

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Persimpangan sebagai pertemuan dari beberapa ruas jalan merupakan titik kritis pada jaringan jalan. Pada bagian kritis ini, potensi permasalahan yang dapat terjadi digambarkan dengan banyaknya pertemuan beberapa arus dari berbagai arah pergerakan kendaraan pada titik yang sama di persimpangan. Pergerakan tersebut, terutama arah kendaraan yang membelok ke kanan dan lurus, adalah konflik-konflik penyebab kemacetan dan kecelakaan. Konflik-konflik inilah yang mempengaruhi baik buruknya kinerja suatu simpang.

Meningkatnya volume lalu lintas yang cukup pesat akibat laju aktivitas manusia pada beberapa dasawarsa terakhir di Kecamatan Delitua telah menimbulkan permasalahan lalu lintas dalam taraf yang cukup serius. Hal ini menuntut adanya prasarana transportasi jalan yang layak yang dapat menjamin keselamatan dan kenyamanan bagi pemakainya. Secara lebih spesifik, permasalahan di Delitua sangat terasa, di dimana laju pertumbuhan prasarana transportasi tidak dapat menunjang laju pertumbuhan kendaraan yang meningkat. Petunjuk ini dapat diamati pada banyak lokasi rawan kemacetan (trouble spot), sehingga pergerakan arus lalu lintasnya selalu berada dalam kondisi terganggu (interrupted flow) yang sering menimbulkan adanya kemacetan, antrian, pelanggaran, dan kecelakaan lalu lintas. Peningkatan kualitas prasarana transportasi yang mengarah kepada peningkatan kondisi geometrik jalan merupakan salah satu solusi yang diharapkan untuk dapat mengurangi tingkat kemacetan yang ada, setidaknya untuk proyeksi jangka waktu tertentu.

Perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari proses perencanaan yang berhubungan dengan penentuan dimensi jalan. Penentuan dimensi jalan tersebut disesuaikan dengan tuntutan serta keadaan lalu lintas, sehingga dihasilkan suatu bentuk jalan yang optimum, aman, dan nyaman yang masih dalam batas-batas pertimbangan ekonomi yang layak. Pada dasarnya ada empat bagian utama yang tercakup dalam perencanaan geometrik jalan, yaitu pemilihan trase, penentuan penampang melintang, perencanaan alinyemen horizontal, dan perencanaan alinyemen vertikal. Perencanaan geometrik hanya menghasilkan bentuk fisik jalan yang nyata dan tidak menyangkut aspek-aspek perencanaan tebal perkerasan serta pelaksanaan konstruksi jalan yang bersangkutan. Transportasi merupakan salah satu sektor penting yang berperan besar dalam mendukung perkembangan ekonomi dan sosial di suatu wilayah. Salah satu elemen utama dalam sistem transportasi adalah jaringan jalan yang memadai, yang berfungsi untuk menghubungkan berbagai daerah dan mempermudah distribusi barang serta mobilitas manusia. Pembangunan jalan yang efektif dan efisien diharapkan dapat meningkatkan konektivitas antar wilayah, memperlancar arus barang dan jasa, serta mendorong pertumbuhan ekonomi. Transportasi merupakan bagian vital dalam kehidupan masyarakat dan menjadi tulang punggung pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Salah satu komponen utama dalam sistem transportasi jalan raya adalah persimpangan. Persimpangan merupakan titik temu antar jalan yang memungkinkan terjadinya perubahan arah dan pergerakan kendaraan dari satu jalur ke jalur lain. Oleh karena itu, kondisi dan perencanaan geometrik persimpangan sangat berpengaruh terhadap kelancaran, kenyamanan, dan keselamatan lalu lintas.

Dalam perencanaan lalu lintas, persimpangan seringkali menjadi titik kritis karena di tempat inilah arus lalu lintas dari berbagai arah bertemu dan berinteraksi. Persimpangan yang tidak didesain dengan baik dapat menyebabkan penurunan kapasitas jalan, peningkatan waktu tunda (delay), serta peningkatan risiko kecelakaan. Geometri simpang yang tidak sesuai standar juga dapat menimbulkan kebingungan bagi pengemudi, memperbesar potensi konflik antar kendaraan, serta membahayakan keselamatan pengguna jalan lain seperti pejalan kaki dan pesepeda.

Di Kecamatan Deli Tua, Kabupaten Deli Serdang, terdapat sebuah persimpangan tak bersinyal antara Jalan Besar Deli Tua dan Jalan Pamah, yang merupakan jalur utama penghubung antar kawasan permukiman dan pusat aktivitas masyarakat. Persimpangan ini memiliki arus lalu lintas yang padat, terutama pada jam-jam sibuk di pagi dan sore hari. Namun, berdasarkan observasi awal, persimpangan ini belum memiliki penataan geometrik yang baik, seperti radius belok yang kecil, lebar lajur yang tidak sesuai standar, serta tidak adanya fasilitas penunjang seperti marka jalan, rambu, dan trotoar.

Kondisi tersebut menimbulkan berbagai permasalahan lalu lintas seperti antrean panjang, konflik manuver kendaraan, dan potensi kecelakaan lalu lintas. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi dan perencanaan ulang terhadap kondisi geometrik persimpangan ini dengan mengacu pada standar teknis yang berlaku, seperti Manual Desain Geometrik Jalan (Bina Marga, 2017), Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997), dan SNI 7391:2008. Dengan melakukan perencanaan geometrik yang tepat, diharapkan kinerja simpang dapat ditingkatkan, risiko kecelakaan menurun, serta memberikan kenyamanan dan keselamatan bagi seluruh pengguna jalan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang terjadi pada lokasi penelitian sebagai berikut:

1. Terjadi peningkatan volume kendaraan pada jam-jam sibuk yang menyebabkan penumpukan arus lalu lintas di simpang.
2. Tidak adanya alat pengatur lalu lintas berupa sinyal menyebabkan kendaraan dari jalan minor mengalami kesulitan memperoleh celah untuk melintas.
3. Kondisi geometrik simpang yang terbatas, seperti lebar pendekat dan tidak adanya median, berpotensi mengurangi kapasitas simpang.
4. Aktivitas kendaraan yang berbelok kanan dan kiri serta keberadaan parkir di sekitar simpang menambah hambatan samping dan memperbesar tundaan.
5. Belum diketahui besarnya nilai kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan rata-rata, serta tingkat pelayanan (Level of Service) simpang berdasarkan pedoman Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997).
6. Diperlukan analisis untuk mengetahui apakah kinerja simpang masih berada dalam kategori baik atau sudah memerlukan penanganan, seperti rekayasa lalu lintas atau pemasangan sinyal.

Dengan mengidentifikasi permasalahan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kinerja eksisting simpang tak bersinyal dan memberikan dasar bagi upaya peningkatan kelancaran lalu lintas di kawasan penelitian.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi geometrik dan kinerja simpang tak bersinyal pada persimpangan Jalan Besar Deli Tua – Jalan Pamah di Kecamatan Deli Tua, Kabupaten Deli Serdang?
2. Faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya konflik lalu lintas, hambatan samping, dan penurunan kinerja pada simpang tersebut?
3. Bagaimana perencanaan penerapan simpang bersinyal (traffic light) yang optimal berdasarkan pedoman MKJI 1997 dan PPTGS untuk meningkatkan efisiensi lalu lintas di persimpangan tersebut?

1.4 Pembatasan Masalah

1. Penelitian hanya difokuskan pada analisis dan perencanaan geometrik serta sistem sinyal lalu lintas (APILL) pada persimpangan Jalan Besar Deli Tua – Jalan Pamah – Jalan Teratai.
2. Data yang digunakan meliputi data primer hasil survei lapangan dan data sekunder dari MKJI 1997 serta PPTGS tanpa mempertimbangkan faktor sosial-ekonomi pengguna jalan.
3. Analisis hanya mencakup aspek kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, dan tingkat pelayanan simpang tanpa membahas desain struktur perkerasan maupun biaya pelaksanaan konstruksi.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah untuk merencanakan geometrik dan traffic light pada persimpangan ruas jalan medan delitua – jalan pamah – jalan Teratai di kecamatan deli tua kabupaten deli Serdang provinsi Sumatra utara dengan menggunakan metode pedoman perencanaan teknis geometrik jalan,(PPTGS) dan manual kapasitas jalan Indonesia (MKJI 1997).

1.6 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi berbagai pihak baik sebagai karya ilmiah ataupun referensi yang dapat berkembang, serta dapat menjadi rekomendasi pada penelitian lebih lanjut.
2. Manfaat Praktis
 - a. Sebagai kontribusi dalam dunia pendidikan, khususnya dalam hal pengembangan ilmu pengetahuan.
 - b. Sebagai bahan masukan bagi pelengkap referensi maupun bahan pendamping bagi mahasiswa yang ingin mengadakan penelitian dibidang yang sama.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan yang digunakan untuk Menyusun proposal penelitian adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah , tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan penguraian penelitian terdahulu untuk dijadikan acuan melaksanakan penelitian secara literatur yang berhubungan dengan topik yang di ambil.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini mencangkup metode penelitian,sumber data, Teknik pengumpulan data,Lokasi Penelitian dan prosedur penelitian.

BAB IV ANALISA DATA

Bab ini membahas tentang hasil penelitian dan menganalisis data yang diperoleh dari penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997), simpang tak bersinyal (*unsignalized intersection*) adalah simpang yang pengaturannya dilakukan tanpa menggunakan alat pengendali lalu lintas berupa sinyal tiga warna. Arus lalu lintas diatur berdasarkan aturan prioritas (prioritas utama dan minor) atau pengendalian oleh marka dan rambu lalu lintas.

Simpang tak bersinyal umumnya digunakan pada daerah dengan volume lalu lintas rendah hingga sedang, di mana penggunaan sinyal lalu lintas belum dianggap perlu. Tujuan utama analisis simpang tak bersinyal adalah untuk mengetahui kapasitas, derajat kejenuhan, serta tundaan rata-rata yang terjadi pada tiap pendekat simpang.

1. Kapasitas (Capacity)

Kapasitas suatu pendekat simpang tak bersinyal adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat melewati pendekat tersebut per satuan waktu dalam kondisi arus jenuh. Kapasitas tergantung pada volume lalu lintas di jalan utama, prioritas arus, geometri simpang, serta perilaku pengemudi.

Rumus kapasitas dasar pada simpang tak bersinyal menurut MKJI (1997):

$$C = C_0 \times F_w \times F_m \times F_{cs} \times F_p \times F_{RT} \times F_{LT}$$

Keterangan:

C = Kapasitas pendekat (smp/jam)

C_0 = Kapasitas dasar (smp/jam)

F_w = Faktor penyesuaian lebar pendekat

Fm = Faktor penyesuaian median

Fcs = Faktor penyesuaian ukuran kota

Fp = Faktor penyesuaian parkir

FRT = Faktor penyesuaian belok kanan (Right Turn)

FLT = Faktor penyesuaian belok kiri (Left Turn)

Nilai kapasitas dasar (C_0) ditentukan berdasarkan kelas jalan dan tipe simpang (T, Y, atau empat lengan), serta kondisi prioritas lalu lintas.

2. Derajat Kejenuhan (Degree of Saturation)

Derajat kejenuhan (DS) menunjukkan perbandingan antara volume lalu lintas yang datang dengan kapasitas pendekat. Nilai DS digunakan untuk menilai apakah suatu pendekat simpang masih berfungsi baik atau sudah jenuh.

Rumusnya:

$$DS = Q / C$$

Keterangan:

DS = Derajat kejenuhan

Q = Arus lalu lintas aktual (smp/jam)

C = Kapasitas pendekat (smp/jam)

MKJI (1997) menyatakan bahwa apabila $DS \leq 0,75$ maka kondisi simpang masih baik. Namun bila $DS > 1$, maka simpang dianggap jenuh dan perlu penanganan seperti pelebaran atau pemberian sinyal.

3. Tundaan Rata-Rata (Average Delay)

Tundaan rata-rata adalah waktu tambahan yang dialami kendaraan ketika melewati simpang akibat interaksi antar arus lalu lintas dan pemberian

prioritas. MKJI membedakan dua jenis tundaan yaitu tundaan lalu lintas (DT) dan tundaan geometrik (DG).

Rumus tundaan total per kendaraan:

$$D = DT + DG$$

Untuk tundaan lalu lintas (DT), MKJI memberikan rumus pendekatan sebagai berikut:

$$DT = 900 \times ((Q / C)^2) / (1 - (Q / C))$$

Keterangan:

D = Tundaan total (detik/kendaraan)

DT = Tundaan akibat interaksi lalu lintas (detik/kendaraan)

DG = Tundaan akibat kondisi geometrik (detik/kendaraan)

Q = Arus lalu lintas aktual (smp/jam)

C = Kapasitas pendekat (smp/jam)

Semakin besar nilai DS atau Q/C, semakin besar pula nilai tundaan yang dialami kendaraan.

4. Panjang Antrian (Queue Length)

Panjang antrian adalah jumlah kendaraan yang menunggu untuk memperoleh kesempatan melintas pada suatu pendekat simpang. Panjang antrian dipengaruhi oleh volume lalu lintas, prioritas, dan kapasitas pendekat.

Rumus panjang antrian rata-rata:

$$QL = 0,25 \times c \times (Q / C)$$

Keterangan:

QL = Panjang antrian rata-rata (m)

c = Waktu siklus pergerakan rata-rata (detik)

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

Apabila nilai Q/C mendekati 1, maka panjang antrian meningkat secara signifikan dan dapat menyebabkan tundaan yang besar.

5. Tingkat Pelayanan (Level of Service)

Tingkat pelayanan (Level of Service atau LOS) menggambarkan kualitas kinerja simpang dari sudut pandang pengguna jalan. MKJI (1997) mendasarkan LOS pada nilai tundaan rata-rata (D) per kendaraan seperti berikut:

Tabel 2.1 Tingkat pelayanan (LOS) untuk simpang tak bersinyal

Tingkat Pelayanan	Tundaan Rata-Rata (detik/kendaraan)	Kondisi Operasional
A	≤ 5	Arus sangat lancar, tanpa tundaan
B	5 – 15	Arus stabil, tundaan kecil
C	15 – 25	Arus mulai padat, tundaan ringan
D	25 – 40	Arus mendekati jenuh
E	40 – 60	Kondisi hampir jenuh, tundaan berat
F	> 60	Kondisi jenuh, antrian panjang

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997), Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.

LOS yang baik umumnya berada pada tingkat A–C, sedangkan LOS D–F menunjukkan kinerja simpang menurun.

6. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Simpang Tak Bersinyal

Beberapa faktor utama yang memengaruhi kinerja simpang tak bersinyal antara lain:

- a. Geometri simpang, seperti jumlah lajur, lebar pendekat, dan keberadaan median.
- b. Volume lalu lintas, baik di jalan utama maupun jalan minor.
- c. Tingkat prioritas, di mana kendaraan dari jalan utama memiliki hak lebih dahulu melintas.
- d. Kehadiran pejalan kaki dan aktivitas parkir di dekat simpang.
- e. Perilaku pengemudi dalam mengambil celah (gap acceptance).

7. Prosedur Analisis Menurut MKJI (1997)

MKJI (1997) menyarankan langkah-langkah analisis simpang tak bersinyal sebagai berikut:

- a. Mengumpulkan data geometrik dan volume lalu lintas.
- b. Menentukan kapasitas dasar (C_0) dan faktor penyesuaian.
- c. Menghitung kapasitas pendekat (C).
- d. Menentukan derajat kejenuhan (DS).
- e. Menghitung tundaan rata-rata (D).
- f. Menentukan tingkat pelayanan (LOS).

Landasan teori ini menjadi dasar dalam analisis kinerja simpang tak bersinyal, untuk mengetahui apakah suatu simpang masih berfungsi optimal atau sudah perlu dilakukan perbaikan rekayasa lalu lintas.

2.2 Pengertian Persimpangan Jalan Secara Umum

Persimpangan jalan adalah suatu lokasi di mana dua atau lebih ruas jalan bertemu atau berpotongan sehingga memungkinkan perpindahan arus lalu lintas dari satu ruas jalan ke ruas jalan lain. Persimpangan ini menjadi titik penting dalam jaringan jalan karena merupakan lokasi utama interaksi antar pengguna jalan dan

sering menjadi sumber konflik lalu lintas jika tidak dirancang dan diatur dengan baik.

Persimpangan jalan dapat berupa pertemuan dua ruas jalan yang sama atau berbeda tingkat (seperti pertemuan jalan dua arah atau pertemuan jalan bertingkat). Fungsi utama persimpangan adalah mengatur dan memfasilitasi pergerakan kendaraan dan pejalan kaki agar dapat berpindah dari satu arah ke arah lain dengan aman dan efisien.

2.2.1 Jenis-Jenis Persimpangan Jalan

Secara umum, persimpangan jalan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan pengaturan lalu lintasnya (Hasibuan et al., 2020):

1. Persimpangan Tak Bersinyal (Unsignalized Intersection) :

Persimpangan yang arus lalu lintasnya diatur berdasarkan prioritas jalan dan aturan lalu lintas tanpa menggunakan lampu isyarat. Contoh: persimpangan stop sign, yield sign.

2. Persimpangan Bersinyal (Signalized Intersection) :

Persimpangan yang menggunakan lampu lalu lintas sebagai alat pengatur aliran kendaraan dan pejalan kaki secara bergantian.

3. Persimpangan Bertingkat (Grade Separated Intersection) :

Persimpangan yang dirancang dengan jalan layang atau terowongan untuk memisahkan arus lalu lintas sehingga tidak terjadi konflik secara langsung.

4. Persimpangan Bundaran (Roundabout) :

Persimpangan melingkar yang mengatur arus kendaraan dengan prinsip memberi prioritas pada kendaraan yang sudah berada di dalam bundaran.

2.3 Pengertian dan Fungsi Persimpangan Jalan bersinyal

2.3.1 Pengertian Persimpangan Jalan Bersinyal

Simpang bersinyal adalah suatu persimpangan jalan yang pergerakan kendaraan dan pejalan kakinya diatur oleh sistem lampu isyarat lalu lintas (traffic signal) secara bergantian menggunakan warna-warna lampu merah, kuning, dan hijau. Sistem ini berfungsi untuk mengendalikan arus lalu lintas sehingga kendaraan dari berbagai arah bisa melewati persimpangan dengan aman dan teratur

2.3.2 Komponen dan Sistem Operasi

Sistem lampu isyarat terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Lampu Merah: Memberi sinyal kendaraan untuk berhenti.
2. Lampu Kuning: Memberi peringatan agar pengemudi bersiap untuk berhenti.
3. Lampu Hijau: Memberi izin kendaraan untuk melewati persimpangan.

Lampu-lampu ini bekerja berdasarkan siklus waktu yang telah diatur sedemikian rupa sesuai kondisi lalu lintas di lokasi persimpangan. Siklus ini diatur agar arus kendaraan dari berbagai arah mendapat giliran secara bergantian dan terkoordinasi.

2.3.3 Waktu Hijau dan Siklus Panjang Antrian

2.3.3.1 Pengertian Waktu Hijau

Waktu hijau (green time) adalah durasi dalam satu siklus lampu lalu lintas di mana sinyal berwarna hijau menyala, memberikan izin kepada kendaraan atau pejalan kaki dari arah tertentu untuk melewati persimpangan (Harahap & Dewi, 2019). Waktu hijau merupakan salah satu parameter penting dalam pengaturan

sinyal lalu lintas karena menentukan kapasitas maksimal yang dapat dilayani oleh suatu fase persimpangan.

Waktu hijau terdiri dari dua komponen utama:

1. Waktu Hijau Nominal: Total durasi lampu hijau menyala dalam satu siklus.
2. Waktu Hijau Efektif : Waktu hijau nominal dikurangi waktu hilang (lost time) seperti waktu transisi dari hijau ke kuning dan waktu start-up kendaraan saat lampu berubah dari merah ke hijau.

Pengaturan waktu hijau yang tepat sangat penting agar kendaraan dapat bergerak dengan lancar tanpa menimbulkan antrean panjang dan kemacetan.

2.2.3.2 Pengertian Siklus Panjang Antrian

Siklus panjang antrian merujuk pada kondisi di mana panjang antrean kendaraan di persimpangan terus bertambah secara signifikan dan tidak terlayani dalam satu siklus lampu hijau (Putra & Sari, 2018). Hal ini terjadi ketika jumlah kendaraan yang datang pada suatu fase melebihi kapasitas pelayanan yang dapat diberikan dalam waktu hijau yang tersedia.

Faktor penyebab siklus panjang antrian antara lain:

1. Waktu hijau yang kurang memadai dibandingkan volume kendaraan yang harus dilayani.
2. Volume kendaraan yang melebihi kapasitas jalur, sehingga kendaraan yang tidak terlayani menumpuk di belakang.
3. Siklus sinyal yang tidak seimbang atau tidak disesuaikan dengan kondisi lalu lintas yang sebenarnya

2.3.4 Komponen dan Mekanisme Kerja Simpang Bersinyal

Sistem pengendalian lalu lintas pada simpang bersinyal terdiri dari beberapa komponen utama:

1. Lampu Isyarat: Mengatur waktu pergerakan kendaraan dan pejalan kaki dari masing-masing arah.
2. Pengatur Waktu (Timer Controller): Mengatur siklus dan durasi lampu hijau, kuning, dan merah.
3. Sensor Lalu Lintas (opsional): Mendeteksi volume kendaraan untuk mengoptimalkan durasi lampu secara dinamis.
4. Rambu dan Markah Jalan: Melengkapi pengaturan agar pengguna jalan mengikuti aturan dengan jelas.

Mekanisme kerja simpang bersinyal melibatkan pembagian waktu siklus secara proporsional untuk tiap arah agar arus kendaraan dapat bergerak dengan lancar dan terhindar dari konflik.

2.3.5 Fungsi Persimpangan Jalan Bersinyal

Fungsi utama persimpangan bersinyal meliputi beberapa aspek penting sebagai berikut (Hasibuan et al., 2020):

1. Pengaturan aliran lalu lintas :
Sinyal lalu lintas memberikan giliran dan waktu tertentu bagi kendaraan dari setiap arah untuk bergerak secara bergantian, sehingga konflik pergerakan dapat diminimalkan.
2. Meningkatkan keselamatan :

Dengan memberikan pengaturan waktu yang jelas, persimpangan bersinyal mampu mengurangi kecelakaan akibat benturan silang dan tabrakan yang biasa terjadi pada persimpangan tak bersinyal.

3. Meningkatkan kapasitas dan kelencaran :

Penentuan waktu siklus lampu yang tepat dan penggunaan jalur belok khusus dapat meningkatkan kapasitas persimpangan, sehingga mengurangi antrean dan kemacetan.

4. Fasilitas pejalan kaki :

Persimpangan bersinyal biasanya dilengkapi dengan fasilitas pejalan kaki seperti lampu penyeberangan, memberikan kesempatan aman untuk menyeberang jalan.

5. Pengaturan manuver kendaraan :

pengaturan jalur belok dan waktu sinyal mengurangi gangguan antar kendaraan yang melakukan manuver belok dengan arus utama, sehingga arus lalu lintas tetap terjaga.

2.3.6 Jenis-Jenis Simpang Bersinyal

Berdasarkan pengaturan waktu dan teknologi, simpang bersinyal dapat dibedakan menjadi:

1. Simpang bersinyal tetap

Menggunakan waktu siklus yang statis dan tidak berubah sepanjang waktu.

Cocok untuk lokasi dengan pola lalu lintas yang konsisten.

2. Simpang bersinyal adaptif

Waktu siklus dan durasi lampu hijau disesuaikan secara dinamis berdasarkan volume lalu lintas real-time menggunakan sensor atau teknologi cerdas.

2.3.7 Karakteristik Persimpangan Bersinyal

Beberapa karakteristik khas persimpangan bersinyal adalah:

1. Siklus waktu sinyal

Persimpangan bekerja dengan siklus waktu tertentu yang terdiri dari fase hijau, kuning, dan merah, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan lalu lintas.

2. Fase sinyal

Pengaturan fase sinyal memungkinkan kendaraan dari arah berbeda bergerak secara bergantian, mengakomodasi berbagai gerakan seperti belok kiri, lurus, dan belok kanan.

3. Kemampuan Adaptif

Ada sistem sinyal modern, waktu siklus dan fase dapat diubah secara adaptif berdasarkan volume lalu lintas aktual, memaksimalkan efisiensi persimpangan.

2.3.8 Studi Kasus di Wilayah Deli Tua

Sari dan Hamzah (2021) dalam penelitian mereka di Kabupaten Deli Serdang mengamati bahwa persimpangan bersinyal di Deli Tua merupakan titik kritis lalu lintas yang mengalami kepadatan tinggi terutama pada jam sibuk pagi dan sore. Penggunaan sinyal lalu lintas di persimpangan tersebut berfungsi untuk mengatur aliran kendaraan dari berbagai arah, termasuk kendaraan berat dan transportasi umum, sehingga mampu mengurangi potensi kecelakaan dan kemacetan. Namun, efektivitas sistem sinyal sangat bergantung pada kesesuaian

desain geometrik persimpangan dan pengaturan waktu sinyal yang optimal. Ketidaksesuaian parameter seperti lebar lajur, radius tikungan, serta durasi fase hijau dapat menyebabkan antrian panjang dan gangguan arus lalu lintas.

Penelitian serupa oleh An, Yu, dan Sun (2022) menunjukkan bahwa pengaturan waktu sinyal berbasis algoritma cerdas mampu mengoptimalkan durasi lampu lalu lintas, menurunkan waktu tundaan, serta meningkatkan kapasitas simpang secara signifikan. Yalcinli, Ates, dan Tanyel (2024) menambahkan bahwa model manajemen lalu lintas adaptif pada simpang bersinyal dapat menyesuaikan fase sinyal secara real-time berdasarkan kondisi arus kendaraan aktual, sehingga efisiensi pergerakan kendaraan dapat ditingkatkan tanpa perlu perubahan besar pada infrastruktur fisik. Grigonis, Andriejauskas, dan Mačiulis (2023) menekankan bahwa kinerja simpang bersinyal juga sangat dipengaruhi oleh tata letak geometrik dan fase penyeberangan pejalan kaki, di mana integrasi antara pengaturan kendaraan dan pejalan kaki dapat mengurangi konflik pergerakan secara signifikan.

Sementara itu, Akbardin, Putri, dan Surbakti (2025) melalui studi di Kota Bandung menemukan bahwa peningkatan kinerja simpang bersinyal dapat dicapai melalui koordinasi antar simpang serta penyempurnaan desain geometrik berdasarkan pedoman MKJI dan PPTGS. Hasil temuan dari kelima penelitian tersebut mengindikasikan bahwa kombinasi antara desain geometrik yang sesuai standar dan pengaturan sinyal yang adaptif merupakan kunci utama dalam meningkatkan efisiensi dan keselamatan lalu lintas pada simpang bersinyal, termasuk di wilayah Deli Tua.

2.4 Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) untuk Persimpangan Bersinyal

2.4.1 Prinsip Dasar MKJI pada Persimpangan Bersinyal

MKJI 1997 menyediakan metode standar perhitungan kapasitas dan kinerja persimpangan bersinyal, dengan fokus pada parameter operasional seperti:

1. Waktu Siklus (Cycle Time, C): Total waktu satu siklus lampu lengkap (hijau + kuning + merah).
2. Waktu Hijau Efektif (Effective Green Time, g): Waktu dimana arus kendaraan diizinkan bergerak bebas tanpa hambatan.
3. Waktu Hijau per Siklus (g/C): Proporsi waktu hijau dalam siklus, yang menentukan kapasitas arus.

MKJI menggunakan model empiris untuk menghitung kapasitas setiap gerakan (lurus, belok kiri, belok kanan) berdasarkan waktu hijau dan kondisi geometric

2.4.2 Rumus-Rumus MKJI Untuk Persimpangan Bersinyal

1. Rumus Waktu Siklus Optimal (Webster Formula)

Waktu siklus CCC merupakan total durasi satu siklus lampu lalu lintas (lampu hijau + kuning + merah). Menentukan waktu siklus optimal sangat penting agar waktu tunggu kendaraan minimum dan kapasitas maksimal.

$$C = \frac{1,5L+5}{1-Y} \dots\dots\dots 2.1$$

- C = waktu siklus optimal (detik)
- L = total lost time dalam satu siklus (detik), biasanya 3-5 detik per fase

- Y = jumlah fraksi waktu hijau terhadap siklus dari seluruh fase utama, dihitung sebagai:

$$Y = \sum \frac{v_i}{s_i} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

- v_i = volume kendaraan pada gerakan ke-iii (smp/jam)
- s_i = arus jenuh gerakan ke-iii (smp/jam)

2. Rumus Kapasitas per Gerakan

Kapasitas C_i untuk gerakan ke-i dihitung dengan rumus:

$$C_i = S_i \times \frac{g_i}{c} \dots\dots\dots 2.3$$

- C_i = kapasitas gerakan iii (smp/jam)
- s_i = arus jenuh gerakan iii (smp/jam)
- g_i = waktu hijau efektif untuk gerakan iii (detik)
- c = waktu siklus (detik)

Waktu hijau efektif g_i biasanya didapat dengan mengurangi waktu start-up dan clearance dari waktu hijau nominal.

3. Rumus Derajat Kejenuhan (Degree of Saturation, DS)

Derajat kejenuhan DS_i mengukur tingkat pemanfaatan kapasitas persimpangan untuk gerakan ke-i:

$$DS_i = \frac{v_i}{c_i} \dots\dots\dots 2.4$$

- DS_i = derajat kejenuhan gerakan iii (tanpa satuan)
- v_i = volume kendaraan aktual gerakan iii (smp/jam)
- C_i = kapasitas gerakan iii (smp/jam)

Nilai DSi di bawah 1 berarti kapasitas masih mencukupi, sedangkan nilai lebih dari 1 menandakan volume melebihi kapasitas, yang menyebabkan kemacetan.

4. Rumus Waktu Tunggu Rata-Rata (Average Control Delay)

$$d_i = \frac{0.5C\left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \min(DSi, 1) \times \frac{g_i}{C}} + \frac{900T(DSi - 1) + (DSi - 1)^2}{2v_i(1 - DSi)} \dots\dots\dots 2.5$$

- d_i = waktu tunggu rata-rata (detik/ kendaraan)
- C = waktu siklus (detik)
- g_i = waktu hijau efektif (detik)
- DSi = derajat kejenuhan
- T = periode analisis (jam), biasanya 1 jam
- v_i = volume kendaraan (smp/jam)

Rumus ini terdiri dari dua komponen, yaitu waktu tunggu pada kondisi tidak jenuh dan tambahan delay pada kondisi jenuh/macet.

2.4.3 Faktor yang Mempengaruhi Kapasitas

Selain waktu siklus dan waktu hijau, faktor-faktor lain mempengaruhi kapasitas, antara lain:

1. Kondisi Geometrik: Lebar lajur, radius tikungan, dan adanya jalur belok khusus.
2. Jenis Kendaraan: Proporsi kendaraan berat (truk, bus) yang memperlambat aliran.
3. Pengaruh Pejalan Kaki dan Pengendara Sepeda Motor: Terutama di Indonesia, di mana interaksi ini cukup signifikan.

4. Efisiensi Operasi Sinyal: Sinkronisasi antar lampu di sepanjang koridor.

Penelitian Hasibuan et al. (2020) menunjukkan bahwa kapasitas persimpangan bersinyal di Medan menurun sekitar 10-15% jika lebar lajur kurang dari 3,5 m dan radius tikungan kurang dari 15 m, akibat gangguan manuver kendaraan berat dan interaksi pengguna jalan lainnya.

2.4.4 Studi Kasus di Deli Tua

Pada persimpangan bersinyal di Deli Tua, Sari dan Hamzah (2021) melakukan survei dan menemukan waktu siklus rata-rata 90 detik dengan waktu hijau efektif untuk arus utama sekitar 40 detik. Namun, kapasitas aktual terbatas karena kondisi geometrik yang kurang sesuai standar (lebar lajur hanya 3 m dan radius tikungan sekitar 10 m).

Analisis MKJI menunjukkan derajat kejenuhan rata-rata 0,9 pada jam puncak, mengindikasikan kondisi hampir jenuh yang menyebabkan antrean panjang dan kemacetan. Penambahan jalur belok dan pelebaran lajur diusulkan untuk meningkatkan waktu hijau efektif dan kapasitas.

2.5 Peraturan Perencanaan Tata Geometri Jalan (PPTGS)

PPTGS yang diterbitkan oleh Kementerian PUPR merupakan standar teknis perencanaan geometri jalan di Indonesia, yang mencakup aspek desain geometrik jalan dan persimpangan (Sutanto & Hidayat, 2022). PPTGS menekankan bahwa perencanaan geometrik harus memperhatikan keamanan, kenyamanan, serta kemampuan jalan dalam menampung arus kendaraan sesuai klasifikasi jalan.

Dalam perencanaan persimpangan Jalan Deli Tua, parameter geometrik yang diatur dalam PPTGS sangat penting, seperti:

1. Lebar lajur: Minimal 3,5 m agar kendaraan dapat melaju dengan stabil dan aman, seperti yang ditunjukkan oleh studi Ramadhan dan Wibowo (2019) di Surabaya yang membandingkan kondisi lajur sempit dan standar, menunjukkan peningkatan kecepatan rata-rata dan pengurangan kecelakaan dengan lebar lajur yang sesuai.
2. Radius tikungan: Minimal 15 m agar kendaraan besar seperti truk dan bus dapat melakukan manuver dengan aman tanpa perlu memperlambat terlalu drastis. Studi Wulandari et al. (2020) di Semarang mengungkap bahwa radius tikungan yang kecil menyebabkan kendaraan berat harus melambat signifikan sehingga menimbulkan kemacetan dan potensi kecelakaan.
3. Jalur belok: Panjang jalur belok yang cukup untuk menampung kendaraan yang berbelok penting untuk menghindari gangguan arus utama. PPTGS mengatur panjang jalur belok berdasarkan volume kendaraan dan kecepatan rencana.

Studi oleh Sari dan Hamzah (2021) di Deli Serdang memperlihatkan bahwa persimpangan dengan lajur dan radius tikungan yang tidak memenuhi standar PPTGS mengakibatkan tingkat pelayanan rendah (LOS D) dan antrean panjang pada jam sibuk. Oleh karena itu, penerapan PPTGS secara konsisten dapat memperbaiki performa persimpangan.

2.6 Integrasi MKJI dan PPTGS dalam Perencanaan Persimpangan bersinyal

MKJI dan PPTGS sebenarnya saling melengkapi dalam proses perencanaan persimpangan. MKJI lebih menitikberatkan pada analisis kinerja lalu lintas dan

kapasitas, sementara PPTGS fokus pada parameter teknis desain geometrik yang harus dipenuhi agar kinerja tersebut dapat tercapai.

Dalam studi kasus di persimpangan Jalan Lubuk Pakam, Deli Serdang (Sari & Hamzah, 2021), penggunaan MKJI untuk mengukur kapasitas menunjukkan nilai DS yang tinggi, sementara analisis PPTGS mengungkap adanya ketidaksesuaian pada lebar lajur dan radius tikungan. Dengan mengintegrasikan kedua pedoman ini, perencana mampu memberikan solusi yang tidak hanya memenuhi kapasitas dan kelancaran arus, tetapi juga memenuhi standar keselamatan dan kenyamanan.

Hal ini juga diperkuat oleh Prasetyo et al. (2021) yang menyatakan bahwa kegagalan dalam memenuhi standar geometrik PPTGS akan mengurangi kapasitas aktual yang dihitung dengan MKJI, sehingga perbaikan geometrik merupakan langkah strategis untuk meningkatkan kinerja persimpangan.

2.6.1 Peran MKJI dalam Analisis Kinerja Persimpangan Bersinyal

MKJI memberikan metode perhitungan yang terstandarisasi untuk mengukur kinerja persimpangan bersinyal, terutama melalui:

- Penentuan Kapasitas Persimpangan: Menggunakan data waktu siklus, waktu hijau efektif, dan arus jenuh kendaraan (saturation flow rate). Kapasitas ini menggambarkan kemampuan maksimum persimpangan untuk melayani volume kendaraan tertentu dalam kondisi ideal (Harahap & Dewi, 2019).
- Perhitungan Derajat Kejenuhan (DS): DS sebagai indikator utama performa persimpangan, dihitung dari rasio volume kendaraan terhadap kapasitas. Nilai DS di atas 0,85 mengindikasikan kondisi persimpangan yang mulai

mengalami kemacetan dan membutuhkan tindakan perbaikan (Hasibuan et al., 2020).

- Analisis Level of Service (LOS): Memberikan gambaran kualitatif mengenai mutu pelayanan persimpangan, mulai dari kondisi lancar (LOS A) sampai macet (LOS F), yang berguna dalam pengambilan keputusan perencanaan.

MKJI memberikan gambaran kuantitatif yang mendalam tentang bagaimana arus lalu lintas akan beroperasi berdasarkan parameter waktu siklus dan waktu hijau, namun hasil perhitungan ini sangat bergantung pada kondisi fisik geometrik yang ada.

2.6.2 Fungsi PPTGS dalam Standarisasi Geometrik Persimpangan Bersinyal

Sementara itu, PPTGS berfokus pada aspek tata letak fisik persimpangan, yang mencakup:

1. Lebar Lajur dan Jalur Belok: PPTGS menentukan bahwa lebar lajur minimal 3,5 meter sangat penting untuk memastikan kendaraan dapat beroperasi dengan leluasa tanpa gangguan fisik. Jalur belok yang cukup panjang dan lebar mencegah penumpukan kendaraan yang akan berbelok ke jalur utama (Prasetyo et al., 2021).
2. Radius Tikungan: PPTGS menetapkan radius minimal 15 meter untuk mendukung kendaraan berat melakukan belokan tanpa perlu mengurangi kecepatan secara berlebihan, sehingga menghindari gangguan pada waktu hijau efektif (Wulandari et al., 2020).

3. Jarak Pandang Henti: Standar minimal 60 meter memastikan pengemudi dapat bereaksi dengan waktu cukup saat lampu merah, sehingga mengurangi risiko tabrakan (Sutanto & Hidayat, 2022).
4. Median dan Pulau Trafik: Didesain untuk memisahkan aliran lalu lintas yang berlawanan dan mengarahkan kendaraan dengan jelas agar meminimalisir konflik.

PPTGS menyediakan kerangka kerja desain geometrik agar persimpangan dapat beroperasi dengan efisien dan aman, yang secara langsung mempengaruhi nilai kapasitas dan kinerja yang dihitung dengan MKJI.

2.6.3 Pentingnya Integrasi Antara MKJI dan PPTGS

Analisis MKJI dan desain geometrik PPTGS tidak dapat berdiri sendiri jika ingin menghasilkan persimpangan bersinyal yang optimal. Hal ini karena:

1. MKJI bergantung pada kondisi geometrik: Kapasitas dan DS yang dihitung menggunakan MKJI sangat dipengaruhi oleh parameter geometrik seperti lebar lajur dan jalur belok. Jika lajur terlalu sempit atau radius tikungan terlalu kecil, kapasitas aktual menurun, meskipun perhitungan MKJI tanpa koreksi mungkin memberikan angka yang terlalu optimis (Sari & Hamzah, 2021).
2. PPTGS menentukan batas fisik: Standar geometrik yang disusun oleh PPTGS menetapkan batas minimum yang harus dipenuhi agar kondisi operasi yang dihitung di MKJI dapat tercapai. Dengan kata lain, PPTGS menyediakan kondisi lapangan agar waktu hijau efektif dan arus jenuh sesuai dengan kapasitas teoretis MKJI.

3. Kesesuaian keduanya meningkatkan efisiensi: Implementasi standar geometrik PPTGS memungkinkan pemanfaatan waktu siklus dan waktu hijau dalam MKJI secara optimal, sehingga meningkatkan kapasitas, menurunkan derajat kejenuhan, dan meningkatkan keselamatan (Hasibuan et al., 2020).

2.6.4 Studi Kasus Integrasi MKJI dan PPTGS pada Persimpangan Bersinyal di Deli Tua

Penelitian oleh Sari dan Hamzah (2021) di Kabupaten Deli Serdang memberikan gambaran nyata penerapan integrasi ini. Studi tersebut menemukan bahwa persimpangan bersinyal di wilayah Deli Tua memiliki masalah kapasitas yang sebagian besar disebabkan oleh geometri persimpangan yang tidak sesuai standar PPTGS, misalnya:

1. Lebar lajur hanya sekitar 3 m, kurang dari standar 3,5 m.
2. Radius tikungan kurang dari 12 m, sehingga kendaraan berat harus mengurangi kecepatan.
3. Jalur belok yang pendek menyebabkan antrean kendaraan berbelok meluber ke jalur utama.

Analisis kapasitas dengan MKJI menunjukkan derajat kejenuhan (DS) mencapai 0,9, menandakan kondisi hampir jenuh. Dengan melakukan perbaikan geometrik sesuai PPTGS—peningkatan lebar lajur, pelebaran jalur belok, dan peningkatan radius tikungan—kapasitas persimpangan dapat ditingkatkan sekitar 15-20%. Hasil simulasi MKJI yang dikombinasikan dengan desain geometrik PPTGS menunjukkan penurunan waktu tunggu dan antrean yang signifikan.

2.6.5 Kesimpulan dan Implikasi Perencanaan

Integrasi MKJI dan PPTGS dalam perencanaan persimpangan bersinyal menjadi fondasi penting dalam:

1. Merancang persimpangan yang mampu melayani volume lalu lintas aktual dan prediksi.
2. Memastikan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan dengan mengacu pada standar geometrik yang ketat.
3. Mengoptimalkan waktu siklus dan waktu hijau sehingga kapasitas persimpangan maksimal.
4. Mengurangi kemacetan dan potensi kecelakaan yang kerap terjadi akibat ketidaksesuaian geometrik dan analisis kapasitas yang kurang tepat.

Pendekatan integratif ini harus menjadi pedoman utama dalam perencanaan, evaluasi, dan perbaikan persimpangan bersinyal di Indonesia, termasuk di wilayah Deli Tua dan sekitarnya.

2.7 Pengaruh Geometrik Persimpangan terhadap Kinerja Lalu Lintas dan Keselamatan

Kinerja persimpangan sangat dipengaruhi oleh kondisi geometrik yang ada. Radius tikungan yang kecil dan lebar lajur yang sempit menyebabkan perlambatan kendaraan secara signifikan, seperti yang diteliti oleh Wulandari et al. (2020) di Kota Semarang. Dalam studi tersebut, radius tikungan kurang dari 12 m mengakibatkan penurunan kapasitas persimpangan hingga 20% dan peningkatan antrian kendaraan.

Nurhadi dan Santoso (2017) menambahkan bahwa perbaikan geometrik seperti pelebaran lajur dan peningkatan radius tikungan berkontribusi pada penurunan angka kecelakaan hingga 30%. Studi di Yogyakarta ini relevan dengan kondisi di Deli Tua yang memiliki karakteristik lalu lintas serupa, di mana kendaraan besar seperti truk juga sering melintas.

Selain itu, panjang jalur belok yang tidak memadai menyebabkan kendaraan berbelok harus menunggu di lajur utama, sehingga mengganggu kelancaran arus dan meningkatkan risiko kecelakaan. Kondisi serupa diamati oleh Ramadhan dan Wibowo (2019) di Surabaya, yang menyimpulkan bahwa jalur belok yang sesuai standar dapat menurunkan tingkat kemacetan dan konflik kendaraan.

2.7.1 Pengaruh Geometrik terhadap Kinerja Lalu Lintas

2.7.1.1 Lebar Lajur dan Jalur Belok

Lebar lajur yang ideal sesuai standar minimal 3,5 meter sangat penting untuk menjaga kelancaran dan keamanan kendaraan saat melewati persimpangan (Prasetyo et al., 2021). Lajur yang terlalu sempit menyebabkan kendaraan berat dan ringan kesulitan bergerak bersamaan, memperlambat kecepatan rata-rata, dan meningkatkan potensi kemacetan.

Jalur belok khusus berfungsi memisahkan kendaraan yang akan berbelok dari arus utama. Jika jalur belok terlalu pendek atau tidak tersedia, kendaraan akan menumpuk di lajur utama, mengganggu aliran dan menurunkan kapasitas persimpangan (Wulandari et al., 2020). Studi di Semarang menunjukkan bahwa penambahan jalur belok mampu meningkatkan kapasitas persimpangan hingga 10-15% dan mengurangi waktu tunggu kendaraan.

2.7.1.2 Radius Tikungan

Radius tikungan memengaruhi kemampuan kendaraan melakukan manuver belok dengan lancar. Radius yang kecil memaksa kendaraan, terutama kendaraan besar seperti truk dan bus, mengurangi kecepatan secara signifikan (Sutanto & Hidayat, 2022). Penurunan kecepatan ini menyebabkan antrean panjang dan gangguan pada waktu hijau efektif, yang berdampak pada kapasitas persimpangan secara keseluruhan.

Penelitian Nurhadi dan Santoso (2017) di Yogyakarta memperlihatkan bahwa peningkatan radius tikungan dari 10 meter menjadi 15 meter dapat meningkatkan kecepatan kendaraan belok hingga 25%, yang berdampak langsung pada kelancaran lalu lintas dan pengurangan antrian.

2.7.1.3 Jarak Pandang Henti (JPH)

JPH adalah jarak pandang yang tersedia bagi pengemudi untuk melihat dan bereaksi terhadap kendaraan yang berhenti di depan. Jarak pandang yang memadai (≥ 60 meter sesuai PPTGS) memberikan waktu reaksi yang cukup sehingga mengurangi kemungkinan tabrakan belakang (Ramadhan & Wibowo, 2019).

Jika JPH tidak mencukupi akibat hambatan visual atau desain geometrik yang kurang tepat, maka potensi kecelakaan meningkat dan kecepatan kendaraan menurun secara drastis.

2.7.1.4 Median dan Pulau Trafik

Median berfungsi memisahkan arus lalu lintas berlawanan arah dan memberikan ruang aman bagi pejalan kaki atau penumpang yang turun naik kendaraan. Median yang cukup lebar juga membantu mengurangi konflik pergerakan kendaraan dan menjaga kestabilan lajur (Hasibuan et al., 2020).

Pengaturan median yang buruk dapat menimbulkan kebingungan pengemudi dan meningkatkan risiko tabrakan silang.

2.7.1.5 Pengaruh Geometrik terhadap Keselamatan Jalan

2.7.1.6 Hubungan Geometrik dengan Risiko Kecelakaan

Studi Nurhadi dan Santoso (2017) menunjukkan bahwa persimpangan dengan geometrik yang tidak sesuai standar—seperti lajur sempit, radius tikungan kecil, dan JPH yang terbatas—menunjukkan peningkatan risiko kecelakaan hingga 30%. Hal ini disebabkan pengemudi harus melakukan pengereman mendadak, manuver sempit, dan waktu reaksi yang terbatas.

Selain itu, jalur belok yang tidak memadai menyebabkan kendaraan harus berhenti di lajur utama, meningkatkan risiko tabrakan belakang dan konflik pergerakan antar kendaraan (Ramadhan & Wibowo, 2019).

2.7.1.7 Peran Geometri dalam Pengurangan Kecelakaan

Penyesuaian geometri persimpangan yang sesuai standar dapat menurunkan angka kecelakaan. Misalnya, pelebaran lajur memungkinkan kendaraan melakukan manuver dengan aman dan mengurangi gangguan antar kendaraan (Wulandari et al., 2020).

Radius tikungan yang memadai mengurangi kebutuhan kendaraan untuk melakukan pengereman mendadak, sehingga mengurangi risiko tergelincir atau tabrakan samping. JPH yang cukup memungkinkan pengemudi memiliki waktu cukup untuk reaksi saat menghadapi lampu merah atau kendaraan berhenti.

Studi di Deli Serdang oleh Sari dan Hamzah (2021) menemukan bahwa perbaikan geometrik persimpangan, seperti pelebaran lajur dari 3 m menjadi 3,5 m dan peningkatan radius tikungan dari 10 m menjadi 15 m, berhasil menurunkan frekuensi kecelakaan hingga 20%.

2.7.2 Studi Kasus di Wilayah Deli Tua dan Sekitarnya

Sari dan Hamzah (2021) melakukan evaluasi kinerja geometrik persimpangan di Deli Tua yang sering mengalami kemacetan dan kecelakaan lalu lintas. Persimpangan yang diteliti memiliki beberapa kekurangan seperti lebar lajur yang kurang dari standar dan radius tikungan yang kecil, sehingga menyebabkan penurunan kapasitas dan peningkatan risiko kecelakaan.

Dengan melakukan perbaikan geometrik yang sesuai PPTGS, seperti pelebaran lajur dan penambahan jalur belok, serta penyesuaian radius tikungan, kapasitas persimpangan meningkat signifikan, dan tingkat kecelakaan menurun, menunjukkan hubungan kuat antara kualitas geometrik dan performa serta keselamatan persimpangan (Sari & Hamzah, 2021).

2.8 Metode Analisis Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Persimpangan bersinyal

2.8.1 Pengertian dan Pentingnya Analisis Kapasitas

Analisis kapasitas pada persimpangan bersinyal adalah proses penilaian kemampuan persimpangan dalam melayani arus kendaraan selama periode waktu tertentu, biasanya jam sibuk. Kapasitas ini menunjukkan jumlah kendaraan maksimum yang dapat melewati persimpangan tanpa menyebabkan penumpukan atau kemacetan (Harahap & Dewi, 2019).

Analisis kapasitas sangat penting untuk menentukan apakah persimpangan tersebut berfungsi optimal, mengalami kelebihan beban, atau perlu perbaikan. Salah satu indikator utama yang digunakan dalam analisis ini adalah Derajat Kejenuhan

(Degree of Saturation, DS) yang menggambarkan rasio antara volume lalu lintas dan kapasitas persimpangan.

2.8.2 Parameter Utama dalam Analisis

Beberapa parameter penting dalam analisis kapasitas persimpangan bersinyal antara lain:

1. Waktu Siklus (Cycle Time, C): Waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus lengkap lampu lalu lintas (hijau + kuning + merah), biasanya antara 60 sampai 120 detik.
2. Waktu Hijau Efektif (Effective Green Time, g): Waktu nyata di mana kendaraan dari suatu gerakan dapat melintasi persimpangan tanpa hambatan.
3. Arus Jenuh (Saturation Flow Rate, s): Kapasitas maksimum kendaraan yang dapat melintas per lajur pada kondisi lampu hijau penuh, biasanya 1800 smp/jam/lajur.
4. Volume Kendaraan (v): Jumlah kendaraan yang melewati persimpangan selama periode analisis.

2.8.3 Faktor Koreksi dan Penyesuaian

Analisis kapasitas juga memperhitungkan faktor koreksi yang mempengaruhi performa, seperti:

1. Kondisi jalan dan cuaca (F_w)
2. Proporsi kendaraan berat (F_h)
3. Gangguan lateral (F_l) seperti kendaraan parkir dan pejalan kaki
4. Waktu start-up yang hilang (F_s)

Faktor-faktor ini mengoreksi nilai arus jenuh dan kapasitas aktual.

2.8.4 Studi Kasus di Deli Tua

Sari dan Hamzah (2021) menerapkan metode MKJI pada persimpangan bersinyal di Deli Tua. Dengan volume kendaraan jam sibuk mencapai 1.650 smp/jam dan waktu siklus 90 detik, hasil analisis menunjukkan DS 0,92, yang mengindikasikan kondisi hampir jenuh. Rekomendasi perbaikan meliputi penambahan jalur belok dan penyesuaian waktu hijau.

2.8.5 Kelebihan dan Keterbatasan Metode

Metode MKJI mudah diterapkan dan relevan dengan kondisi Indonesia, tetapi kurang mengakomodasi variasi dinamika lalu lintas modern. Oleh sebab itu, metode ini sering dipadukan dengan simulasi komputer untuk analisis lebih komprehensif.

2.9 Perkembangan Teknologi Pendukung Perencanaan Geometrik

Teknologi simulasi seperti VISSIM dan SIDRA kini banyak digunakan sebagai alat bantu dalam menganalisis kinerja persimpangan secara detail (Fadilah & Putra, 2020). Simulasi ini memungkinkan perencana untuk memodelkan aliran kendaraan, interaksi antar kendaraan, dan dampak desain geometrik terhadap performa lalu lintas secara lebih realistis.

Namun, validasi hasil simulasi harus tetap didasarkan pada data lapangan dan standar MKJI serta PPTGS. Fadilah dan Putra (2020) menyarankan integrasi simulasi dengan analisis MKJI-PPTGS untuk menghasilkan rekomendasi perencanaan yang aplikatif dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

2.10 Indikator Tingkat Pelayanan (ITP)

Indikator Tingkat Pelayanan (ITP) pada suatu ruas jalan menunjukkan kondisi secara keseluruhan ruas jalan tersebut. Tingkat pelayanan ditentukan berdasarkan nilai kuantitatif, seperti: kecepatan perjalanan, dan faktor lain yang ditentukan berdasarkan nilai kualitatif, seperti: kebebasan pengemudi dalam memilih kecepatan, derajat hambatan lalu lintas, serta kenyamanan, (Tamin,ofyar Z,2000).

Secara umum indeks tingkat pelayanan (ITP) dapat di bedakan sebagai berikut:

1. Indeks Tingkat pelayanan A

Kondisi arus lalu lintasnya bebas antara satu kendaraan dengan kendaraan lainnya, besarnya kecepatan sepenuhnya ditentukan oleh keinginan pengemudi dan sesuai dengan batas kecepatan yang telah di tentukan.

2. Indeks Tingkat pelayanan B

Kondisi arus lalu lintas stabil, kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kendaraan lainnya dan mulai dirasakan hambatan oleh kendaraan di sekitarnya.

3. Indeks Tingkat pelayanan C

Kondisi arus lalu lintas masih dalam batas stabil, kecepatan operasi mulai dibatasi dan hambatan dari kendaraan lain semakin besar.

4. Indeks Tingkat pelayanan D

Kondisi arus lalu lintas mendekati tidak stabil, kecepatan operasi menurun relatif cepat pada akibat hambatan yang timbul, dan kebebasan bergerak relatif kecil.

5. Indeks Tingkat pelayanan E

Volume lalu lintas sudah mendekati kapasitas ruas jalan, kecepatan kira-kira lebih rendah dari 40 km/jam. Pergerakan lalu lintas kadang terhambat.

6. Indeks Tingkat pelayanan F

Pada tingkat pelayanan ini arus lalu lintas berada dalam keadaan dipaksakan, kecepatan relatif rendah, arus lalu lintas sering terhenti sehingga menimbulkan antrian kendaraan yang panjang.

Nilai indeks tingkat pelayanan (ITP) berdasarkan kecepatan perjalanan dan kecepatan arus bebas pada ruas jalan dapat dilihat pada tabel 2.8 dan tabel 2.9 berikut ini

Tabel 2.8 Indeks Tingkat Pelayanan (ITP) berdasarkan kecepatan perjalanan rata-rata

Kelas arteri	I	II	III
Kecepatan (km/jam)	72-56	56-48	56-40
ITP		Kecepatan perjalanan rata-rata (km/jam)	
A	56	48	40
B	45	38	31
C	35	29	21
D	28	23	15
E	21	16	11
F	21	16	11

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Tabel 2.9 Indeks Tingkat Pelayanan (ITP) berdasarkan kecepatan arus bebas dan tingkat kejenuhan lalulintas

Tingkat pelayanan	% dari kecepatan bebas	Tingkat kejenuhan lalulintas
A	90	0.35
B	70	0.54
C	50	0.77

D	40	0.93
E	33	1.0
F	33	1

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Dengan menggunakan hubungan dasar volume, kapasitas dan kecepatan perjalanan yang telah ditetapkan Highway capacity manual 1965, dapat ditentukan Indek Tingkat Pelayanan (ITP) berdasarkan grafik hubungan rasio volume kapasitas atau derajat kejenuhan (DS) dengan kecepatan (Edward K.Marlok,1991).

Klasifikasi indeks tingkat pelayanan ruas jalan berdasarkan nilai rasio volume kapasitas atau nisbah volume kapasitas dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.10 Indikator Tingkat Pelayanan berdasarkan nilai rasio volume kapasitas atau nisbah volume kapasitas (NVK)

Tingkat Pelayanan	Karakteristik	Interval VC Ratio
A (Free flow/arus bebas)	Kondisi arus bebas dengan kecepatan tinggi, pengemudi dapat memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan sesuai dengan batas kecepatan yang ditentukan	0,00 – 0,19
B (stable flow/arus stabil)	Arus stabil tetapi kecepatan operasional mulai dibatasi oleh kondisi lalu lintas. Pengemudi memiliki kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatan	0,20 – 0,44
C (stable flow/arus stabil)	Arus masih dalam batas stabil tetapi kecepatan dan gerak kendaraan dikendalikan. Pengemudi dibatasi dalam memilih kecepatan	0,45 – 0,74
D (Approching unstable flow/arus hampir tidak stabil)	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan masih dikendalikan namun menurun relatif cepat akibat hambatan yang timbul. Pengemudi dibatasi memilih kecepatan dan kebebasan bergerak relatif kecil	0,75 – 0,84
E	Arus tidak stabil karena volume lalu lintas mendekati/berada pada kapasitas dimana kecepatan lebih	0,85 – 0,99

(Unstable flow/ arus tak stabil)	rendah dari 40 km/jam dan pergerakan kendaraan terkadang terhenti	
F (Forced Flow/ arus yang dipaksakan)	Arus yang dipaksakan atau macet, kecepatan rendah, volume di atas kapasitas. Arus lalu lintas sering terhenti hingga terjadi antrian panjang dan hambatan-hambatan yang besar.	≈ 1,00

Simposium ke-7 FSTPT, Universitas Parahyangan Bandung, 11 September 2004

Untuk menentukan nilai indeks tingkat pelayanan (ITP) pada persimpangan diukur berdasarkan nilai tundaan, (Tamin, ofyar Z, 2000).

Nilai indeks tingkat pelayanan (ITP) pada persimpangan berdasarkan nilai tundaan dapat dilihat pada tabel 2.11 berikut ini,

Tabel 2.11 Indikator Tingkat Pelayanan berdasarkan nilai tundaan pada persimpangan.

Indeks tingkat Pelayanan (ITP)	Tundaan perkendaraan (detik)
A	≤5.0
B	5.1 – 15.0
C	15.1 – 25.0
D	25.1 – 40.0
E	40.1 – 60.0
F	>60.0

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Tingkat Pelayanan Ruas jalan sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 96 tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaa Kegiatan Manajemen Dan Rekayasa Lalu Lintas Sebagai Berikut;

Tingkat pelayanan pada ruas jalan diklasifikasikan atas:

- 1) Tingkat pelayanan A, dengan kondisi:
 - a. Arus bebas dengan volume lalu lintas rendah dan kecepatan sekurang-kurangnya 80 (delapan puluh) kilometer per jam;

- b. Kepadatan lalu lintas sangat rendah;
 - c. Pengemudi dapat mempertahankan kecepatan yang diinginkan tanpa atau dengan sedikit tundaan.
- 2) Tingkat pelayanan B, dengan kondisi:
- a. Arus stabil dengan volume lalu lintas sedang dan kecepatan sekurang-sekurangnya 70 (tujuh puluh) kilometer per jam;
 - b. Kepadatan lalu lintas rendah hambatan internal lalu lintas belum mempengaruhi kecepatan;
 - c. Pengemudi masih punya cukup kebebasan untuk memilih kecepatannya dan lajur jalan yang digunakan.
- 3) Tingkat pelayanan C, dengan kondisi:
- a. Arus stabil tetapi pergerakan kendaraan dikendalikan oleh volume lalu lintas yang lebih tinggi dengan kecepatan sekurang-sekurangnya 60 (enam puluh) kilometer per jam;
 - b. Kepadatan lalu lintas sedang karena hambatan internal lalu lintas meningkat;
 - c. Pengemudi memiliki keterbatasan untuk memilih kecepatan, pindah lajur atau mendahului.
- 4) Tingkat pelayanan D, dengan kondisi:
- a. Arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas tinggi dan kecepatan sekurang-sekurangnya 50 (lima puluh) kilometer per jam;
 - b. Masih ditolerir namun sangat terpengaruh oleh perubahan kondisi arus;

- c. Kepadatan lalu lintas sedang namun fluktuasi volume lalu lintas dan hambatan temporer dapat
 - d. Menyebabkan penurunan kecepatan yang besar;
 - e. Pengemudi memiliki kebebasan yang sangat terbatas dalam menjalankan kendaraan, kenyamanan rendah, tetapi kondisi ini masih dapat ditolerir untuk waktu yang singkat.
- 5) Tingkat pelayanan E, dengan kondisi:
- a. Arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas mendekati kapasitas jalan dan kecepatan sekurang-kurangnya
 - b. 30 (tiga puluh) kilometer per jam pada jalan antar kota dan sekurang-kurangnya 10 (sepuluh) kilometer per jam pada jalan perkotaan;
 - c. Kepadatan lalu lintas tinggi karena hambatan internal lalu lintas tinggi;
 - d. Pengemudi mulai merasakan kemacetan-kemacetan durasi pendek.
- 6) Tingkat pelayanan F, dengan kondisi:
- a. Arus tertahan dan terjadi antrian kendaraan yang panjang dengan kecepatan kurang dari 30 (tiga puluh) kilometer per jam;
 - b. Kepadatan lalu lintas sangat tinggi dan volume rendah serta terjadi kemacetan untuk durasi yang cukup lama;
 - c. Dalam keadaan antrian, kecepatan maupun volume turun sampai 0 (nol).