

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Simpang adalah titik bertemunya arus kendaraan dari beberapa ruas jalan yang berbeda, simpang memiliki fungsi sebagai tempat kendaraan melakukan perubahan arah pergerakan lalu lintas. Tingkat pergerakan yang beragam dari berbagai jenis kendaraan dapat mengakibatkan antrian yang cukup besar sehingga waktu dan biaya perjalanan akan menjadi lebih tinggi. Persimpangan dapat bervariasi dari persimpangan sederhana yang terdiri dari pertemuan dua ruas jalan hingga persimpangan kompleks yang terdiri dari pertemuan beberapa ruas jalan. Dengan terjadinya pertemuan berbagai arus kendaraan tersebut, tentunya akan terjadi berbagai konflik arus lalu lintas kendaraan dan resiko terjadinya kecelakaan akan meningkat

Kemacetan lalu lintas, terutama yang terjadi di daerah perkotaan adalah peristiwa yang umum dialami, yang menimbulkan dampak negatif (eksternalitas negatif). Kemacetan lalu lintas tidak mungkin dielakkan dalam setiap hari kerja di kota-kota besar. Eksternalitas negatif lainnya adalah pencemaran (polusi) udara dan kebisingan suara kendaraan bermotor.

Salah satu penyebab kemacetan lalu lintas adalah terdapatnya persimpangan jalan. Pada umumnya, kemacetan lalu lintas kendaraan bermotor di daerah perkotaan disebabkan karena jumlah kendaraan bermotor (mobil dan sepeda motor) meningkat dari tahun ke tahun dengan tingkat pertumbuhan yang sangat tinggi. Kendaraan mobil penumpang seperti sedan dan mikrolet meningkat dengan laju pertumbuhan sekitar 15 persen per tahun, sepeda motor bertambah sekitar 30 persen, sedangkan pembangunan prasarana jalan baru di daerah perkotaan boleh dikatakan tingkat pertumbuhannya sangat rendah atau tidak mengalami penambahan.

Kemacetan yang terjadi di kota-kota besar merupakan hal biasa, kemacetan merupakan pemandangan yang tak mungkin dihindari pada setiap hari kerja. Disamping kemacetan yang menjemukan, polusi udara yang melelahkan, tak terhindarkan pula, habisnya bahan bakar yang sia-sia. Salah satu penyebab

kemacetan lalu lintas adalah persimpangan jalan, disamping penyebab penyebab seperti tidak tertibnya pemakai jalan dan lain sebagainya. (Adisasmita 2011)

Kota Tebing Tinggi merupakan salah satu kota strategis di Kabupaten Serdang Bedagai Provinsi Sumatera Utara yang menjadi titik pertemuan berbagai jalur transportasi, termasuk Jalan lintas Medan – Siantar. Salah satu titik krusial di kota ini adalah simpang empat Masjid Raya yang berada pada persimpangan Jl. Kapten Tandean – Jl. Jendral Sudirman – Jl. Let. Jend. Suprpto – Jl. Ahmad Yani. Simpang ini dilengkapi dengan lampu merah dan menjadi akses utama menuju pusat kota. Kondisi lalu lintas di kawasan tersebut seringkali mengalami kemacetan, terutama pada jam sibuk, akibat volume kendaraan yang tinggi baik dari arah Medan, Siantar, maupun dari dalam Kota Tebing Tinggi itu sendiri.

Fenomena tersebut menunjukkan perlunya dilakukan analisis terhadap kinerja simpang tersebut untuk mengevaluasi efektivitas lampu lalu lintas serta dan desain geometrik simpang. Analisis persimpangan diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat pelayanan lalu lintas serta alternative solusi untuk mengurangi kemacetan yang terjadi.

Dengan alasan diatas, perlu diadakannya studi evaluasi kinerja simpang ini guna menanggulangi kemacetan yang terjadi. Dalam penelitian ini, digunakan simulasi lalulintas dengan *software* PTV Vissim, dengan rencana pengambilan data primer berupa survei yang dilaksanakan selama dua hari pada jam sibuk, nantinya akan dilakukan perbandingan hasil perhitungan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). Setelah analisis ini dilakukan, nantinya akan dilakukan perbandingan hasil perhitungan ini dengan pengamatan langsung dan hasil pengamatan langsung di lapangan untuk melihat apakah ada perbedaan yang signifikan.

1.2 Identifikasi Masalah

Setelah mengetahui latar belakang masalah, penulis mengidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Tingkat kemacetan dan kelancaran di area simpang empat Kota Tebing Tinggi.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kinerja lalu lintas simpang bersinyal dengan menggunakan Software Vissim dan PKJI 2023?
2. Bagaimana hasil perbandingan analisis persimpangan dengan Software PTV. Vissim ?

1.4 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian ini, ditentukan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Analisa kinerja simpang dilakukan dengan Software PTV Vissim terhadap nilai volume lalu lintas, panjang antrean kendaraan dan nilai tundaan.
2. Analisis kinerja simpang bersinyal menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023).
3. Data yang disimulasikan adalah pada persimpangan Jl. Kapten Tandean – Jl. Jendral Sudirman – Jl. Let. Jend. Suprpto – Jl. Ahmad Yani.

1.5 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah yang telah dijelaskan, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui kinerja simpang pada persimpangan Jl. Kapten Tandean – Jl. Jendral Sudirman – Jl. Let. Jend. Suprpto – Jl. Ahmad Yani dengan menggunakan software Vissim.
- 2 Untuk mengetahui hasil analisis persimpangan dengan Software vissim.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kinerja simpang bersinyal yang disimulasikan dengan *software* PTV Vissim.
2. Menjadi masukan dan bahan pertimbangan bagi instansi yang terkait untuk mengeluarkan kebijakan yang terkait dengan penelitian ini, yang nantinya dapat

menghasilkan kinerja yang lebih baik pada ruas persimpangan ini khususnya di Kota Tebing Tinggi.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis membaginya dalam 5 Bab. Pembagian ini dimaksudkan untuk mempermudah pembahasan sehingga tulisan ini dapat mudah dimengerti oleh pembaca. Adapun sistematika yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika pembahasan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori-teori serta rumus-rumus dari berbagai sumber bacaan yang mendukung analisis permasalahan yang terkait dengan Tugas Akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan langkah-langkah pemecahan masalah yang akan dibahas, meliputi metode penelitian, teknik pengumpulan data, instrumen penelitian, dan teknik analisa data.

BAB IV ANALISA DATA

Pada bab ini akan dibahas tentang data yang didapat, lalu dianalisa sehingga memperoleh kesimpulan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang dapat diambil setelah pembahasan seluruh masalah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan pustaka berisikan identifikasi mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian yang saat ini dilakukan dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian yang telah ada dapat menjadi sumber referensi bagi penulis dalam menyusun laporan ini. Peninjauan terhadap penelitian terdahulu juga difungsikan sebagai pembanding penelitian saat ini dengan penelitian sebelumnya, sehingga dapat dihindari kesamaan dalam metode dan lokasi penelitian.

Beberapa referensi yang digunakan penulis sebagai acuan dalam membuat laporan penelitian ini adalah (Alvian Ariesta et al., 2020), (Alimukti, 2022), (Fazlurrahman 2019), (Felly Misdalena, 2019), dan (Ramzy et al., 2024).

2.2 Penelitian Sebelumnya

(Alvian Ariesta et al., 2020) melakukan penelitian tentang evaluasi kinerja simpang bersinyal pada Jl. Jendral Ahmad Yani Kota Bekasi dengan menggunakan PKJI 2014, didapat bahwa nilai tingkat pelayanan simpang bersinyal 1 menunjukkan tingkat pelayanan F baik *Weekday* maupun *Weekend* dengan nilai tundaan tertinggi *Weekday* sebesar 1.098 (det/skr) pada jam puncak pagi hari dan *Weekend* sebesar 811 (det/skr) pada jam puncak pagi hari. Pada simpang bersinyal 2 didapat bahwa nilai tingkat pelayanan simpang rata-rata menunjukkan tingkat pelayanan F baik *Weekday* maupun *Weekend* dengan nilai tundaan tertinggi *Weekday* sebesar 366 (det/skr) pada jam puncak pagi hari dan *Weekend* sebesar 166 (det/skr) pada jam puncak pagi hari. Dengan kinerja kedua persimpangan bersinyal yang menunjukkan kondisi jenuh, dilakukan penelitian lanjutan mengenai manajemen lalu lintas pada kedua persimpangan yang menghasilkan alternatif-alternatif guna memperbaiki kinerja kedua persimpangan bersinyal.

(Fazlurrahman & Susilo, 2019) melakukan analisis kemacetan lalu lintas pada simpang bersinyal Ir. H. Juanda – Raya Bogor. Hasil analisis kinerja simpang menggunakan MKJI 1997 didapatkan nilai *Level of Service* sebesar 104.9 detik/smp atau dapat dikategorikan pada nilai F. Alternatif yang digunakan adalah mengurangi tundaan karna kapasitas jalan meningkat dan waktu siklus berkurang,

sedangkan pada alternative kedua akan mengurangi titik konflik yang ada.

(Alimukti, 2022) melakukan penelitian terhadap kinerja simpang bersinyal dengan Software PTV Vissim pada simpang empat Paal 10 Kota Jambi. Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa derajat kejenuhan tertinggi terjadi pada jam puncak (10.00-11.00) sebesar 1,218 dengan tundaan 47,99 det/smp dan Indeks Tingkat Pelayanan E. Pendekat Jl. Lingkar Selatan sebesar 1,109 dengan tundaan 48,33 det/smp dan Indeks Tingkat Pelayanan E. Pendekat Jl. Lintas Sumatera (Arah Kota Baru) sebesar 1,026 dengan tundaan 42.84 det/smp dan Indeks Tingkat Pelayanan E. Pendekat Jl. Lingkar Barat 1 sebesar 0,363 dengan tundaan 27,27 det/smp dan Indeks Tingkat Pelayanan D. Adapun alternatif yang dilakukan dengan menurunkan waktu siklus dari 168 detik menjadi 153 detik dan meningkatkan lama waktu hijau.

(Felly Misdalena, 2019) melakukan evaluasi terhadap kinerja bimpang bersinyal Simpang Jakabaring menggunakan program *Microsimulator Vissim 8.00*. Hasil analisis menunjukkan permasalahan yang sering terjadi pada ruas jalan Mayjend HM Ryacudu adalah permasalahan kemacetan akibat banyaknya jumlah kendaraan yang akan menuju ke Jembatan Ampera. Solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan Simpang *Flyover* Jakabaring karena memiliki nilai panjang antrian yang terbaik jika dibandingkan dengan kondisi *eksisting* berdasarkan hasil simulasi program Vissim 8.00.

(Ramzy et al., 2024) melakukan evaluasi terhadap kinerja bimpang bersinyal Jalan Dewi Sartika dan Jalan Raya Kalibata Kota Jakarta dengan menggunakan software Vissim. Hasil analisis Kinerja simpang pada kondisi eksisting didapatkan bahwa kinerja simpang sudah tidak laik. Arus lalu lintas tertinggi terjadi pada hari Rabu, 11 Oktober 2023 saat jam puncak pagi pukul 06.30-07.30 WIB sebesar 3806 SMP/jam dan saat jam puncak siang pukul 12.30-13.30 WIB sebesar 3200 SMP/jam, serta nilai tundaan rata-rata sebesar 187,9 det/SMP saat jam puncak pagi hari dan nilai tundaan rata-rata sebesar 85,7 det/SMP saat jam puncak siang hari, serta semua tingkat pelayanan F (sangat buruk). Adapun 4 alternatif solusi yang dianalisis, diperoleh bahwa ada 2 alternatif solusi yang mencapai target minimal tingkat pelayanan C (sedang). Alternatif solusi keempat adalah alternatif solusi paling baik yang dianalisis dengan diberlakukan

perlarangan belok kanan pada semua pendekat dan melakukan perubahan menjadi 2 fase. Nilai tundaan rata-rata yang didapatkan sebesar 13,3 det/SMP dengan tingkat pelayanan B (baik), panjang antrian terpanjang mencapai 45 meter, serta derajat kejenuhan $< 0,85$ dengan nilai DJ tertinggi ada pada pendekat barat sebesar 0,515.

2.3 Simpang

Persimpangan adalah bagian yang tidak terpisah dari sistem jalan. Persimpangan jalan merupakan daerah dimana dua jalan atau lebih bergabung atau bersimpangan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu lintas di dalamnya. (Budiman, 2016).

Persimpangan adalah bagian penting dari jaringan jalan yang sering menjadi tempat terjadinya konflik dan kemacetan karena dua atau lebih jalur jalan bertemu. Karena itulah, diperlukan pengaturan dan pemodelan di daerah persimpangan agar konflik dan masalah lain dapat dihindari atau diminimalkan. Di kota, biasanya banyak terdapat persimpangan, di mana pengemudi harus memutuskan untuk melanjutkan lurus, berbelok, atau berpindah lajur agar mencapai tujuan yang diinginkan.

Persimpangan adalah bagian penting dalam jalan raya kota karena sebagian besar efisiensi, biaya operasional, dan kapasitas lalu lintas dalam perencanaan jalan dilakukan dengan mempertimbangkan arus lalu lintas yang melintasi satu atau lebih arah di persimpangan tersebut, termasuk gerakan belok. Gerakan lalu lintas ini dikelola dengan berbagai metode bergantung pada jenis persimpangannya. Tujuan utama perencanaan persimpangan adalah mengurangi risiko tabrakan antara kendaraan, pejalan kaki, serta meningkatkan kenyamanan dan ketenangan bagi pengguna jalan yang melewati persimpangan tersebut. (Alimukti, 2022)

2.3.1 Jenis Simpang

Persimpangan dibuat dengan tujuan untuk mengurangi potensi konflik diantara kendaraan (termasuk pejalan kaki) sekaligus menyediakan kenyamanan maksimum dan kemudahan pergerakan bagi kendaraan (Khisty dan Lall, 2005). Menurut Morlok (1988), jenis simpang berdasarkan cara pengaturannya dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu:

1. Simpang Tak Bersinyal

Simpang tak bersinyal yaitu simpang yang tidak memakai sinyal lalu lintas. Pada simpang ini pemakai jalan harus memutuskan apakah mereka cukup aman untuk melewati simpang atau harus berhenti dahulu sebelum melewati simpang tersebut sehingga simpang tanpa sinyal biasa menimbulkan antrian panjang antar kendaraan karena tidak adanya kendaraan yang mau mengalah simpang tanpa sinyal biasanya hanya memiliki tiga kaki walupun memiliki empat tapi arus lalu lintas yang melewati simpang tersebut masih kurang.

2. Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal yaitu pemakai jalan dapat melewati simpang sesuai dengan pengoperasian sinyal lalu lintas. Jadi pemakai jalan hanya boleh lewat pada saat sinyal lalu lintas menunjukkan warna hijau pada lengan simpangnya. Simpang bersinyal sangat banyak digunakan pada jaringan jalan sehingga perlu dipertimbangkan kinerja jaringan jalan akibat simpang bersinyal tersebut karena seringnya terjadinya pertemuan menyilang antar jaringan jalan (*interception*).

2.3.2 Tipe Simpang

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), pengelompokan simpang berdasarkan jumlah lengan simpang, jumlah lajur jalan minor, dan jumlah lajur jalan mayor, diberi kode 3 (tiga) angka, angka kesatu menunjukkan jumlah lengan simpang, angka kedua menunjukkan jumlah lajur pada pendekat jalan minor, dan angka ketiga menunjukkan jumlah lajur pada pendekat jalan mayor, dapat ditambah huruf M pada angka ke empat, menunjukkan adanya median pada jalan mayor. Beberapa tipe simpang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Tipe Simpang

Tipe simpang	Pendekat jalan mayor		Pendekat jalan minor	Tipe simpang	Pendekat jalan mayor		Pendekat jalan minor
	Jumlah lajur	Median	Jumlah lajur		Jumlah lajur	Median	Jumlah lajur
422	1	Tidak ada	1	322	1	Tidak ada	1
424	2	Tidak ada	1	324	2	Tidak ada	1

Lanjutan Tabel 2.1 Tipe Simpang

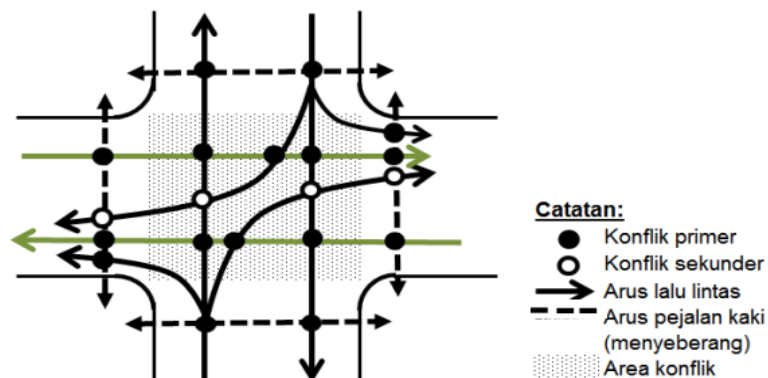
Tipe simpang	Pendekat jalan mayor		Pendekat jalan minor	Tipe simpang	Pendekat jalan mayor		Pendekat jalan minor
	Jumlah lajur	Median	Jumlah lajur		Jumlah lajur	Median	Jumlah lajur
424 M	2	Ada	1	324M	2	Ada	1
444	2	Tidak ada	2	344	2	Tidak ada	2
444 M	2	Ada	2	344M	2	Ada	2

Sumber : PKJI 2023

2.4 Simpang APILL

Pada daerah perkotaan sering kali kita temui salah satu jenis simpang yaitu simpang APILL. APILL sendiri merupakan singkatan dari alat pemberi isyarat lalu lintas. Simpang APILL adalah persimpangan jalan dimana pergerakan arus lalu lintas dari setiap arahnya diatur oleh lampu sinyal sehingga kendaraan melewati simpang secara bergantian. Tujuan penggunaan sinyal lalu lintas yaitu untuk memisahkan lintasan kendaraan yang datang dari berbagai arah yang saling berpotongan (Andika, 2022).

APILL mengatur lalu lintas simpang dengan cara meminimalkan konflik, baik konflik primer maupun konflik sekunder dengan memisahkan waktu berjalannya arus. Gambar 2.1 menjelaskan tipikal konflik-konflik pada suatu simpang empat.

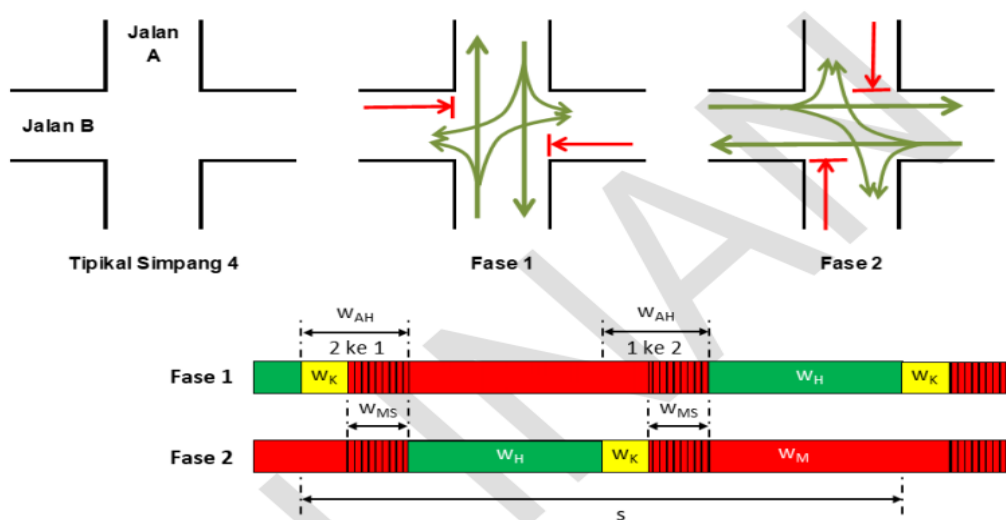


Gambar 2.1 Konflik primer dan konflik sekunder pada simpang 4 lengan

Sumber : PKJI 2023

APILL digunakan untuk tujuan mempertahankan kapasitas persimpangan pada jam puncak dan mengurangi kecelakaan akibat tabrakan antar kendaraan dari arah yang berlawanan. Untuk memenuhi aspek keselamatan, selain lampu isyarat hijau dan merah, pengaturan APILL harus dilengkapi dengan lampu kuning dan isyarat lampu merah semua. Lampu kuning untuk memperingati arus yang sedang bergerak bahwa fase sudah berakhir dan lampu merah semua (*all red*) untuk menjamin agar kendaraan terakhir pada fase hijau yang baru berakhir memperoleh waktu yang cukup untuk keluar dari area konflik sebelum kendaraan pertama dari fase berikutnya memasuki area yang sama.

Pada awal analisis, pengaturan APILL dua fase dapat dipilih karena memberikan kapasitas terbesar dengan tundaan yang terendah dibandingkan dengan pengaturan fase lainnya. Ilustrasi pengaturan 2 (dua) fase dijelaskan dalam Gambar 2.2. Urutan perubahan isyarat pada sistem pengaturan APILL 2 (dua) fase ini, meliputi s, wK, wAH, wM, wMS, dan wH. Apabila pengaturan 2 (dua) fase ini belum memadai, evaluasi arus belok kanan, apakah memungkinkan bila dipisahkan dari arus lurus dan apakah tersedia lajur untuk memisahkannya. Pengaturan arus belok kanan yang terpisah hanya dilakukan bila arusnya melebihi 200 SMP/jam, tetapi pemisahan dapat tetap dilakukan pemisahan walaupun arus belok kanan lebih rendah dari 200 SMP/jam dengan pertimbangan peningkatan terhadap keselamatan lalu lintas.



Gambar 2.2 Urutan waktu menyala isyarat pada pengaturan APILL dua fase

Sumber : PKJI 2023

2.5 Kinerja Simpang APILL

Pada simpang, peningkatan volume kendaraan mempengaruhi kinerja dari segi keselamatan dan efisiensi, yang dapat ditingkatkan melalui pengendalian simpang. Berdasarkan Kementerian Perhubungan (2015) menyatakan bahwa tingkat pelayanan adalah ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas. Kementerian Perhubungan mendefinisikan enam tingkat pelayanan, dari A hingga F, untuk setiap ukuran tingkat pelayanan. Tingkat pelayanan A menunjukkan kondisi terbaik, sedangkan tingkat pelayanan F menunjukkan kondisi terburuk. Pengukuran Tingkat pelayanan berdasarkan biaya, dampak lingkungan, dan alasan lainnya, biasanya jalan raya umumnya tidak dirancang untuk memberikan kondisi tingkat pelayanan A selama periode puncak. Sebaliknya, jalan raya dirancang untuk memberikan beberapa tingkat pelayanan yang lebih rendah. Namun, pada volume lalu lintas yang rendah, tingkat pelayanan A dapat dicapai. Selain itu, kinerja sebuah simpang juga dapat diukur menggunakan beberapa parameter, yaitu derajat kejenuhan (DJ), tundaan, dan panjang antrean.

Kinerja persimpangan merupakan ukuran kualitas kondisi lalu lintas yang dapat diterima di suatu persimpangan. Ukuran yang digunakan untuk menentukan kinerja persimpangan yaitu tundaan lalu lintas simpang (Ariesta dkk., 2020). Tingkat pelayanan pada kinerja simpang berdasarkan tundaan lalu lintas diklasifikasikan pada Tabel.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tundaan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)	Keterangan
A	<5	Baik Sekali
B	5,1 - 15	Baik
C	15,1 - 25	Sedang
D	25,1 - 40	Kurang
E	40,1 - 60	Buruk
F	>60	Buruk Sekali

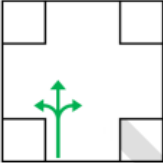
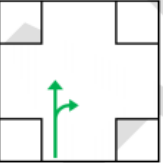
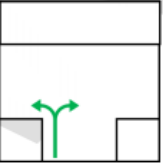
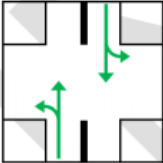
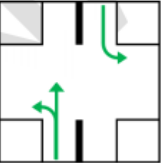
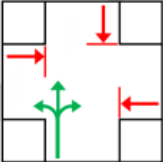
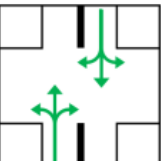
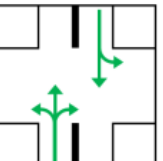
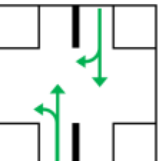
Sumber: Kementerian Perhubungan No.96 (2015)

Kinerja lalu lintas persimpangan didasarkan pada pengukuran arus pada periode 1 jam. Arus lalu lintas pada 1 jam ini mewakili tingkat pelayanan dan bisa didasarkan pada pengukuran di lokasi penelitian atau lalu lintas rencana. Kriteria desain yang umum digunakan untuk menilai kinerja lalu lintas persimpangan adalah D_j dengan nilai yang umum $DJ \leq 0,85$. Jika $DJ > 0,85$ maka

pengaturan APILL perlu ditingkatkan atau fisik simpangnya ditingkatkan lagi. (PKJI 2023)

2.6 Tipe Pendekat

Pada pendekat dengan arus lalu lintas yang berangkat pada fase yang berbeda, maka analisis kapasitas pada masing-masing fase pendekat tersebut harus dilakukan secara terpisah (misal arus lurus dan belok kanan dengan lajur terpisah). Hal yang sama pada perbedaan tipe pendekat, pada satu pendekat yang memiliki tipe pendekat, baik terlindung maupun terlawan (pada fase yang berbeda), maka proses analisisnya harus dipisahkan berdasarkan ketentuanketentuannya masing-masing. Gambar 5-4 memberikan ilustrasi dalam penentuan tipe pendekat, apakah terlindung (P) atau terlawan (O).

Tipe pendekat	Keterangan	Contoh pola pengaturan pada pendekat			
Terlindung (Tipe P)	Arus berangkat tidak konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan satu arah	Jalan satu arah	Simpang-3	
					
		Jalan dua arah, belok kanan dibatasi			
		Jalan dua arah, fase untuk masing-masing arah terpisah			
Terlawan (Tipe O)	Arus berangkat konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan dua arah, arus berangkat dari arah yang berlawanan dalam Fase yang sama. Semua belok kanan tidak dibatasi			
					

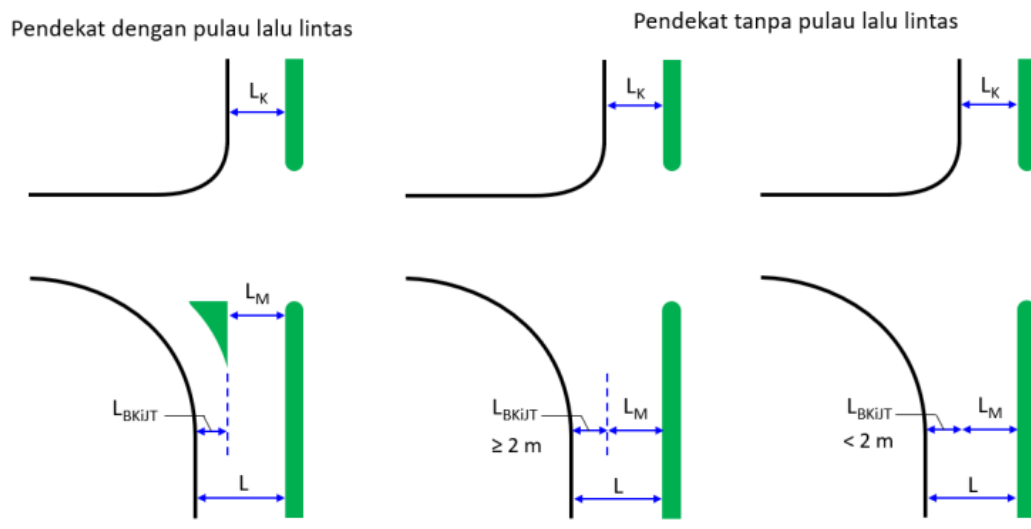
Gambar 2.3 Penentuan Tipe Pendekat

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023

2.7 Lebar Pendekat Efektif

Penentuan lebar pendekat efektif (L_E) didasarkan pada beberapa parameter yaitu lebar ruas pendekat awal (L), lebar masuk (L_M), dan lebar keluar (L_K). Ada beberapa kondisi dalam menentukan L_M yaitu:

- Untuk pendekat dengan pulau lalu lintas, arus belok kiri memiliki lebar lajur tersendiri sehingga lebar masuk (L_M) merupakan lebar antara tepi pulau lalu lintas dengan median yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 (kiri).
- Untuk pendekat tanpa pulau lalu-lintas, arus belok kiri jalan terus bisa membentuk lajur sendiri atau bisa bergabung dengan arus yang lurus tergantung dari ketersediaan ruang kendaraan yang belok kiri. Apabila L_{BKIJT} lebih dari 2 meter maka arus belok kiri dapat membentuk antrian sendiri sehingga $L_M = L - L_{BKIJT}$ (Gambar 2.4tengah). Sedangkan apabila L_{BKIJT} kurang dari 2 meter maka arus belok kiri akan menyatu dengan arus lalu lintas yang lurus (Gambar 2.4 kanan).



Gambar 2.4 Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023

- Lebar efektif (L_E) dapat dihitung dengan menggunakan ketentuan sebagai berikut:

Jika $L_{BKIJT} \geq 2$ m atau L_{BKIJT} merupakan lajur eksklusif, maka arus kendaraan B_{KIJT} dapat mendahului antrean kendaraan lurus dan belok kanan selama isyarat

merah. L_E ditetapkan sebagai berikut:

Langkah 1: Keluarkan arus B_{KIJT} (q_{BKIJT}) dari perhitungan dan selanjutnya arus yang dihitung adalah $q = q_{LRS} + q_{BKa}$. Penentuan lebar efektif adalah sebagai berikut:

$$L_E = \text{Min} \begin{cases} L - L_{BkiJT} \\ L_M \end{cases} \quad (2.1)$$

Langkah 2: Periksa L_K (hanya untuk pendekat tipe P), jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa})$, maka $L_E = L_K$, dan analisis penentuan waktu isyarat untuk pendekat ini didasarkan hanya bagian lalu lintas yang lurus saja yaitu q_{LRS} .

- b. Jika $L_{BKIJT} < 2$ m, maka kendaraan B_{KIJT} dianggap tidak dapat mendahului antrean kendaraan lainnya selama isyarat merah. L_E ditetapkan sebagai berikut:

Langkah 1: Sertakan q_{BKIJT} pada perhitungan selanjutnya.

$$L_E = \text{Min} \begin{cases} L \\ L_M - L_{BkiJT} \\ L \times (1 + R_{BkiJT}) - L_{BkiJT} \end{cases} \quad (2.2)$$

Langkah 2: Periksa L_K (hanya untuk pendekat tipe P), jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa} - R_{BKIJT})$, maka $L_E = L_K$, dan analisis penentuan waktu isyarat untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk arus lalu lintas lurus saja.

2.8 Arus Lalu Lintas

Perhitungan arus lalu lintas dilakukan per satuan jam atau lebih dalam satu periode, biasanya perhitungan didasari oleh kondisi kondisi tertentu seperti jam sibuk atau jam puncak lalu lintas. Dalam menentukan arus lalu lintas (Q), setiap kendaraan diklasifikasikan sesuai jenis dan pergerakan yang dilakukan (belok kiri, belok kanan, maupun lurus) kemudian dikonversi dari kendaraan per-jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) per-jam dengan memakai data ekivalen kendaraan penumpang (emp) untuk setiap pendekat terlindung dan terlawan. Adapun nilai emp dari jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ekuivalensi mobil penumpang (EMP)

Jenis Kendaraan	EMP Untuk Tipe Pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Mobil Penumpang (MP)	1	1
Kendaraan Sedang (KS)	1,3	1,3
Sepeda Motor (SM)	0,15	0,40

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023

2.9 Arus Jenuh

Arus jenuh (J) adalah hasil perkalian antara arus jenuh dasar (J_0) dengan faktor-faktor koreksi untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. J_0 adalah J pada kondisi arus lalu lintas dan geometri yang ideal, sehingga faktor-faktor koreksi untuk J_0 adalah satu. J dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \quad (2.3)$$

Keterangan :

- J_0 : Arus jenuh dasar
- F_{HS} : Faktor koreksi hambatan samping
- F_{UK} : Faktor koreksi ukuran kota
- F_G : Faktor koreksi kelandaian
- F_P : Faktor koreksi parkir
- F_{BK_i} : Faktor koreksi belok kiri
- F_{BK_a} : Faktor koreksi belok kanan

2.9.1 Arus Jenuh Dasar

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), arus jenuh dasar merupakan besarnya arus lalu lintas keberangkatan antrean di dalam suatu pendekat pada kondisi ideal (smp/jam). Arus jenuh dasar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$J_0 = 600 \times L_E \quad (2.4)$$

dengan :

- J_0 : arus jenuh dasar (smp/jam),
- L_E : lebar efektif pendekat (m).

2.9.2 Faktor koreksi ukuran kota

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), faktor koreksi ukuran kota merupakan faktor koreksi nilai kapasitas dasar sehubungan dengan ukuran kota yang dinyatakan oleh besarnya populasi. Faktor koreksi ukuran kota (F_{UK}) dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Jumlah Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})
>3,0	1,05
1,0-3,0	1,00
0,5-1,0	0,94
0,1-0,5	0,83
<0,1	0,82

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023

2.9.3 Faktor koreksi hambatan samping

Faktor koreksi hambatan samping adalah faktor koreksi nilai kapasitas dasar akibat tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan arus kendaraan tak bermotor (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023). Nilai faktor koreksi hambatan samping dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 2.5 Faktor Hambatan Samping

Tipe Lingkungan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (KOM)	Tinggi	Terlindung	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlawan	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlindung	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlawan	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlindung	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlawan	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (KIM)	Tinggi	Terlindung	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlawan	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlindung	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlawan	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlindung	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlawan	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (AT)	Tinggi/ sedang/ Rendah	Terlindung	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlawan	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023

Kelas hambatan samping ditetapkan dari jumlah perkalian antara frekuensi kejadian setiap jenis hambatan samping dikalikan dan bobotnya. Frekuensi kejadian hambatan samping dihitung berdasarkan pengamatan di lokasi penelitian selama satu jam di sepanjang segmen yang diamati. Nilai pembobotan dan kriteria kelas hambatan samping ditentukan berdasarkan ketentuan nilai pembobotan dan kriteria kelas hambatan samping pada analisis ruas jalan perkotaan yang dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan 2.7.

Tabel 2.6 Pembobotan Hambatan Samping

No.	Jenis hambatan samping utama	Bobot
1	Pejalan kaki di badan jalan dan yang menyeberang	0,5
2	Kendaraan umum dan kendaraan lainnya yang berhenti	1,0
3	Kendaraan keluar/masuk sisi atau lahan samping jalan	0,7
4	Arus kendaraan lambat (kendaraan tak bermotor)	0,4

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

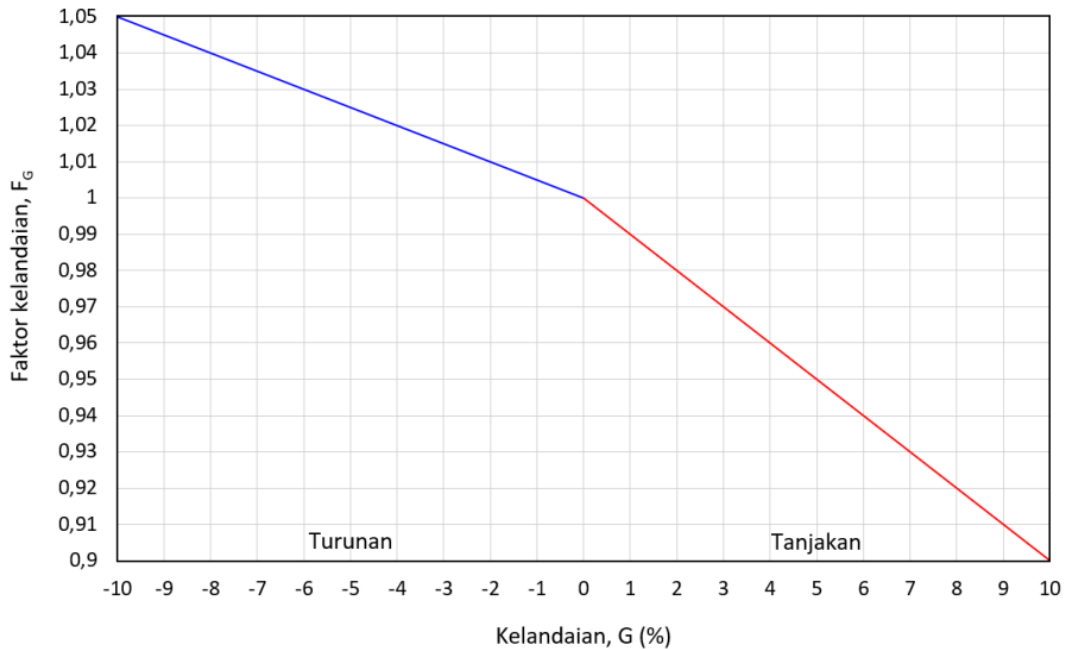
Tabel 2.7 Kriteria Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping	Jumlah nilai frekuensi kejadian (di kedua sisi jalan) dikali bobot	Kondisi Khusus
Sangat rendah (SR)	<100	Daerah permukiman; tersedia jalan lingkungan (<i>frontage road</i>)
Rendah (R)	100-299	Daerah permukiman; ada beberapa angkutan umum.
Sedang (S)	300-499	Daerah industri, beberapa toko di sepanjang sisi jalan
Tinggi (T)	500-899	Daerah komersial, ada aktivitas sisi jalan yang tinggi
Sangat Tinggi (ST)	≥ 900	Daerah komersial, ada aktivitas pasar di sisi jalan

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

2.9.4 Faktor koreksi kelandaian

Faktor koreksi kelandaian atau faktor gradien (F_G) merupakan faktor koreksi untuk kelandaian pendekat. Nilai kelandaian dinyatakan dalam bentuk persen. Ketika sebuah pendekat mengalami tanjakan maka persentasenya bernilai positif, sedangkan ketika pendekat mengalami turunan maka persentasenya bernilai negatif. Faktor kelandaian dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Faktor Koreksi Kelandaian (F_G)

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023

2.9.5 Faktor koreksi parkir

Faktor koreksi parkir merupakan faktor koreksi yang dihitung berdasarkan jarak antara garis henti dan kendaraan yang diparkir pertama pada suatu pendekat. Faktor ini dipengaruhi oleh jarak garis henti ke kendaraan yang diparkir pertama, lebar pendekat, serta durasi lampu hijau pada pendekat tersebut. Perhitungan faktor koreksi parkir dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$FP = \frac{\left(\frac{LP}{3} - \frac{(L-2) \times \left(\frac{LP}{3} - WH\right)}{L}\right)}{WH} \quad (2.5)$$

dengan :

L_P = jarak antara garis henti kendaraan yang parkir pertama pada lajur belok kiri atau panjang dari lajur belok kiri yang pendek (m),

L = lebar pendekat (m), dan

W_H = waktu hijau pada pendekat yang ditinjau (nilai normalnya 27 detik).

2.9.6 Faktor koreksi belok kanan

Faktor koreksi belok kanan adalah faktor koreksi nilai kapasitas dasar akibat arus lalu lintas belok kanan. Faktor ini hanya berlaku untuk pendekat tipe P, tanpa median, tipe jalan dua arah, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Perhitungan faktor belok kanan dapat dihitung dengan Persamaan

$$F_{BKa} = 1,0 + R_{BKa} \times 0,26 \quad (2.6)$$

dengan :

F_{BKa} = faktor koreksi belok kanan, dan

R_{BKa} = rasio kendaraan belok kanan.

2.9.7 Faktor koreksi belok kiri

Faktor koreksi belok kiri adalah faktor koreksi nilai kapasitas dasar akibat arus lalu lintas belok kiri. Faktor ini hanya berlaku untuk pendekat tipe P tanpa B_{KIJT} (belok kiri jalan terus). Hal ini disebabkan karena di pendekat terlindung tanpa B_{KIJT}, kendaraan yang berbelok kiri cenderung melambat sehingga mengurangi arus jenuh pada pendekat tersebut. Perhitungan faktor koreksi belok kiri dapat dihitung dengan persamaan 2.7.

$$F_{BKl} = 1,0 - R_{BKl} \times 0,16 \quad (2.7)$$

dengan :

F_{BKi} = faktor koreksi belok kiri, dan

R_{BKi} = rasio kendaraan belok kiri.

2.10 Rasio Arus terhadap Arus Jenuh

Perhitungan rasio arus terhadap arus jenuh untuk tiap *approach* dirumuskan sebagai Persamaan 2.8.

$$R_{q/J} = \frac{q}{J} \quad (2.8)$$

dengan :

q/J = rasio arus terhadap arus jenuh,

q = arus lalu lintas (smp/jam), dan

J = arus jenuh (smp/jam).

Nilai perbandingan arus kritis ($R_{q/J \text{ kritis}}$) adalah nilai perbandingan arus tertinggi pada tiap fase. Dari jumlah nilai perbandingan arus kritis tiap fase didapat rasio arus simpang APILL ($R_{A/S}$). Rasio arus simpang APILL dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.9.

$$R_{A/S} = \sum_i (R_{q/J \text{ kritis}})_i \quad (2.9)$$

dengan :

$R_{q/J \text{ kritis}}$ = perbandingan arus kritis,

$R_{A/S}$ = rasio arus simpang APILL, dan

I = indeks untuk fase ke i .

Rasio Fase (RF) masing-masing fase sebagai rasio antara $R_{q/J \text{ kritis}}$ dan $R_{A/S}$ dapat dihitung dengan Persamaan 2.10.

$$R_F = \frac{R_{q/J \text{ kritis}}}{R_{A/S}} \quad (2.10)$$

dengan :

R_F = rasio fase,

$R_{q/J \text{ kritis}}$ = perbandingan arus kritis, dan

$R_{A/S}$ = rasio arus simpang APILL.

2.11 Penentuan Waktu Sinyal

Penentuan waktu sinyal bertujuan untuk meminimalkan tundaan total dalam suatu persimpangan. Waktu sinyal ditentukan berdasarkan waktu siklus (c) dan waktu hijau (g_i) pada setiap fase (i).

2.11.1 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

1.6.1 Waktu siklus sebelum penyesuaian (S_{bs})

Penentuan waktu siklus bertujuan untuk sistem kendali waktu tetap yang dapat dilakukan menggunakan rumus Webster dan Cobbe (1966). Rumus ini bertujuan meminimalkan tundaan total. Nilai S_{bs} ditetapkan menggunakan Persamaan 2.11.

$$S_{bs} = \frac{(1,5 \times WHH + 5)}{(1 - \sum R_{q/J \text{ Kritis}})} \quad (2.11)$$

dengan :

S_{bs} = waktu siklus sebelum penyesuaian (detik),

W_{HH} = jumlah waktu hijau hilang per siklus (detik),
 q/J_{kritis} = rasio arus simpang pada siklus tersebut.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), terdapat waktu siklus yang disarankan untuk keadaan yang berbeda. Waktu siklus yang disarankan dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Waktu Siklus (s) yang Layak

Tipe pengaturan	s yang layak (detik)
Pengaturan dua-fase	40-80
Pengaturan tiga-fase	50-100
Pengaturan empat-fase	80-130

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023

Nilai waktu siklus yang lebih rendah dari yang disarankan digunakan untuk simpang APILL dengan lebar jalur pendekat <10 m dan nilai yang lebih tinggi untuk pendekat yang memiliki lebar >10 m. Waktu siklus yang lebih rendah dari yang disarankan cenderung menyebabkan kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan. Waktu siklus yang lebih besar dari 130 detik harus dihindari, kecuali pada kasus sangat khusus (simpang yang sangat besar) karena hal ini sering mengakibatkan kapasitas keseluruhan simpang APILL menurun. Jika hasil perhitungan menghasilkan waktu siklus yang jauh lebih tinggi dari batas yang disarankan, menandakan bahwa kapasitas dari geometri simpang tersebut tidak mencukupi.

1.6.2 Waktu hijau

Tahap selanjutnya dari penentuan waktu sinyal adalah menetapkan waktu hijau (w_H) pada masing-masing fase (i). Perhitungan waktu hijau tiap fase dapat dihitung dengan Persamaan 2.12.

$$W_{Hi} = (S - W_{HH}) \times \frac{(Rq/J_{kritis})}{\sum i(q/J_{kritis})i} \quad (2.12)$$

dengan:

W_{Hi} = waktu hijau pada fase i (detik),

i = indeks untuk fase ke i,

W_{HH} = jumlah waktu hijau hilang per siklus (detik),

$R_{q/J}$ = rasio arus,

$R_{q/J \text{ kritis}}$ = nilai $R_{q/J}$ tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada fase yang sama, dan

$\Sigma R_{q/J \text{ kritis}}$ = rasio arus simpang pada siklus tersebut.

Waktu hijau yang kurang dari 10 detik sebaiknya dihindari karena dapat meningkatkan pelanggaran lampu merah dan menyulitkan pejalan kaki untuk menyeberang jalan. Selain itu, kendala lain yang mungkin terjadi adalah adanya penumpukan kendaraan pada ruas jalan yang memiliki fase hijau pendek, karena fase hijau tersebut tidak mampu melewati kendaraan dengan optimal.

3. Waktu siklus yang disesuaikan

Waktu siklus yang disesuaikan didasarkan pada jumlah waktu hijau yang telah dibulatkan dan waktu hilang total (W_{HH}). Perhitungan waktu siklus yang disesuaikan dapat dihitung dengan Persamaan 2.13.

$$s = \Sigma W_{Hi} + W_{HH} \quad (2.13)$$

dengan :

W_{Hi} = waktu hijau pada fase i (detik), dan

W_{HH} = jumlah waktu hijau hilang per siklus (detik).

2.12 Kapasitas

Kapasitas adalah jumlah arus lalu lintas maksimum yang dapat dilayani oleh suatu persimpangan dalam satuan waktu. Kapasitas simpang dinyatakan dalam satuan smp/jam. Perhitungan kapasitas pada simpang dihitung berdasarkan tiap pendekat atau kelompok lajur dalam suatu pendekat. Kapasitas simpang dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 2.14.

$$C = J \times \frac{W_H}{s} \quad (2.14)$$

dengan :

C = kapasitas simpang APILL (smp/jam),

J = arus jenuh (smp/jam),

W_H = total waktu hijau dalam satu siklus (detik), dan

s = waktu siklus (detik).

2.13 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan yaitu rasio arus terhadap kapasitas, digunakan untuk menentukan tingkat kinerja suatu simpang, seberapa padatnya lalu lintas dan kebebasan bagi kendaraan. Adapun nilai derajat kejenuhan (DJ) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.15.

$$D_J = \frac{Q}{C} \quad (2.15)$$

dengan :

D_J = derajat kejenuhan,

Q = volume lalu lintas, (smp/jam), dan

C = kapasitas.

2.14 Perilaku Lalu Lintas

2.14.1 Panjang Antrean

Antrean kendaraan merupakan fenomena lalu lintas yang umum terlihat sehari-hari, antrean kendaraan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang berbaris pada suatu pendekat simpang dan dinyatakan dalam jumlah kendaraan atau satuan mobil penumpang (Andraiko dan Dwiyanto, 2023). Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) jumlah rata-rata antrean kendaraan (smp) pada awal isyarat lampu hijau (N_q) dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti (smp) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) ditambah jumlah kendaraan (smp) yang datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2}) dapat dihitung dengan tahapan – tahapan sebagai berikut.

1. Jumlah rata-rata antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1})

Jumlah rata-rata antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.16 dan Persamaan 2.17.

$$\text{Jika } D_J < 0,5 \text{ maka } N_{q1} = 0 \quad (2.16)$$

Jika $D_J > 0,5$ maka

$$N_{q1} = 0,25 \times s \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{s}} \right\} \quad (2.17)$$

dengan :

N_{q1} = jumlah rata-rata antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (smp), dan

D_J = derajat kejenuhan.

2. Jumlah rata-rata antrean kendaraan yang datang dan berhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2})

Jumlah rata-rata antrean kendaraan yang datang dan berhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2}) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.18.

$$N_{q2} = s \times \frac{(1-RH)}{(1-RH \times DJ)} \times \frac{q}{3600} \quad (2.18)$$

dengan :

N_{q2} = jumlah rata-rata antrean kendaraan yang datang dan berhenti dalam antrean selama fase merah (smp),

s = waktu siklus (s),

R_H = rasio hijau pendekat ($\frac{WH}{s}$),

q = arus lalu lintas pendekat (smp/jam), dan

DJ = derajat kejenuhan.

3. Jumlah rata-rata antrean kendaraan (N_q)

Jumlah rata-rata antrean kendaraan (N_q) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.19.

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \quad (2.19)$$

dengan :

N_q = jumlah rata-rata antrean kendaraan (smp),

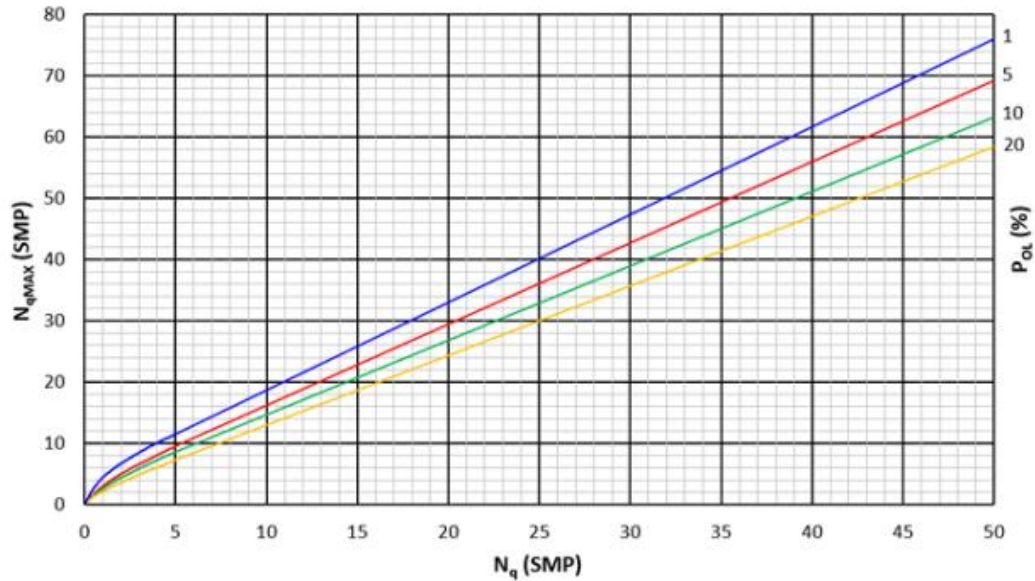
N_{q1} = jumlah rata-rata antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (smp), dan

N_{q2} = jumlah rata-rata antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (smp), dan

4. Jumlah rata-rata antrean kendaraan maksimum (N_{qMAX})

Jumlah rata-rata antrean kendaraan maksimum (N_{qMAX}) dapat ditentukan dengan menggunakan Gambar 2.6. Langkah yang perlu dilakukan adalah jumlahkan N_{q1} dan N_{q2} untuk mendapatkan N_q . Selanjutnya, lakukan koreksi untuk mengevaluasi *overloading* pada simpang. Jika diinginkan peluang untuk terjadinya *overloading* sebesar POL (%), maka tetapkan nilai N_{qMAX} menggunakan Gambar 2.6. Untuk perencanaan disarankan $POL \leq 5\%$, dan

untuk analisis operasional, nilai POL = 5% sampai dengan 10% masih dapat diterima.



Gambar 2.6 Jumlah Antrean Maksimum Akibat Overloading

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Panjang antrean (P_A) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.20

$$P_A = N_q \times \frac{20}{LM} \quad (2.20)$$

dengan :

N_q = Jumlah rata-rata antrean kendaraan (smp),

20 = Luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (smp) yaitu 20 m², dan

L_M = luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (smp) yaitu 20 m², dan

2.14.2 Rasio Kendaraan Terhenti

Rasio kendaraan terhenti (R_{KH}) yaitu rasio kendaraan pada pendekat yang harus berhenti akibat isyarat merah sebelum melewati suatu simpang APILL terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat tersebut, dihitung menggunakan Persamaan 2.21.

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \quad (2.21)$$

dengan :

Nq = jumlah rata-rata antrean kendaraan (smp) pada awal isyarat hijau,
 s = waktu siklus, dalam detik, dan
 q = arus lalu lintas dari pendekat yang ditinjau, dalam smp/jam.

Jumlah rata-rata kendaraan berhenti (NKH) adalah jumlah berhenti rata-rata perkendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrean) sebelum melewati suatu simpang APILL, dihitung menggunakan Persamaan 2.22.

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \quad (2.22)$$

Angka henti pada seluruh simpang diperoleh dengan membagi jumlah kendaraan yang terhenti pada semua pendekat di persimpangan dengan arus total simpang. Angka henti seluruh simpang APILL dapat dihitung dengan Persamaan 2.23.

$$R_{KH\ TOTAL} = \frac{(\sum N_{KH})}{q_{Total}} \quad (2.23)$$

dengan :

$R_{KH\ TOTAL}$ = angka henti seluruh simpang APILL, dan

N_{KH} = jumlah kendaraan terhenti.

3.12.3 Tundaan

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), tundaan merupakan waktu tempuh tambahan yang digunakan pengemudi untuk melalui suatu simpang APILL apabila dibandingkan dengan lintasan tanpa simpang APILL. Tundaan pada suatu simpang APILL terjadi karena 2 hal yaitu tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan tundaan geometri (T_G). Tundaan lalu lintas disebabkan oleh interaksi lalu lintas dengan gerakan lain pada suatu simpang, sedangkan tundaan geometri disebabkan oleh perlambatan dan percepatan ketika gerakan membelok pada suatu simpang atau terhenti akibat lampu merah.

1. Tundaan lalu lintas

Tundaan lalu lintas rata-rata pada suatu pendekat i dapat ditentukan dari Persamaan 2.24.

$$T_{LL} = s \times \frac{0,5 \times (1 - RH)^2}{(1 - RH \times DJ)} + \frac{Nq_1 \times 3600}{C} \quad (2.24)$$

dengan :

s = waktu siklus yang disesuaikan (detik),

N_{q1} = jumlah kendaraan terhenti yang tersisa dari fase hijau sebelumnya,

C = kapasitas (smp/jam), dan

D_j = derajat kejenuhan.

2. Tundaan geometri

Tundaan geometri rata-rata pada suatu pendekat i dapat ditentukan dari Persamaan 2.25.

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad (2.25)$$

dengan :

P_B = porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat, dan

R_{KH} = rasio kendaraan berhenti.

Tundaan (T) merupakan penjumlahan dari tundaan lalu lintas (TLL) dan tundaan geometri (TG), yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.26.

$$T = T_{LL} + T_G \quad (2.26)$$

Tundaan rata-rata seluruh simpang (T_1) adalah perbandingan nilai tundaan dengan arus total (q_{Tot}) dalam satuan smp/jam seperti pada Persamaan 2.27.

$$T_1 = \frac{\sum(q \times T)}{q_{Total}} \quad (2.27)$$

2.15 Pemodelan Lalu Lintas dengan *Software* PTV. VISSIM

PTV Vissim Adalah paket perangkat lunak simulasi aliran lalu lintas multi-moda berskala mikro yang dikembangkan oleh PTV Planung Transport Verkeher AG di Karlsruhe, Jerman. Perangkat lunak ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1992. Nama tersebut berasal dari Bahasa Jerman “Verkehr In Städten – Simulations Model yang artinya simulasi lalu lintas perkotaan”. (*VISSIM.Pdf*, n.d.)

Menurut Bintang (2021) *Software* VISSIM digunakan sebagai evaluasi berbagai langkah alternatif berdasarkan langkah rekayasa transportasi dan perencanaan efektivitas. Beberapa kegunaan *PTV VISSIM* dalam pemodelan adalah sebagai berikut.

1. Arteri Simulasi

a. Model jaringan jalan

b. Simulasi persimpangan terhadap semua mode kendaraan

c. Analisa karakteristik antrean

d. Desain waktu sinyal

2. Simulasi Transportasi Publik

- a. Semua rincian model untuk bus, BRT, Trem, LRT, dan MRT
 - b. Analisa peningkatan operasi public transportasi tertentu
 - c. Menguji dan mengoptimalkan secara standar waktu bersinyal transportasi publik menurut prioritas perencanaan
3. Simulasi Pejalan Kaki
 - a. Model pejalan kaki di lingkungan multimodal
 - b. Perencanaan evakuasi dari bangunan dan acara khusus
 4. Motorway Simulasi
 - a. Simulasi manajemen lalu lintas aktif dan sistem transportasi cerdas
 - b. Uji dan menganalisis strategi zona kerja

2.16 Kalibrasi dan Validasi *Software* PTV VISSIM

Kalibrasi pada *Software PTV VISSIM* merupakan proses dalam membentuk nilai-nilai parameter yang sesuai sehingga model dapat mewakili kondisi lalu lintas yang semirip mungkin. Proses kalibrasi dapat dilakukan berdasarkan perilaku pengemudi pada lokasi yang diamati. Metode yang digunakan adalah *trial and error* dengan mengacu kepada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai kalibrasi dan validasi menggunakan *Software PTV VISSIM*. Validasi pada *Software PTV VISSIM* merupakan proses pengujian kebenaran dari kalibrasi dengan membandingkan hasil survey dengan hasil simulasi. (Bintang, 2021)

Validasi sangat diperlukan dalam analisis menggunakan *software PTV VISSIM*. Validasi adalah perbandingan parameter yang diperoleh dari lapangan terhadap hasil simulasi dengan menggunakan *PTV VISSIM*. Kalibrasi dilakukan apabila ternyata hasil validasi tidak memenuhi persyaratan.

2.16.1 Uji GEH

Proses validasi dilakukan berdasarkan jumlah volume arus lalu lintas. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan rumus dasar *Chi-squared* berupa rumus statistik *Geoffery E. Havers (GEH)* (Gustavsson, 2007). *GEH* merupakan rumus statistik modifikasi dari uji T dengan menggabungkan perbedaan antara nilai relatif dan mutlak. Rumus *GEH* dapat dilihat pada Persamaan 2.28 sebagai berikut.

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \times (q_{simulated} - q_{observed})^2}{(q_{simulated} + q_{observed})}} \quad (2.28)$$

dengan:

$q_{simulated}$ = data volume arus lalu lintas hasil simulasi (kendaraan/jam), dan

$q_{observed}$ = data volume arus lalu lintas hasil observasi (kendaraan/jam).

Rumus *GEH* memiliki ketentuan khusus dari nilai *error* yang dihasilkan seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.27 sebagai berikut.

Tabel 2.9 Ketentuan Nilai *Error* Rumus Statistik *Geoffery E. Havers*

Nilai GEH	Keterangan
$GEH < 5,0$	Diterima
$5,0 \leq GEH \leq 10,0$	Peringatan: kemungkinan model error atau data buruk
$GEH > 10,0$	Ditolak

Sumber : *Gustavsson (2007)*

2.16.2 Uji MAPE

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah rata-rata dari perbedaan absolut antara nilai prediksi dan nilai aktual, yang dinyatakan dalam bentuk persentase dari perbedaan tersebut. MAPE dihitung dengan mengambil kesalahan absolut setiap periode, yang diperoleh dari selisih antara data aktual dan hasil peramalan, kemudian membaginya dengan nilai data aktual. Hasil perhitungan ini kemudian dirata-rata untuk mendapatkan persentase absolut rata-ratanya (Wisera dkk., 2018). Sebuah model dianggap memiliki kinerja sangat baik jika nilai MAPE berada di bawah 10%, dan memiliki kinerja baik jika nilai MAPE berada antara 10% dan 20% (Novita dkk., 2022). Rumus untuk menghitung MAPE dapat dilihat pada Persamaan 2.29

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|x_t - f_t|}{x_t} \times 100\% \quad (2.29)$$

dengan :

x_t = Data actual periode t, dan

f_t = Nilai forecasting pada periode t.

Hasil uji *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang bervariasi memiliki kesimpulan seperti pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Kesimpulan Uji MAPE

MAPE	Kesimpulan
< 10 %	Hasil prediksi sangat akurat
10 – 20 %	Hasil prediksi baik
20 – 50 %	Hasil prediksi layak
> 50 %	Hasil prediksi tidak akurat

Sumber: Gustavsson (2007)