus lalu lintas rata-rata sebesar 5096 smp/jam, kapasitas (C) sebesar 2804,25 skr/jam, derajat kejenuhan (Dj) sebesar 1,37 yang menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum dalam PKJI 1997, yaitu $Dj \leq 0,85$, tundaan (T) sebesar -233,84 detik/skr, dan peluang antrian (PA) 95-207 %. Alternatif yang digunakan untuk memecahkan permasalahan lalu lintas dengan perubahan geometrik jalan, pemasangan APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas), dan Manajemen Lalu Lintas. Dari ketiga alternatif dipilih alternatif terbaik yang menghasilkan kinerja simpang yang lebih baik, yaitu manajemen lalu lintas.

Intari, dkk (2019) melakukan penelitian mengenai analisis kajian simpang tiga tak bersinyal di simpang tiga Jalan Raya Serang Km 24. Volume lalu lintas yang tinggi, antrian yang panjang, serta belum berfungsinya sistem lalu lintas yang cukup baik pada simpang ini. Pada penelitian ini juga menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014. Hasil analisis penelitian ini kondisi eksisting menunjukkan bahwa kapasitas (C) sebesar 3393 skr/jam, derajat kejenuhan (Dj) sebesar 1,07 yang menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan belum memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum dalam PKJI 1997 yaitu $D_j \leq 0,85$, tundaan (T) sebesar 19 detik/skr, dan peluang antrian (PA) 46 - 92 %. Untuk tingkat pelayanan simpang, penelitian ini menggunakan persamaan yang didapatkan nilai LOS masuk kedalam tingkat F yang artinya arus lalu lintas macet, kecepatan rendah, terjadi antrian panjang dan hambatan besar. Alternatif yang diterapkan ada 2, yaitu alternatif 1 berupa pemberian Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) pada simpang, dan alternatif 2 berupa pemberian APILL disertai dengan pelebaran geometrik jalan. Alternatif yang dapat digunakan menggunakan alternatif kedua dengan nilai Dj telah sesuai syarat derajat kejenuhan maksimum.

Sriharyani, dkk (2017) melakukan analisa arus kendaraan terhadap kinerja simpang tak bersinyal dengan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 pada simpang tiga Pasar Punggur Lampung Tengah. Kendaraan yang melintas pada simpang ini terus bertambah seiring bertambahnya penduduk. Hal ini menimbulkan hambatan samping serta kurangnya lebar efektif badan jalan yang menyebabkan kemacetan, dan pada jam tertentu arus kendaraan cukup tinggi, sehingga menimbulkan antrian. Hasil analisis penelitian ini kondisi eksisting menunjukkan bahwa arus kendaraan tertinggi pada hari Rabu 24 Agustus 2016 pukul 14.00 – 15.00 WIB sebesar 1894 skr/jam, kapasitas (C) sebesar 2345 skr/jam, derajat kejenuhan (Dj) sebesar 0,81 yang menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan sudah memenuhi syarat derajat kejenuhan maksimum, tundaan (T) sebesar 13,96 detik/skr, dan peluang antrian (PA) 26 - 52 %.

Baafi, dkk (2018) melakukan penelitian pada studi kasus menggunakan pemodelan VISSIM di Ghana. Studi yang dilakukan berupa pengembangan

volume pada persimpangan mayor dan minor pada persimpangan T. Data volume lalu lintas didapatkan dari rekaman video. Hasilnya berupa kalibrasi menggunakan aliran masuk dari tiga pendekat dan tiga ukuran efektivitas, yaitu *delay*, panjang antrian maksimum, dan panjang antrian rata-rata aktif jalan kecil. Kalibrasi menggunakan tundaan menghasilkan keterlambatan rata-rata yang dihasilkan oleh lalu lintas jalan kecil sebesar 56 detik/kend. Setelah pemodelan dan 10 simulasi berjalan, penundaan rata-rata menjadi 50 detik. Kalibrasi menggunakan alur masuk menghasilkan simulasi dan entri bidang mengalir selama puncak jam pagi pada tiga pendekat. Kalibrasi dengan antrian maksimum dan rata-rata panjangnya menghasilkan panjang antrian yang telah disimulasikan, yaitu 125 m. Model persimpangan T menggunakan VISSIM telah berhasil dikalibrasi dan tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara bidang dan hasil simulasi.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Karakteristik Simpang

Setiap jaringan jalan tidak dapat dipisahkan dengan kata simpang baik jalan pedesaan maupun perkotaan. Simpang menghubungkan jalan mayor maupun jalan minor. Persimpangan yang sering ditemui yaitu simpang tiga ataupun simpang empat. Persimpangan adalah pertemuan dua atau lebih ruas jalan dapat berupa Simpang atau Simpang APILL atau Bundaran atau Simpang Tak Sebidang (Kementerian PU, 2014). Khisty, dkk (2005) menyebutkan bahwa simpang adalah dua jalan atau lebih bergabung atau bersimpangan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu lintas di dalamnya.

Dalam suatu sistem lalu lintas tidak lepas dari istilah persimpangan. Di setiap daerah dari perkotaan sampai semi perkotaan sering dijumpai adanya persimpangan. Persimpangan menjadi faktor penting penentu kapasitas dan waktu perjalanan. Simpang dapat diatur dengan memberi kanalisasi berupa marka atau pulau-pulau lalu lintas, sehingga dapat mempertegas arah pergerakan kendaraan. Morlok (1998) menjelaskan simpang berdasarkan cara pengaturannya dikelompokkan menjadi dua, yaitu simpang tak bersinyal dan simpang bersinyal.

a. Simpang tak bersinyal (*Unsignalized Intersection*)

Kementerian PU, (2014) menyebutkan bahwa simpang tak bersinyal merupakan pertemuan dua atau lebih ruas jalan sebidang yang tidak diatur oleh Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL). Pada umumnya simpang tak bersinyal sering digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas yang rendah.

b. Simpang bersinyal (*Signalized Intersection*)

Risdiyanto (2014) menyebutkan bahwa simpang bersinyal merupakan simpang yang diatur dengan lampu lalu lintas yang dimasuki arus kendaraan secara bergantian. Arus lalu lintas yang tinggi menyebabkan simpang tak bersinyal mengalami kepadatan lalu lintas. Simpang bersinyal merupakan simpang sebidang yang dilengkapi dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) untuk pengaturan lalu lintasnya (Kementerian PU, 2014). Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) digunakan dipersimpangan untuk mengatur arus lalu lintas yang terdiri dari tiga warna, yaitu hijau, kuning, dan merah.

2.2.2. Manajemen Lalu Lintas pada Simpang

Manajemen lalu lintas adalah suatu proses pengaturan dan penggunaan sistem jalan yang sudah ada dengan tujuan untuk memenuhi suatu tujuan tertentu tanpa perlu penambahan/pembuatan infrastruktur baru ditunjukkan oleh Fachrurrozy (dalam Risdiyanto, 2014). Permenhub (2006) menjelaskan bahwa manajemen dan rekayasa lalu lintas merupakan kegiatan yang dilakukan dengan tujuan untuk mengoptimalkan pengguna jaringan jalan, peningkatan keselamatan, ketertiban, dan kelancaran lalu lintas.

Strategi yang dapat dilakukan dalam manajemen lalu lintas diantaranya, manajemen kapasitas, manajemen prioritas, dan manajemen *demand* (*Transport Demand Management*). Manajemen Kebutuhan Transportasi (*Transport Demand Management*) adalah upaya untuk memperkecil jumlah perjalanan kendaraan pribadi (*push*) dan mendorong pengembangan pelayanan angkutan umum (*pull*), sebagai bagian dari kebijakan transportasi berkelanjutan (*sustainable transportation*), untuk mengurangi kemacetan lalu lintas perkotaan ditunjukkan oleh Majalah Teknik Jalan dan Transportasi (Risdiyanto, 2014).

Dalam setiap lalu lintas terdapat berbagai permasalahan, untuk itu dilakukan alternatif perencanaan manajemen lalu lintas guna memecahkan masalah lalu lintas. Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga 1997 dibutuhkan rekayasa dan manajemen lalu lintas untuk meningkatkan kinerja jalan sebagai berikut :

a. Penerapan Jalan Satu Arah

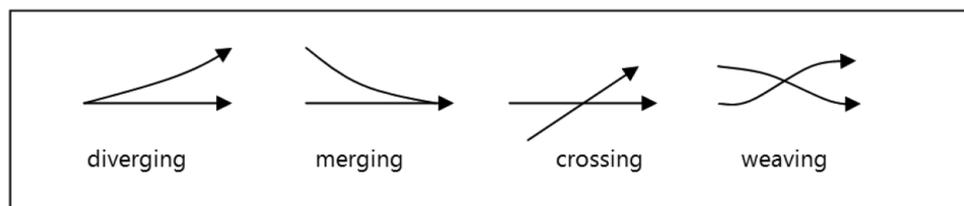
Sistem Satu Arah (SSA) ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas jalan dengan arus lalu lintas yang tinggi. Hal ini dapat meningkatkan kelancaran lalu lintas khususnya di wilayah perkotaan.

b. Pengaturan Simpang Bersinyal dengan Variasi Fase

Pengaturan dengan Variasi Fase ini dimaksudkan untuk dapat menerapkan pola fase yang paling efisien, sehingga meminimalisir terjadinya konflik.

c. Pengaturan Sistem Bagian Jalinan

Persimpangan dua atau lebih arus lalu lintas atau sering disebut jalinan (*weaving*) terjadi gerakan pada sistem bagian jalan seperti menyatu (*merging*), gerakan memotong (*crossing*), dan gerakan menyebah (*diverging*), yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jenis pergerakan kendaraan.

2.2.3. Analisis Kinerja Simpang Menggunakan PKJI 2014

Prosedur analisis kinerja simpang tak bersinyal menurut PKJI 2014 yang harus diperhatikan terkait dengan ketentuan-ketentuan teknis yang digunakan untuk menganalisis penelitian, sebagai berikut :

a. Data Masukan Lalu Lintas

Data masukan lalulintas merupakan data yang diperlukan untuk menganalisis simpang, yaitu diperlukan berupa tiga data sebagai berikut :

a) Data Geometrik Simpang

Data ini dilakukan dengan mencatat jumlah lajur dan arah, menentukan kode pendekat utara, kode pendekat timur, kode pendekat selatan, kode pendekat barat dan tipe pendekat, mengamati ada tidaknya median jalan, mengukur lebar pendekat baik dari jalan mayor maupun jalan minor, lebar lajur, lebar bahu, dan median jalan (jika ada), lebar masuk dan keluar pendekat. Dari hasil pengukuran dilapangan secara langsung, didapatkan data geometrik yang diperlukan untuk melakukan perhitungan kinerja lalu lintas berupa panjang jalan, lebar badan jalan, lebar bahu jalan (jika ada), lebar trotoar (jika ada), lebar median jalan (jika ada), jumlah lajur jalan mayor dan jalan minor, tipe simpang. Jalan mayor adalah jalan dengan tingkat kepentingannya tinggi pada suatu simpang, sedangkan jalan minor adalah jalan dengan tingkat kepentingan lebih rendah (Kementerian PU, 2014). Data geometrik disajikan dengan menggunakan sketsa geometrik jalan untuk lebih menjelaskan geometrik jalan yang ada.

b) Data Lalu Lintas

Data volume lalu lintas yang digunakan adalah volume lalu lintas total yang terjadi pada jam puncak (*peak hours*). Jam puncak ini merupakan jam tertinggi terjadinya arus volume lalulintas, yang diperoleh dari jumlah arus terbanyak pada waktu tertentu. Kementerian PU (2014) menyatakan bahwa volume lalu lintas total (q) adalah jumlah kendaraan yang masuk simpang dari semua arah dinyatakan dalam kend / hari atau skr / hari. Adapun jenis kendaraan yang melewati simpang di klasifikasikan menjadi lima kode, ditentukan berdasarkan jenis kendaraan dan tipikal kendaraan. Setiap jenis kendaraan mempunyai nilai ekivalen kendaraan ringan, yang digunakan untuk faktor koreksi untuk jenis kendaraan sedang, kendaraan berat, dan sepeda motor dibandingkan terhadap kendaraan ringan sehubungan dengan dampaknya terhadap kapasitas jalan (Kementerian PU, 2014). Klasifikasi kendaraan dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan nilai ekivalen (ekr) terdapat pada Tabel 2.1.

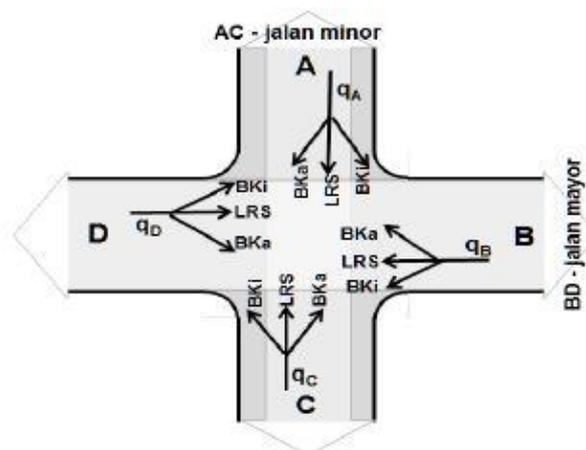
Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Kendaraan (Kementerian PU, 2014)

Kode	Jenis Kendaraan	Tipikal Kendaraan
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

Tabel 2.2 Tabel Nilai Ekuivalen Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Nilai Ekuivalen
KR	1,0
KS	1,3
SM	0,5

Seperti halnya pada geometrik jalan, dalam suatu lalu lintas untuk menjelaskan arus yang terjadi, dibuatlah sketsa arus lalu lintas seperti yang ada pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Variabel arus lalu lintas.

Dari variabel arus lalu lintas diatas, dilakukan perhitungan nilai arus jalan minor total (q_{mi}) pada persamaan 2.1 dan nilai arus jalan mayor total (q_{ma}) pada persamaan 2.2.

1. Arus jalan minor total (q_{mi}) :

$$q_{mi} = q_A + q_C \text{ (skr/jam)} \quad (2.1)$$

2. Arus jalan mayor total (q_{ma}) :

$$q_{ma} = q_B + q_D \text{ (skr/jam)} \quad (2.2)$$

Keterangan :

q_A = arus dari pendekat A

q_C = arus dari pendekat C

q_B = arus dari pendekat B

q_D = arus dari pendekat D

Setelah menghitung nilai (q_{mi}) dan nilai (q_{ma}), lalu dilakukan penjumlahan arus jalan minor (q_{mi}) dan arus jalan mayor (q_{ma}) untuk masing-masing pergerakan yaitu arus total belok kiri, arus total lurus, dan arus total belok kanan, dijelaskan dalam persamaan 2.3, persamaan 2.4, persamaan 2.5. Selanjutnya untuk mencari arus total simpang, dilakukan penjumlahan pada nilai arus total belok kiri, arus total lurus, arus total belok kiri tersebut, terdapat pada persamaan 2.6.

1. Arus total belok kiri :

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

2. Arus total lurus :

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

3. Arus total belok kanan :

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

4. Arus total :

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

Rasio arus jalan minor adalah perbandingan antara arus lalu lintas pada jalan minor terhadap arus lalu lintas total simpang , dijelaskan pada persamaan 2.7. Sedangkan rasio arus total belok kiri merupakan perbandingan antara arus total belok kiri terhadap arus lalu lintas total simpang, dan rasio arus total belok kanan merupakan perbandingan antara

arus total belok kanan terhadap arus lalu lintas total simpang, yang keduanya dijelaskan pada persamaan 2.8 dan persamaan 2.9. Adapun perhitungan terakhir dalam data lalu lintas, yaitu menghitung rasio kendaraan tak bermotor yaitu perbandingan antara arus lalu lintas kendaraan tak bermotor dengan arus lalu lintas total simpang yang dijelaskan pada persamaan 2.10.

1. Rasio arus jalan minor :

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

2. Rasio arus total belok kiri :

$$R_{BKl} = \frac{q_{T.BKl}}{q_{TOT}} \quad (2.8)$$

3. Rasio arus total belok kanan :

$$R_{BKk} = \frac{q_{T.BKk}}{q_{TOT}} \quad (2.9)$$

4. Rasio kendaraan tak bermotor :

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

c) Data Kondisi Lingkungan Simpang

Parameter kondisi lingkungan simpang yaitu ukuran kota dan gabungan dari tipe lingkungan, hambatan samping, dan kendaraan tak bermotor. Pengelompokan ukuran kota di tetapkan menjadi lima berdasarkan kriteria populasi penduduk. Pengelompokan tipe lingkungan jalan ditetapkan menjadi tiga, yaitu komersiil, permukiman dan akses terbatas, yang didasarkan pada penilaian teknis dengan kriteria yang telah diuraikan. Sedangkan pengelompokan hambatan samping ditetapkan menjadi tiga, yaitu tinggi, sedang rendah, dan dengan kriteria yang menunjukkan pengaruh aktivitas simpang terhadap arus lalu lintas yang berangkat dari pendekat.

b. Kapasitas Simpang (C)

Munawar, (2006) menyebutkan bahwa kapasitas merupakan jumlah maksimum kendaraan yang melewati suatu pesimpangan atau ruas jalan selama waktu tertentu pada kondisi jalan dan lalu lintas dengan tingkat kepadatan yang ditetapkan. Kapasitas (C) merupakan arus lalu lintas total maksimum yang masuk ke simpang dan dipertahakan selama waktu paling sedikit satu jam dalam

kondisi cuaca maupun geometrik yang ada pada saat itu (eksisting), dalam satuan kend/jam atau skr/jam (Kementerian PU, 2014). Kapasitas merupakan ukuran kinerja (*performance*), pada kondisi yang bervariasi, dapat diterapkan pada kondisi tertentu atau pada suatu jaringan jalan yang sangat kompleks (Hobbs, 1995). Kapasitas total seluruh lengan simpang merupakan perkalian dari kapasitas dasar (C_0) sebagai kapasitas kondisi tertentu dengan faktor-faktor penyesuaian (F) untuk memperhitungkan kondisi lapangan terhadap kapasitas (Kementerian PU, 2014). Kapasitas simpang tak bersinyal dapat dihitung dengan 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

a) Kapasitas Dasar (C_0)

Kapasitas Dasar (C_0) merupakan arus lalu lintas total maksimum yang masuk ke simpang yang dapat dipertahankan selama waktu paling sedikit satu jam dalam kondisi cuaca dan geometrik yang baku, dalam satuan kend/jam atau skr/jam (Kementerian PU, 2014). Nilai C_0 dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan gambar tipe simpang terdapat pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.3 Kapasitas Dasar Simpang 3 dan Simpang 4

Tipe Simpang	C_0 , skr/jam
322	2700
324 atau 244	3200
422	2900
424 atau 444	3400

Tabel 2.4 Gambar Tipe Simpang

Tipe Simpang	Gambar Tipe Simpang
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)	

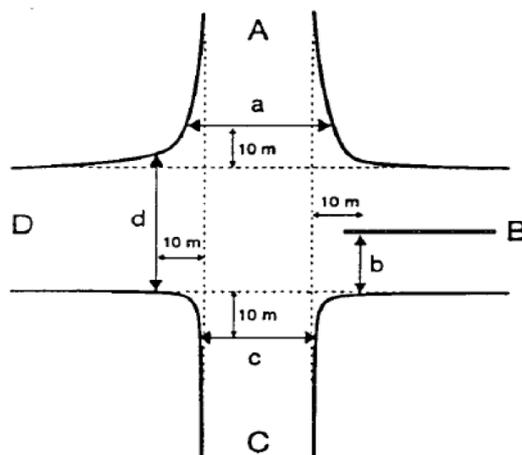
Tabel 2.5 Lanjutan Gambar Tipe Simpang

Tipe Simpang	Gambar Tipe 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)	

b) Lebar Pendekat dan Tipe Simpang

Dalam perhitungan pada geometrik simpang terdapat istilah lebar pendekat (L_p) dan tipe simpang. Lebar pendekat (L_p) adalah lebar dari bagian pendekat yang diperkeras, diukur di bagian tersempit atau diukur

pada jarak 10 m dari garis batas pertemuan dua lengan simpang, yang digunakan oleh lalu lintas yang bergerak masuk simpang (Kementerian PU, 2014). Apabila lengan simpang tersebut terdapat dua arus lalu lintas, lebar pendekat (L_p) berupa lebar lengan simpang dibagi dua. Penetapan jumlah lajur dapat dilihat pada Gambar 2.3. Sedangkan lebar rata – rata pendekat dapat dicari dengan Tabel 2.6.



Gambar 2.3 Penetapan jumlah lajur.

Tabel 2.6 Perhitungan Lebar Rata – rata Pendekat

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

Kementerian PU (2014) juga menjelaskan bahwa tipe simpang merupakan pengelompokan simpang berdasarkan jumlah lengan simpang, konfigurasi jumlah lajur jalan minor, dan jumlah lajur jalan mayor. Kode tipe simpang terdiri dari tiga angka, angka pertama menunjukkan jumlah lengan, angka kedua menunjukkan jumlah lajur jalan minor, dan angka ketiga menunjukkan jumlah lajur jalan mayor. Penetapan tipe simpang dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kode 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

Dalam lebar pendekat terdapat istilah lebar pendekat rata-rata simpang (L_{RP}), yang dicari dengan penjumlahan lebar pendekat rata-rata jalan minor dengan lebar pendekat rata-rata jalan mayor yang selanjutnya dibagi dua. Untuk perhitungan lebar pendekat rata-rata jalan minor dengan menjumlahkan masing-masing lengan simpang di jalan minor selanjutnya dibagi dua dan perhitungan tersebut sama halnya dengan lebar pendekat rata-rata jalan mayor.

Setelah mendapatkan faktor koreksi lebar pendekat (L_{RP}), dilakukan perhitungan faktor koreksi lebar pendekat (F_{LP}), yaitu faktor koreksi nilai kapasitas dasar sehubungan dengan ketidak-bakuan lebar rata-rata pendekat-pendekat simpang (Kementerian PU, 2014). Nilai F_{LP} dapat dicari dengan persamaan 2.12, persamaan 2.13, persamaan 2.14, dan persamaan 2.15.

$$a) \quad \text{Tipe simpang 422 : } F_{LP} = 0,70 + 0,866L_{RP} \quad (2.12)$$

$$b) \quad \text{Tipe simpang 424 dan 444 : } F_{LP} = 0,62 + 0,0740L_{RP} \quad (2.13)$$

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

$$d) \quad \text{Tipe simpang 324 dan 344 : } F_{LP} = 0,62 + 0,0646L_{RP} \quad (2.15)$$

c) Faktor Koreksi Tipe Median (F_M)

Faktor Koreksi Tipe Median (F_M) merupakan faktor koreksi nilai kapasitas dasar dilihat dari ada tidaknya median serta tipe median itu sendiri (Kementerian PU, 2014). Berikut faktor koreksi median (F_M) pada jalan mayor ditunjukkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor Koreksi Median, F_M

Kondisi Simpang	Tipe Median	Faktor Koreksi, F_M
Tidak ada median di jalan mayor	Tidak ada	1.00
Ada median di jalan mayor dengan lebar < 3 m	Median sempit	1.05
Ada median di jalan mayor dengan lebar \leq 3 m	Median lebar	1.20

d) Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Ukuran kota dan faktor koreksi ukuran kota (F_{UK}) ditentukan berdasarkan populasi penduduk dalam juta jiwa. Klasifikasi ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Klasifikasi Ukuran Kota dan Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Ukuran Kota	Populasi penduduk, juta jiwa	(F_{UK})
Sangat Kecil	< 0.1	0.82
Kecil	0.1 – 0.5	0.88
Sedang	0.5 – 1.0	0.94
Besar	1.0 – 3.0	1.00
Sangat besar	> 3.0	1.05

e) Faktor Koreksi Hambatan Samping (F_{HS})

Kementerian PU, (2014) menyatakan bahwa Faktor Koreksi Hambatan Samping (F_{HS}) merupakan faktor koreksi nilai kapasitas dasar akibat tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan arus kendaraan tak bermotor. Dalam menentukan Faktor Koreksi Hambatan Samping (F_{HS}), terlebih dahulu menetapkan Tipe Lingkungan Jalan dapat dilihat pada Tabel 2.10 dan Kriteria Hambatan Samping berdasarkan jenis hambatan samping terdapat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.10 Tipe Lingkungan Jalan

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

Tabel 2.11 Kriteria Hambatan Samping

Hambatan Samping	Kriteria
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 disepanjang atau melintas pendekat, kendaraan keluar-masuk samping pendekat.

Tabel 2.12 Lanjutan Kriteria Hambatan Samping

Hambatan Samping	Kriteria
Sedang	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang sedikit terganggu dan sedikit berkurang akibat aktivitas simpang jalan di sepanjang pendekat.
Rendah	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang tidak terganggu dan tidak berkurang oleh hambatan samping.

Kementerian PU, (2014) menyatakan bahwa hambatan samping (F_{HS}) adalah interaksi antara arus kendaraan-kendaraan dan kegiatan simpang simpang jalan yang mengakibatkan turunnya kapasitas jalan pada pendekat yang bersangkutan. Rasio kendaraan tak bermotor (R_{KTb}) adalah perbandingan arus kendaraan tak bermotor terhadap jumlah arus kendaraan bermotor dan kendaraan tak bermotor. (Kementerian PU, 2014). Untuk mencari nilai faktor hambatan samping (F_{HS}), ditentukan pada Tabel 2.13. dan Tabel 2.14.

Tabel 2.13 F_{HS} dari Tipe Lingkungan Jalan, HS dan R_{KTb}

Tipe Lingkungan Jalan	HS	F_{HS}					
		R_{KTb} : 0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	\leq 0,25
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

Tabel 2.14 Lanjutan F_{HS} dari Tipe Lingkungan Jalan, HS dan R_{KTB}

Tipe Lingkungan Jalan	HS	R_{KTB}	F_{HS}					\leq 0,25
			0,05	0,10	0,15	0,20		
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	0,77	0,74	
Akses terbatas	Tinggi/ Sedang/ Rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	

f) Faktor Koreksi Arus Belok Kiri (F_{BK_i}).

Kementerian PU, (2014) menyatakan bahwa faktor koreksi arus belok kiri (F_{BK_i}) merupakan faktor koreksi nilai kapasitas dasar yang diakibatkan oleh adanya arus lalu lintas yang belok ke kiri. Nilai F_{BK_i} dapat dicari dengan persamaan 2.16 atau dengan menggunakan diagram faktor koreksi arus belok kiri (F_{BK_i}).

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

g) Faktor Koreksi Arus Belok Kanan (F_{BK_a}).

Kementrian PU, (2014) menyatakan bahwa faktor koreksi arus belok kanan (F_{BK_a}) merupakan faktor koreksi nilai kapasitas dasar yang diakibatkan oleh adanya arus lalulintas yang belok ke kanan. Nilai F_{BK_a} dapat dicari dengan persamaan 2.17 dan persamaan 2.18.

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

$$\text{Untuk simpang 3 : } F_{BK_a} = 0,90 - 0,922 R_{BK_a} \quad (2.18)$$

h) Faktor Koreksi Rasio Arus Jalan Minor ($F_{R_{mi}}$)

Kementerian PU, (2014) menyatakan bahwa faktor koreksi rasio arus jalan minor ($F_{R_{mi}}$) merupakan Untuk mencari nilai ($F_{R_{mi}}$) parameter yang digunakan berupa tipe simpang dan nilai R_{Mi} . Seperti yang terdapat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Faktor Koreksi Rasio Arus Jalan Minor (F_{Mi})

Tipe	F_{Mi}	R_{Mi}
Simpang		
422	$1,19 \times R_{Mi^2} - 1,19 \times R_{Mi} + 1,19$	0,1 – 0,9
424 & 444	$1,66 \times R_{Mi^4} - 33,3 \times R_{Mi^3} + 25,3 \times R_{Mi^2} - 8,6 \times R_{Mi} + 1,95$	0,1 – 0,3
	$1,11 \times R_{Mi^2} - 1,11 \times R_{Mi} + 1,11$	0,3 – 0,9
322	$1,19 \times R_{Mi^2} - 1,19 \times R_{Mi} + 1,19$	0,1 – 0,5
	$-0,595 \times R_{Mi^2} + 0,595 \times R_{Mi} + 0,74$	0,5 – 0,9
324 & 244	$16,6 \times R_{Mi^4} - 33,3 \times R_{Mi^3} + 25,3 \times R_{Mi^2} - 8,6 \times R_{Mi} + 1,95$	0,1 – 0,3
	$1,11 \times R_{Mi^2} - 1,11 \times R_{Mi} + 1,11$	0,3 – 0,5
	$-0,595 \times R_{Mi^2} + 0,555 \times R_{Mi} + 0,69$	0,5 – 0,9

c. Kinerja Arus Lalu Lintas

Dalam suatu persimpangan, kinerja lalu lintas merupakan hal yang sangat berpengaruh terhadap sistem jaringan jalan. Tamin (2008) menyatakan bahwa kinerja persimpangan yang sangat rendah menyebabkan kinerja seluruh sistem jaringan jalan akan menjadi rendah pula. Kinerja lalu lintas simpang ditentukan dengan tiga parameter kinerja yaitu sebagai berikut :

a) Derajat Kejenuhan (D_j)

Derajat Kejenuhan (D_j) adalah semua arus lalu lintas yang masuk simpang dalam satuan skr/jam dibagi dengan kapasitas simpang itu sendiri dalam satuan skr/jam (Kementerian PU, 2014). Oleh karena itu nilai derajat kejenuhan (D_j) tidak memiliki satuan. Simpang yang mempunyai tingkat kinerja lebih baik yaitu simpang yang memiliki nilai derajat kejenuhan tidak lebih dari 0,85 pada jam puncak tahun rencana. Apabila nilai derajat kejenuhan lebih besar dari 0,85 maka kinerja simpang dalam melayani lalu lintas tersebut masih buruk, untuk itu perlu dilakukan upaya perbaikan baik

berupa perubahan desain geometriknya maupun manajemen lalu lintas. Derajat kejenuhan merupakan rasio arus lalu lintas total terhadap kapasitas. Nilai Derajat Kejenuhan (D_J) dapat dicari dengan persamaan 2.19.

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

Keterangan :

D_J = Derajat kejenuhan

q = Arus lalu lintas total yang masuk simpang (skr/jam)

C = Kapasitas (skr/jam)

b) Tundaan (T)

Kementerian PU, (2014) menyatakan bahwa tundaan (T) adalah waktu tempuh tambahan yang digunakan pengemudi untuk melalui suatu simpang apabila dibandingkan dengan lintasan tanpa simpang, dalam satuan detik/skr. Semakin besar nilai tundaan, maka semakin banyak waktu tempuh tambahan yang diperlukan pengemudi untuk mencapai tempat tujuan. Nilai tundaan (T) secara umum dapat dicari dengan persamaan 2.22.

$$T = T_{LL} + T_G \text{ (detik/skr)} \quad (2.20)$$

Keterangan :

T_{LL} = Tundaan Lalu Lintas (detik/skr)

T_G = Tundaan Geometrik (detik/skr)

Tundaan (T) diklasifikasikan menjadi dua yaitu Tundaan Lalu Lintas (T_{LL}) dan Tundaan Geometrik (T_G). Berikut pengertian dari klasifikasi tundaan (T) tersebut :

1. Tundaan Lalu Lintas Simpang (T_{LL})

Maksud dari tundaan lalu lintas simpang (T_{LL}) adalah waktu menunggu yang disebabkan oleh interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas berlawanan (Kementerian PU, 2014). T_{LL} dengan kata lain tundaan yang disebabkan oleh adanya interaksi antara kendaraan dalam arus lalu lintas. Nilai T_{LL} dalam satuan (detik/skr), yang dapat dicari dengan persamaan 2.23 dan persamaan 2.24.

$$\text{Untuk } D_J \leq 0,60 : T_{LL} = 2 + 8,2078 D_J - (1 - D_J)^2 \quad (2.21)$$

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

1) Tundaan Lalu Lintas Mayor (T_{LLma})

Kementrian PU, (2014) menyatakan bahwa tundaan lalu lintas mayor (T_{LLma}) adalah tundaan lalu lintas rata-rata semua kendaraan bermotor yang melewati di jalan mayor dan masuk dalam simpang. Nilai T_{LLma} dengan satuan (detik/skr), yang dapat dicari dengan persamaan 2.25 dan persamaan 2.26.

Untuk $D_j \leq 0,60$:

$$T_{LLma} = 1,8000 + 5,8234 D_j - (1 - D_j)^{1,8} \quad (2.23)$$

Untuk $D_j > 0,60$:

$$T_{LLma} = \frac{1,0503}{(0,3460 - 0,2460 D_j)} - (1 - D_j)^2 \quad (2.24)$$

2) Tundaan Lalu Lintas Minor (T_{LLmi})

Kementrian PU, (2014) menyatakan bahwa tundaan lalu lintas minor (T_{LLmi}) adalah tundaan lalu lintas rata-rata semua kendaraan bermotor yang melewati di jalan minor dan masuk dalam simpang. Nilai T_{LLmi} dapat dicari dengan persamaan 2.27.

$$T_{LLmi} = \frac{q_{TOT} \times T_{LL} - q_{ma} \times T_{LLma}}{q_{mi}} \quad (\text{detik/skr}) \quad (2.25)$$

Keterangan :

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

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

2. Tundaan Geometrik Simpang (T_G)

Tundaan geometrik (T_G) adalah waktu tambahan perjalanan yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok di Simpang (Kementrian PU, 2014) Untuk mencari nilai T_G dengan persamaan 2.28 dan persamaan 2.29.

Untuk $D_j < 1$: $T_G =$

$$(1 - D_j) \times \{6R_B + 3(1 - R_B)\} + 4D_j \quad (\text{detik/skr}) \quad (2.26)$$

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

Keterangan :

T_G = Tundaan geometrik (detik/skr)

D_j = Derajat kejenuhan

R_B = Rasio arus belok terhadap arus total simpang

c) Peluang Antrian (P_A)

Peluang antrian pada simpang merupakan kemungkinan terjadinya antrian pada suatu simpang, yang dinyatakan dalam rentang kemungkinan (%). Peluang antrian terdiri dari batas atas peluang antrian dan batas bawah peluang antrian. Untuk mencari nilai peluang digunakan persamaan 2.30 dan persamaan 2.31.

$$\text{Batas atas } P_A = 47,71D_J - 24,68D_J^2 + 56,47D_J^3 \quad (2.28)$$

$$\text{Batas bawah } P_A = 9,02D_J - 20,66D_J^2 + 10,49D_J^3 \quad (2.29)$$

Keterangan :

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

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

d) Penilaian Kinerja

Untuk mencapai kinerja simpang yang baik, maka perlu dilakukan terhadap analisis simpang dengan penilaian kinerja simpang. Kementerian PU, (2014) menjelaskan cara melakukan penilaian kinerja dengan melihat nilai derajat kejenuhan, yaitu ($D_J \leq 0,85$). Jika nilai D_J yang diperoleh terlalu tinggi (misal $> 0,85$), maka perlu dilakukan perubahan desain ulang yang berkaitan dengan lebar pendekat dan membuat perhitungan baru. Hal itu dilakukan agar meningkatkan pelayanan simpang, utamanya dengan penambahan lebar rata-rata pendekat atau manajemen lalu lintas yang lain untuk memungkinkan arus lalu lintas masuk simpang berkurang. Besarnya nilai D_J mempengaruhi nilai T dan P_A . Nilai T ini dapat digunakan untuk menganalisis biaya manfaat akibat kehilangan nilai waktu. Sedangkan nilai P_A digunakan untuk mengevaluasi desain geometrik terkait 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 (Kementerian PU, 2014).

2.3. Simulasi dengan *Software* PTV VISSIM 9 *Student Version*

Terdapat banyak *software* yang digunakan untuk mensimulasikan lalu lintas, salah satunya yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *software* PTV VISSIM 9 *Student Version* yang merupakan program bantu yang digunakan untuk menentukan skala mikroskopik dan biasanya digunakan untuk analisis simulasi lalu lintas yang bersifat detail dan rinci (Saputro, 2018). VISSIM dapat di definisikan pula sebagai *software* simulasi yang digunakan oleh professional untuk membuat simulasi dari skenario lalu lintas yang dinamis sebelum membuat perencanaan dalam bentuk nyata (Hormansyah dkk, 2016). PTV VISSIM 9 *Student Version* dikembangkan oleh PTV (*Planning Transportasi Verkehr AG*) di Karlsruhe, Jerman. Haryadi, dkk (2017) menyatakan bahwa PTV VISSIM 9 *Student Version* digunakan untuk menganalisa operasi lalu lintas dengan batasan konfigurasi garis jalan, komposisi lalu lintas, tempat pemberhentian, sehingga *software* ini diperlukan perencanaan alternatif rekayasa lalu lintas yang seefektif mungkin. Dalam *software* PTV VISSIM 9 *Student Version* menyediakan animasi 3D yang didalamnya terdapat simulasi jenis kendaraan seperti motor, mobil penumpang, truk, dll. *Software* ini dilengkapi dengan klip video yang direkam dalam program. Elemen lain yang ada di *software* ini antara lain bangunan, pohon, fasilitas transit, dan rambu lalu lintas.

Adapun data yang harus dipersiapkan untuk dimasukkan dalam pemodelan PTV VISSIM 9 *Student Version* berupa :

- a. Peta satelit lokasi penelitian.

Peta ini berupa gambar yang digunakan sebagai *background* pemodelan. Istilah dalam PTV VISSIM 9 *Student Version* lebih tepatnya dimasukkan pada menu *Background Image*.

- b. Nama jalan, jumlah lajur, dan lebar jalan.

Untuk membuat jaringan jalan, data yang dimasukkan berupa data geometrik jalan, yaitu nama jalan (sesuai lokasi penelitian), jumlah lajur, dan lebar jalan. Untuk membuat jaringan jalan meliputi pembuatan *Links* dan *Connectors* sesuai dengan kondisi jalan.

c. Jenis Kendaraan

Jenis kendaraan yang dimasukkan dalam *PTV VISSIM 9 Student Version* berdasarkan jenis kendaraan yang telah ditentukan dalam PKJI 2014 yaitu KR (Kendaraan Ringan), KS (Kendaraan Sedang), SM (Sepeda Motor), dan KTB (Kendaraan Tak Bermotor). Adapun dalam memasukkan jenis kendaraan, terlebih dahulu memilih tipikal kendaraan yang telah disajikan dalam bentuk gambar kendaraan dengan 2D/3D model.

d. Kecepatan Kendaraan

Kecepatan kendaraan yang dimasukkan dalam *PTV VISSIM 9 Student Version* ini berdasarkan pengamatan yang terjadi di lapangan. Kecepatan kendaraan yang dimasukkan berupa kecepatan minimum dan kecepatan maksimum, dengan masing-masing jenis kendaraan memiliki kecepatan yang berbeda-beda.

e. Volume Arus Lalu Lintas

Volume arus lalu lintas yang dimasukkan dalam *PTV VISSIM 9 Student Version* ini berdasarkan dari data lalu lintas. Data yang dimasukkan berupa total volume arus lalu lintas setiap jenis kendaraan untuk masing-masing lengan dengan arah belok kiri, lurus, dan belok kanan.

Dalam *PTV VISSIM 9 Student Version* terdapat istilah *node result* yaitu perintah untuk menampilkan data hasil simulasi kendaraan. Parameter yang didapatkan dari *node result* yaitu sebagai berikut :

- 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 di sebut tingkat pelayanan. Tingkat pelayanan adalah ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas (Permenhub, 2015). Morlok (1995) menyebutkan bahwa tingkat pelayanan ditentukan dengan skala

interval yang terdiri dari 6 tingkat, yaitu meliputi huruf A, B, C, D, E, dan F, dengan A merupakan tingkat pelayanan tertinggi dan F merupakan tingkat pelayanan terendah. Kriteria tingkat pelayanan simpang tak bersinyal ditunjukkan pada Tabel 2.16 dan karakteristik tingkat pelayanan ditunjukkan pada Tabel 2.17 dan Tabel 2.18.

Tabel 2.16 Kriteria Tingkat Pelayanan Simpang Tak Bersinyal

<i>Level of Service (LOS)</i>	<i>Average Control Delay (second / vehicle)</i>
A	< 5
B	5 -15
C	15 – 25
D	25 – 40
E	40 – 60
F	> 60

Sumber : Peraturan Menteri Nomor 96, (2015)

Tabel 2.17 Karakteristik-karakteristik Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan	Karakteristik
A	Arus bebas dengan volume lalu lintas rendah dan kecepatan sekurang-kurangnya 80 km/jam, kepadatan lalu lintas sangat rendah, pengemudi dapat mempertahankan kecepatan yang diinginkannya tanpa atau dengan sedikit tundaan.
B	Arus stabil dengan volume lalu lintas sedang dan kecepatan sekurang-kurangnya 70 km/jam, kepadatan lalu lintas rendah hambatan internal lalu lintas belum mempengaruhi kecepatan, pengemudi masih punya cukup kebebasan untuk memilih kecepatannya dan lajur jalan yang digunakan.

Tabel 2.18 Lanjutan Karakteristik-karakteristik Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan	Karakteristik
C	Arus stabil tetapi pergerakan kendaraan dikendalikan oleh volume lalu lintas yang lebih tinggi dengan kecepatan sekurang-kurangnya 60 km/jam, kepadatan lalu lintas sedang karena hambatan internal lalu lintas meningkat, pengemudi memiliki keterbatasan untuk memilih kecepatan pindah lajur maupun mendahului.
D	Arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas tinggi dan kecepatan sekurang-kurangnya 50 km/jam, masih ditolerir namun sangat terpengaruh oleh perubahan kondisi arus, kepadatan lalu lintas sedang namun fluktuasi volume lalu lintas dan hambatan temporer dapat menyebabkan penurunan kecepatan yang besar, pengemudi memiliki kebebasan yang terbatas dalam menjalankan kendaraan sehingga kenyamanan rendah tetapi kondisi ini dapat ditolerir untuk waktu yang singkat
E	Arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas mendekati kapasitas jalan dan kecepatan sekurang-kurangnya 30 km/jam pada jalan antar kota dan sekurang-kurangnya 10 km/jam pada jalan perkotaan.
F	Arus bertahan dan terjadi antrian kendaraan yang panjang dengan kecepatan kurang dari 30 km/jam, kepadatan lalu lintas sangat tinggi dan volume rendah serta terjadi kemacetan untuk durasi yang cukup lama, dalam keadaan antrian membuat kecepatan maupun volume turun sampai 0 (nol).

Sumber : Peraturan Menteri Nomor 96, (2015)

- 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, dimana 1 merupakan tingkat pelayanan tertinggi dan 6 merupakan tingkat pelayanan terendah.
- 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 Carbon Dioksida yang terbang, dalam satuan gram.
- n. *Emissions NOx*, yaitu jumlah Nitrogen Oksida yang terbang, dalam satuan gram.
- o. *Emissions VOC*, yaitu jumlah *volatile organic compounds* yang terbang, gram.
- p. *FuelConsumption*, yaitu jumlah bahan bakar yang terbang, dalam satuan US Galoon.

2.4. Emisi Gas Buang Kendaraan

Adanya kehidupan ini, udara bersih menjadi hal yang penting untuk keberadaan makhluk hidup. Udara yang bersih dan segar adalah udara yang tidak tercemar oleh zat pencemar. Zat pencemar inilah yang mengakibatkan terjadinya polusi udara. Pada era sekarang ini, sangat sulit menemui udara yang benar-benar bersih, bebas polusi. Adapun yang terjadi di kota-kota besar semakin banyak pengembangan perkotaan, pembangunan sektor industri, pembangunan sektor pertambangan, dll. Adanya pertumbuhan pengembangan perkotaan ini menyebabkan pertumbuhan ekonomi pula yang dapat mengubah perilaku hidup seseorang untuk membeli kendaraan pribadi. Kondisi ini yang menyebabkan semakin meningkatnya pula transportasi di perkotaan. Adanya pertumbuhan transportasi yang tidak terkontrol menyebabkan sulit ditemuinya udara yang bersih dan segar, karena kualitas udara mengalami pencemaran. Pencemaran udara adalah masuknya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat

memenuhi fungsinya (UU No 41 Tahun 1999 pasal 1). Pencemaran udara dapat disebabkan oleh banyak hal, salah satunya pertumbuhan kendaraan sangat memicu terjadinya emisi gas buang kendaraan yang lama kelamaan akan meningkatkan polusi udara. (Kementerian PU, 2014) menjelaskan bahwa emisi gas buang kendaraan dan atau kebisingan bertambah akibat adanya percepatan atau perlambatan kendaraan, juga akibat pemberhentian kendaraan. Oleh karena itu apabila dalam suatu simpang terjadi tundaan yang panjang, diberlakukan larangan kendaraan berhenti disekitar simpang agar mengurangi gas buang kendaraan serta kebisingan. Novitriana, dkk (2017) menyatakan bahwa terdapat komponen polusi udara yang dihasilkan dari emisi gas buang kendaraan, yaitu karbon monoksida (CO), oksida sulfur (SO_x), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), partikel (PM₁₀) dan timah (Pb). Polusi udara yang diakibatkan oleh emisi gas buang kendaraan yang berlebihan hingga melampaui ambang batas dapat menyebabkan dampak buruk, baik untuk lingkungan, tumbuhan, hewan, bahkan manusia sendiri. Ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang diperbolehkan masuk atau dimasukkan kedalam udara ambien (UU No 41 Tahun 1999 pasal 1). Dampak buruk polusi udara bagi manusia, yaitu dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, seperti penyakit yang menyerang pernapasan hingga kerusakan organ dalam. Upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk penanggulangan pencemaran udara yang diakibatkan oleh emisi gas buang kendaraan berupa pengawasan terhadap penaatan ambang batas emisi gas buang, pemeriksaan emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru maupun kendaraan tipe lama, serta pengadaan bahan bakar minyak bebas timah hitam dan solar berkadar belerang rendah sesuai Standar Internasional (UU No 41 Tahun 1999 pasal 31). Adapun baku mutu udara wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta menurut Keputusan Gubernur DIY tahun 2002 dapat dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19 Baku Mutu Udara Provinsi DIY

No	Polutan	Waktu Pengamatan	Baku Mutu	
			ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	Sulfur Dioksida (SO_2)	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_2)	1 jam	0,212	400
		24 jam	0,08	150
4	Oksidan (O_3)	1 jam	0,12	235
		24 jam	0,08	157
5	Hidro Karbon (HC)	3 jam	-	160
6	Partikel diameter < 10 mikron (PM_{10})	24 jam	-	150
7	Partikel diameter < 2,5 mikron ($\text{PM}_{2,5}$)	24 jam	-	65