

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

2.1.1 Definisi Simpang

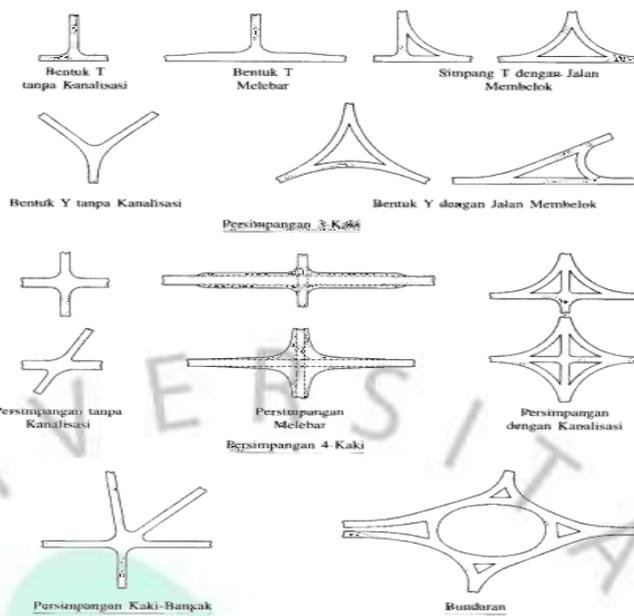
Simpang ialah pertemuan antar dua atau lebih ruas jalan yang terjadi pertemuan kendaraan dengan kendaraan yang lainnya. Hal ini biasanya terjadi kepadatan jalan sehingga terjadi antrean kendaraan pada persimpangan tersebut. Menurut PP Nomor 43 tahun 1993 Persimpangan adalah tempat dua jalan bertemu atau menyimpang, dapat terjadi baik pada level yang sama maupun tidak. Pada persimpangan, kecelakaan sering terjadi di persimpangan karena bentrok dengan pergerakan kendaraan lain di lalu lintas. hal itu karena tingginya angka jumlah kendaraan yang melebihi dari kapasitas persimpangan tersebut. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997, simpang yaitu titik temu antar dua atau lebih ruas jalan yang saling bersimpangan ataupun pencabangan. Simpang bisa berwujud simpang sebidang (persimpangan pada tingkat yang sama) atau simpang tak sebidang yang dimana persilangan pada tingkat yang berbeda.

2.1.2 Jenis-Jenis Simpang

2.1.2.1 Simpang Berdasarkan Bentuknya

Simpang berdasar pada bentuknya terbagi menjadi 2, yaitu simpang sebidang dan simpang tak sebidang.

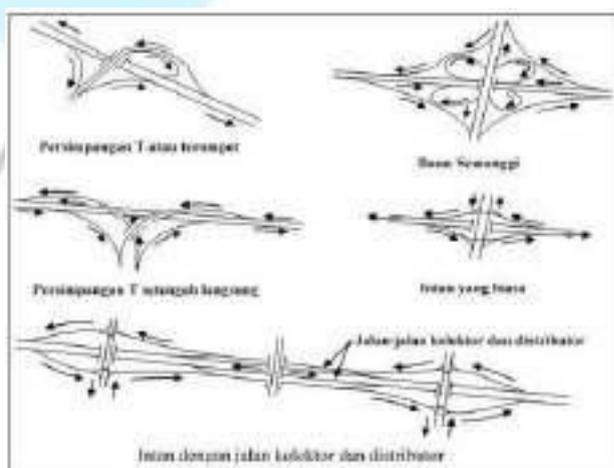
1. Persimpang Sebidang, adalah persimpang yang berbagi jalan atau lebih ruas jalan yang berbeda bertemu pada tingkat yang sama, tanpa adanya perbedaan tinggi atau jembatan. Persimpangan sebidang biasanya tidak dilengkapi oleh dengan system pengaturan lalu lintas misalnya lampu lalu lintas atau bundaran



Gambar 2.1 Contoh Persimpangan Sebidang
(Sumber: Khisty dan Lall, 2005)

Simpang juga biasa di klasifikasikan menjadi Simpang sebidang, pembagian jalur jalan tanpa *ramp* dan *Interchange* (C. Jotin Khisty, 2005).

2. Persimpangan Tidak Sebidang, yaitu jenis simpang yang dimana dua ruas jalan yang berbeda atau lebih bertemu pada tingkat yang berbeda atau dengan perbedaan ketinggian.



Gambar 2.2 Contoh Jenis Simpang Tak Sebidang
Sumber : Morlok, E.K (1991)

2.1.2.2 Simpang Berdasarkan Pengaturannya

Menurut Marlok (1988), simpang dapat dibedakan menjadi dua kategori berdasar pada cara penyetelannya, yaitu simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal, antara lain.

1. Simpang Tak Bersinyal (*Unsignalized Intersection*), merupakan jenis simpang yang tak dilengkapi dengan isyarat lalu lintas atau rambu-rambu yang menyusun prioritas dan arus lalu lintas di simpang tersebut. Simpang tersebut biasanya terdapat di pedesaan atau perkotaan kecil.
2. Simpang Bersinyal (*Signalized Intersection*), merupakan jenis simpang dimana arus lalu lintas diatur dengan penggunaan isyarat atau lampu lalu lintas yang memberikan prioritas pada satu atau beberapa lengan jalan pada satu waktu tertentu.

2.1.3 Bundaran dan Jalinan

Bundaran merupakan salah satu bangunan lalu lintas yang fungsi dan tujuannya untuk mengatur simpang dengan arus yang relative lebih randah dibandingkan dengan pengatur simpang bersinyal. Menurut O' Flaherty Dkk (1997) bundaran benar-benar efektif untuk satu diantara perlintasan kontrol di lokasi perkotaan juga luar kota yang mempunyai ciri seperti. Akibat tingginya persentase lalu lintas yang berbelok ke kanan, tidak mungkin untuk menetapkan simpang prioritas, kecelakaan akibat pergerakan belok dan penyeberangan tidak seimbang, pengguna simpang bersinyal mengalami tundaan yang lebih pendek, dan jalan dua arah dikonversi ke satu arah. Ketika ukuran jalan dan volume lalu lintas sebanding, bundaran berhasil dan seringkali menawarkan tingkat keamanan yang lebih tinggi daripada persimpangan lainnya. Oleh karena itu, Bundaran ideal untuk persimpangan jalan di mana jalan dua dan empat jalur bertemu.

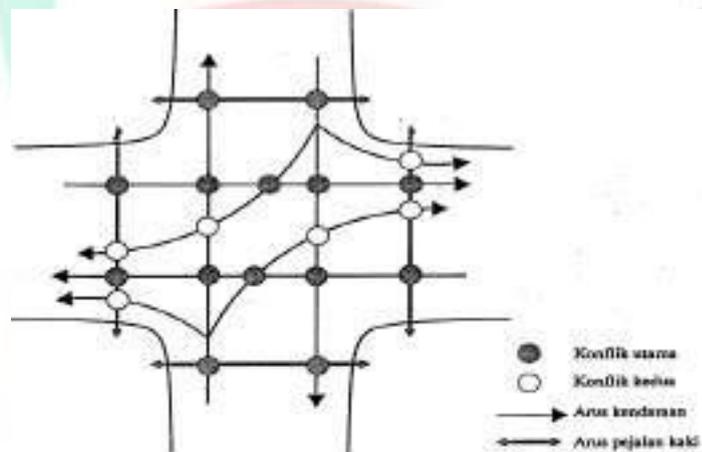
2.1.4 Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal (*Signalized Intersection*) merupakan jenis simpang yang disesuaikan dengan pengoperasian sinyal lalu lintas. Simpang ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi geometri, lingkungan, persinyalan dan kondisi lalu lintas.

2.1.5 Sinyal Lalu Lintas

Sinyal lalu lintas yaitu sistem yang dipergunakan untuk mengatur aliran atau arus kendaraan di persimpangan jalan. Sistem ini terdiri atas lampu-lampu yang mengeluarkan sinyal dengan warna merah, kuning dan hijau untuk mengidentifikasi aturan dan arah yang harus diikuti oleh pengendara kendaraan.

Sinyal lalu lintas juga berperan penting dalam menjaga keselamatan dan kelancaran lalu lintas. Rambu lalu lintas adalah pemisah untuk membelokkan lalu lintas dari jalan Panjang pelawan atau pemisahan lalu lintas belok dari penyeberangan pejalan kaki, yang menyebabkan konflik arus lalu lintas, berdasar pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia.



Gambar 2.3 Konflik-konflik Utama dan Kedua pada simpang bersinyal dengan empat lengan (MKJI 1997)

Pada gambar 2.1 menjelaskan tentang pengaturan lampu sinyal 2 fase yang dimana pengaturan lampu sinyal lalu lintas hanya dengan dua fase, masing-masing dengan dua jalan yang berpotongan. Dua fase tersebut adalah metode yang dapat diterapkan untuk pergerakan belok kanan dalam suatu simpang telah dilarang. Dua fase tersebut berfungsi untuk memberikan kapasitas tertinggi dalam beberapa kondisi seperti pada jam volume tertinggi.

2.1.6 Kapasitas Simpang

Kapasitas simpang merupakan banyaknya kendaraan maksimal yang bisadiproses pada simpang pada priode waktu tertentu, kondisi dan dalam situasi tertentu. Kapasitas simpang dihitung dengan memperhitungkan volume lalu lintas yang masuk ke dalam simpang, yaitu kemampuan kendaraan untuk keluar simpang dan waktu tunggu kendaraan.

Dalam memperhitungkan kapasitas simpang bersinyal harus memperhatikan jenis kendaraan yang melintas. Seperti, kendaraan roda dua, kendaraan roda empat, dan kendaraan besar. Menghitung simpang bersinyal bias melalui rumus MKJI 1997, yang memperhitungkan karakteristik lalu lintas, geometri simpang dan kondisi lingkungan sekitar simpang.

Hasil perhitungan kapasitas simpang harus digunakan sebagai dasar untuk menentukan tata letak simpang, sinyal lampu lalu lintas dan arus lalu lintas disimpang (Marga, Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997).

2.2 Data Masukan

2.2.1 Parameter Kinerja Simpang Bersinyal

Berdasar pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997), kinerja simpang bersinyal atau *Traffic Light* pada persimpangan memiliki tujuan seperti berikut.

1. Mengurangi waktu tundaan kendaraan dan mencegah kemacetan lalu lintas pada simpang
2. Meningkatkan keamanan dan keselamatan lalu lintas di simpang, dengan pengurangan resiko kecelakaan atau tabrakan di simpang.
3. Meningkatkan efesiensi penggunaan kapasitas jalan, dengan memaksimalkan volume lalu lintas yang dapat melewati simpang di tiap waktu tertentu.
4. Meningkatkan kenyamanan dan kualitas perjalanan bagi pengguna jalan yang melewati simpang.

2.2.2 Kondisi Geometri

Kondisi geometri lingkungan di simpang bersinyal, mengacu kepada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) yaitu, keadaan geometrik persimpangan harus digambarkan pada sketsa denah simpang. Di dalam sketsa simpang, harus bisa menjelaskan tentang Jumlah Jalur, posisi pendekat, lebar jalan, lebar median, lebar pendekat, lebar masuk dan lebar keluar.

Daerah sekitar simpang yang digunakan lalu lintas sebelum memasuki simpang disebut dengan pendekat simpang. Ada dua kategori pendekatan persimpangan: pendekatan terlindungi dan pendekatan tidak terlindungi. Pendekat terlindung merupakan tindakan pergerakan kendaraan yang tidak saling bertemu, dan pendekat terlindung merupakan pergerakan kendaraan yang saling bertemu dalam satu waktu bersamaan.

2.2.3 Kondisi Lingkungan

Faktor lingkungan berfungsi sebagai contoh jenis lingkungan jalan yang mempengaruhi penyesuaian hambatan samping dalam kaitannya dengan jenis lingkungan jalan, jumlah hambatan samping, dan proporsi kendaraan tidak bermotor. Tipe lingkungan dibagi menjadi tiga. Yaitu, tipe komersil (COM), tipe pemungkiman (RES) dan akses terbatas (RA). Hambatan samping adalah segala aktifitas disekitaran pendekatan simpang yang dapat mempengaruhi besar jenuh suatu pendekatan.

2.2.4 Arus Lalu Lintas

Volume mobil yang menggunakan rute atau persimpangan selama periode waktu tertentu, seperti permenit, perjam dan perhari dikenal sebagai arus lalu lintas. Arus lalu lintas merupakan parameter yang penting dalam analisis transportasi dan perencanaan jalan. Pengukuran arus lalu lintas yang digunakan berbagai metode, termasuk perhitungan volume lalu lintas secara manual atau mempergunakan perangkat pengukuran otomatis seperti detektor lalu lintas atau kamera lalu lintas. Kondisi arus lalu lintas juga dinyatakan dalam volume lalu lintas jam puncak pagi, siang serta sore. Volume lalu lintas juga dibedakan menjadi tiga pergerakan arus. Seperti, belok kanan, belok kiri dan lurus. Dengan guna memiliki nilai volume yang

diperoleh dilapangan harus disesuaikan dengan konversi satuan mobil penumpang (smp). Perhitungan arus Ialu lintas bisa dilakukan melalui rumus.

$$Q = Q_{LV} \times EM_{PLV} + Q_{HV} \times EM_{PHV} + Q_{MC} \times EM_{PMC}$$

$$Q_{total} = Q_{RT} + Q_{ST} + Q_{LT} \dots\dots\dots(2.1)$$

Nilai-nilai konversi dibagi menjadi tiga bagian yaitu, kendaraan berat (HV), kendaraan ringan (LV) dan sepeda motor (MC) seperti pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Nilai-Nilai Konversi Satuan Mobil Penumpang (smp/jam)

Jenis Kendaraan	Nilai smp	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan Ringan (LV)	1.0	1.0
Kendaraan Berat (HV)	1.3	1.3
Sepedah Motor (MC0)	0.2	0.4

Dalam informasi arus Ialu lintas yang dipakai untuk analisis simpang bersinyal, dinyatakan dalam bentuk rasio kendaraan belok kanan dan belok kiri. Nilai rasio baik itu terlindung maupun terlawan bisa dipaparkan melalui bentuk rumus yaitu:

$$P_{LT} = \frac{LT(smp/jam)}{Total(smp/jam)} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P_{RT} = \frac{RT(smp/jam)}{Total(smp/jam)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :

P_{LT} = Rasio kendaraan belok kiri (smp/jam)

P_{RT} = Rasio kendaraan belok kanan (smp/jam)

2.2.5 Menghitung Arus Jenuh Dasar (So)

$$S_o = 600 \times W_e \dots\dots\dots(2.4)$$

W_e = Lebar Efektif (m)

2.2.6 Menghitung Nilai Arus Jenuh Yang Disesuaikan

Nilai arus jenuh yang disesuaikan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut ini.

$$S = S_o \times F_{CS} \times F_{SF} \times S_G \times S_P \times S_{RT} \times S_{LT} \dots\dots\dots (2.5)$$

- S_o = Nilai arus jenuh dasar (smp/jam)
- F_{CS} = Faktor penyesuaian ukuran kota (smp/jam)
- F_{SF} = Faktor penyesuaian hambatan samping (smp/jam)
- S_G = Faktor penyesuaian kelandaian
- F_P = Faktor penyesuaian parkir (smp/jam)
- F_{RT} = Faktor penyesuaian rasio belok kanan (smp/jam)
- F_{LT} = Faktor penyesuaian rasio belok kiri (smp/jam)

2.2.7 Menghitung Rasio Arus (FR)

Menghitung rasui arus (FR) masing-masing pendekatan untuk mencari rasio arus kritis dengan rumus sebagai berikut.

$$FR = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (2.6)$$

- Q = Arus lalu lintas (smp/jam)
- S = Nilai arus jenuh dasar yang telah disesuaikan (smp/jam)

2.2.8 Menghitung Rasio Arus Simpang

Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan rasio arus simpang selaras dengan Manual kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997).

$$IFR = \Sigma(FR_{crit}) \dots\dots\dots (2.7)$$

2.2.9 Menghitung Rasio Fase (PR)

Sebagai hasil dari perhitungan rasio fase harus sama dengan rasio FR_{crit} terhadap IFR untuk menghitung rasio fase (PR). Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung rasio fase.

$$PR = \frac{FR_{crit}}{IFR} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.2.10 Model Dasar Kapasitas Simpang

Untuk memperhitungkan kapasitas serta ukuran perilaku lalu lintas di simpang bersinyal, penting untuk mengetahui atau menentukan waktu sinyal dari simpang tersebut. Akibatnya, persimpangan bersinyal memiliki rumus seperti berikut.

$$C = S \frac{g}{c} \dots\dots\dots (2.9)$$

Yang dimana ;

- C = Kapasitas jalan sesungguhnya (smp/jam)
- g = Waktu hijau efektif (detik)
- c = Waktu siklus (detik)
- S = Arus jenuh kaki simpang (smp/jam)

2.2.11 Penentuan Waktu Sinyal

Untuk mengurangi penundaan keseluruhan di persimpangan, waktu sinyal dapat dianggap sebagai control waktu pasti yang bias dikerjakan dengan mempergunakan pendekatan Webster (1966). Penentuan lama sinyal juga bias disebut dengan fase sinyal yang artinya serangkaian pergerakan yang berlangsung secara simultan atau berurutan hak waktu berjalan. Di dalam analisis simpang bersinyal data persinyalan terdiri atas banyaknya fase sinyal. Lama antar hijau serta waktu hilang. Hak lama berjalan suatu arus dinyatakan dengan lampu hijau, lampu berhenti suatu arus dinyatakan dengan lampu warna merah.

2.2.11.1 Waktu Siklus

Waktu siklus merupakan rata-rata lama satu putaran total dari semua indikasi lampu sinyal yang terdapat di sebuah pendekatan.

$$c = \frac{(1,5 \times LTI + 5)}{(I - \sum FR_{erit})} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

- C = waktu siklus sinyal (detik)
- LTI = jumlah waktu hilang per siklus (detik)
- FR = arus dibagi dengan arus jenuh (Q/S)
- FR_{erit} = nilai FR tertinggi dari semua pendekatan yang berangkatpada suatu fase sinyal.
- $\sum(FR_{erit})$ = Rasio arus simpang = jumlah FR_{erit} dari semua dase pada siklus tersebut

Ada kemungkinan kejenuhan akan terjadi di persimpangan jika waktu siklus bertemu dengan waktu yang lebih pendek dari nilai ini. Resistensi rata-rata dapat dihasilkan dari priode siklus yang panjang. Persimpangan jenuh pada nilai (FRcrit) mendekati atau lebih besar dari 1, sehingga rumus akan memiliki nilai siklis yang benar benar maksimum serta negatif,.

2.2.12 Waktu Hijau

Distribusi waktu hijau pada tampilan waktu hijau di persimpangan seringkali mengandung kesalahan akibar periode siklus yang terlalu panjang.

$$g_i = (c - LTI) \times \frac{(Q \cdot x_c)}{(S \cdot x_g)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana.

g_i = tampilan waktu hijau pada fase I (detik)

2.2.13 Kapasitas dan derajat kejenuhan

Perkiraan kasar kapasitas dihasilkan untuk setiap teknik dengan mengalikan arus saturasi dengan rasio hijau (g/c). metode berikut dapat digunakan untuk menentukan tingkat kejenuhan.

$$DS = \frac{Q}{c} = \frac{(Q \cdot x_c)}{(S \cdot x_g)} \dots\dots\dots (2.12)$$

2.2.14 Panjang Antrian

Banyak perata-rataan orang yang mengantri diawal sinyal hijau (NQ) ditentukan melalui menambahkan jumlah orang yang mengantri ketika fase merah (NQ2) sesuai banyak orang yang mengantri ketika fase hijau sebelumnya (NQ1).

$$NQ_1 = 0,25 \times c \times (DS - 1 + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{c}}) \dots\dots\dots (2.13)$$

NQ = Jumlah smp yang tersisa dari fase sebelumnya

C = Kapasitas (smp/jam)

DS = Derajat Kejenuhan

Dengan :

Catatan : jika $DS > 0,5$ selain dari itu $NQ_1 = 0$

$$NQ_2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times GS} \times \frac{Q}{3600} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots \dots \dots (2.16)$$

NQ_1 = Jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya

NQ_2 = Jumlah smp yang datang selama

fase merah DS = Desrajat kejenuhan

C = waktu siklus (detik)

C = kapasitas (smp/jam) atau arus jenuh kali rasio hijau
($S \times GR$)

Q = Arus lalu lintas pada pendekatan tersebut (smp/det)

Pada panjang antrian (QL) didapat dari perkalian (NQ) dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp ($20m^2$) dan pembagian dengan lebar masuk.

$$QL = NQ_{max} \times \frac{20}{W_{max}} \dots \dots \dots (2.17)$$

2.2.15 Angka Henti

Angka henti merupakan rata-rata jumlah berhenti per-kendaraan akinat sinyal merah sebelum melewati suatu simpang. Seperti rumus berikut.

$$P_{sv} = \min(NS \times 1) \dots \dots \dots (2.18)$$

Catatan, NS merupakan angka henti dari suatu pendekatan

2.2.16 Tundaan

Pada suatu persimpangan pasti terdapat tundaan yang diakibatkan oleh dua factor yang berbeda, yaitu tundaan lalu lintas (DT) yang diakibatkan dengan interaksi antar kendaraan di simpang tersebut serta

tundaan geometri (DG) yang diakibatkan dari percepatan juga perlambatan kendaraan yang membelok di simpang tersebut, ataupun lebih sering oleh lampu merah. Latensi tipikal dapat dihitung secara kasar sebagai berikut.

$$D_j = DT_j + DG_j \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana,

D_j = Tundaan rata-rata untuk pendekatan j (set/smp)

DT_j = Tundaan lalu lintas rata-rata untuk pendekatan j (det.smp)

DG_j = Tundaan geometri rata-rata untuk pendekatan j (det/smp)

Pada suatu tundaan lalu lintas rata-rata berdasarkan Akcelik 1988, ditentukan dalam rumus berikut.

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1-GR)^3}{(1-GR \times DS)} + \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana,

DT_1 = Tundaan lalu lintas rata-rata pada pendekatan (det/smp)

GR = Rasio hijau (g/c)

DS = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas (smp/jam)

NQ_1 = jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya (det/smp)

Pada tundaan geometri rata-rata di suatu suatu pendekatan (j) bias dirumuskan seperti berikut.

$$DG_1 = (1 - (P_{sv}) \times P_r \times 6 + (P_{sv} \times 4) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana,

DG_1 = Tundaan geometri rata-rata pada pendekatan j (det/jam)

P_{sv} = Rasio kendaraan berhenti pada suatu pendekatan

P_r = Rasio kendaraan membelok pada suatu pendekatan

Pada dasar nilai kendaraan belok tak berhenti memiliki waktu 6 detik dan 4 detik untuk yang berhenti.

2.3 PTV Vissim Student Version

2.3.1 Software PTV Vissim Student Version 8

PTV Vissim Student Version adalah sebuah program simulasi lalu lintas yang dirancang khusus untuk digunakan oleh mahasiswa dalam tujuan pendidikan dan pelatihan. Program ini memungkinkan untuk memodelkan dan menganalisis arus lalu lintas di jalan raya, jalan tol, dan sistem transportasi lainnya dengan menggunakan lingkungan simulasi interaktif dan mudah digunakan. *Software PTV Vissim Student Version 8* dapat mempelajari konsep-konsep transportasi, mengembangkan model simulasi yang kompleks dan mengevaluasi alternatif solusi transportasi (Prima J. Romadhona, 2019).

2.4 Studi Kasus Terdahulu

Tabel 2.2 Studi Kasus Terlebih Dahulu

NO	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Peneliti
1	Galuh pamusti, Herman, Dan Andrian Maulana	Kinerja Simpang Jalan Jakarta-jalan Supratman Kota Bandung dengan Metode MKJI dan <i>Software PTV Vissim 9/2017</i>	Program PTV Vissim 9 digunakan untuk memodelkan kinerja simpang pada studi ini, yang menghasilkan panjang antrian maksimum 182,97 meter pada lengan simpang Jalan Ahmad Yani dan tundaan rata-rata 82,96 detik. Analisis menggunakan MKJI 1997 menghasilkan DS sebesar 0,898, dan arus tidak stabil karena kedekatan kapasitas jalan dengan volume lalu lintas, panjang antrian 244,345 meter, dan tundaan 84,699 detik per titik penggunaan.

NO	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Peneliti
2	Trinoko Lutfi Saputro, Arum Prastiyo Putri, Sakinah Putri dan Muhammad Salahuddin	Kajian simpang tiga tak bersinyal kariangau KM. 5,5 kelurahan karang joan Balikpapan utara menggunakan permodelan Vissim menjadi simpang bersinyal/2018	Informasi geometrik, arus lalu lintas, dan volume lalu lintas di lapangan diperlukan demi memperoleh temuan suatu penelitian yaitu dengan memodelkannya melalui Software PTV Vissim 9 Student Version serta menawarkan alternatif pilihan. Untuk mendemonstrasikan seberapa baik penyesuaian tak bersinyal ke sambungan bersinyal bekerja.
3	Untoro Nugroho dan Ganang Cucu Dwiatmaja	Analisis kinerja simpang bersinyal menggunakan Vissim StudentVersion (studi kasus: simpang sompok,Candisari semarang)/ 2021)	Hasil layanan (B) baik menurut laporan perangkat lunak Vissim setelah menjalankan skenario di persimpangan di mana tingkat layanan awal (F) sangat buruk. Skenario tersebut meliputi pengalihan arus, perubahan geometri, dan kombinasi skenario.

NO	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Peneliti
4	Bagus Setiono, Fisika Prastyo Putra	Meningkatkan Kinerja Bundaran Kelapa Gading Dengan Bersinyal Menggunakan <i>Software PTV Vissim Student Version / 2021</i>	Temuan dari evaluasi kinerja bundaran kelapa gading, keadaan saat ini pada hari kerja pada tahun 2021, dan rata-rata DS 0,68 untuk semua jam puncak pagi, siang, dan sore. Di Provinsi DKI Jakarta, kinerja bundaran dapat bertahan tiga tahun mulai tahun 2021, menurut regresi linier pertumbuhan jumlah kendaraan. Ketika bundaran berfungsi sebagai persimpangan bersinyal dengan pengaturan empat fase, saturasi dicapai pada persimpangan bersinyal rata-rata dengan $DS > 0,75$.