

**TESIS**

**STUDI KAJIAN DAN ALTERNATIF REKAYASA  
LALULINTAS PADA PERSIMPANGAN SEBIDANG  
JALAN DAN JALAN REL**

**STUDI LOKASI JL.AHMAD YANI-JL. JEMURSARI  
SURABAYA**



Oleh :

**SETYO MARTONO**

**D012181039**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
TEKNIK TRANSPORTASI

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

**TESIS**

**STUDI KAJIAN DAN ALTERNATIF REKAYASA LALULINTAS  
PADA PERSIMPANGAN SEBIDANG JALAN DAN JALAN REL**

**STUDI LOKASI JL.AHMAD YANI-JL. JEMURSARI**

**SURABAYA**

Disusun dan diajukan oleh :

**SETYO MARTONO**

**Nomor Pokok D012181039**

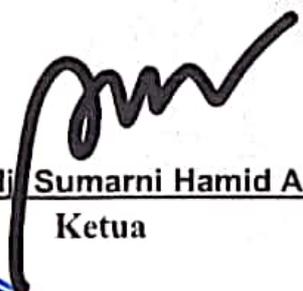
telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

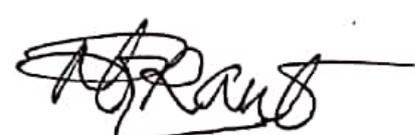
pada tanggal 17 September 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,

  
Prof. Dr. Ir. H. Sumarni Hamid Aly., MT  
Ketua

  
Dr. Ir. Syafruddin Rauf., MT  
Sekretaris

  
Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil  
  
Dr. Eng. H. Rita Irmawaty, ST., MT

  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
  
Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Setyo Martono

Nomor : D012181039

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan hasil tesis ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Oktober 2021

Yang menyatakan



Setyo Martono

## KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT atas Izin-Nya sehingga penulisan hasil penelitian dengan judul **“Studi Kajian Alternatif Rekayasa Lalulintas Pada Persimpangan Sebidang Jalan dan Jalan Rel Studi Lokasi Jl. Ahmad Yani – Jl. Jemursari Surabaya”** dapat terselesaikan. Tak lupa pula penulis haturkan shalawat dan salam atas junjungan Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan bagi sekalian umat dalam segala aspek kehidupan, sehingga menjadi motivasi penulis dalam menuntut ilmu di Universitas Hasanuddin.

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang begitu besar kepada Ibu **Prof.Dr.Ir.Hj. Sumarni Hamid Aly., MT** dan Bapak **Dr.Ir.Syafruddin Rauf.,MT** selaku ketua dan sekretaris komisi penasehat yang telah banyak memberikan waktu, gagasan dan pengetahuan serta dorongan semangat dan motivasi kepada penulis.

Ucapan terima kasih pula dihaturkan kepada Bapak **Prof.Dr.Ir. Sakti Adji Adisasmitha.,Msi.M.Eng.Sc.Ph.D**, Bapak **Prof.Dr.Eng.Ir. Muhammad Isran Ramli.,ST.,MT** dan Ibu **Dr.Eng.Ir. Muralia Hustim.,ST.,MT** selaku dosen penguji yang telah memberi banyak masukan dan saran pada saat ujian seminar. Terima kasih pula penulis sampaikan kepada Ibu **Dr. Eng. Rita Irmawaty.,ST.,MT** selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, Ketua Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin dan rekan-rekan

mahasiswa Pascasarjana Program Studi Teknik Sipil Konsentrasi Sistem Transportasi angkatan 2018.

Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan pengembangan lanjut agar benar-benar bermanfaat, oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan digunakan untuk pengembangan wawasan serta peningkatan ilmu pengetahuan bagi kita semua. Amin.

Gowa, September 2021

Setyo Martono

## DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
ABSTRAK .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah .....	3
1.3. Lokasi Penelitian.....	4
1.4. Rumusan Masalah.....	5
1.5. Tujuan Penelitian .....	6
1.6. Lingkup dan Batasan Penelitian .....	6
1.7. Manfaat Penelitian .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Arus Lalu Lintas .....	8
2.1.1. Kecepatan ( <i>V</i> ) .....	8
2.1.2. Arus ( <i>Flow</i> ) dan Volume.....	8
2.1.3. Kerapatan ( <i>Density</i> ) .....	9
2.1.4. Tundaan ( <i>Delay</i> ) .....	10
2.2. Kapasitas Jalan.....	10
2.2.1. Pengertian Kapasitas Jalan.....	10
2.2.2. Macam-Macam Kapasitas Jalan .....	11

2.2.3.	Perhitungan Kapasitas Ruas Jalan .....	12
2.2.4.	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kapasitas Ruas Jalan .....	14
2.2.5.	Derajat kejenuhan .....	14
2.3.	Tingkat Pelayanan .....	15
2.4.	Simpang ( <i>intersection</i> ) dan lampu lalu lintas.....	17
2.5.	Jenis-Jenis Pengaturan Simpang.....	19
2.6.	Lampu Lalu Lintas.....	21
2.7.	Jenis Sistem Pengaturan Lalu Lintas .....	22
2.8.	Karakteristik Pergerakan Lalu Lintas.....	22
2.9.	Kapasitas, Tingkat Pelayanan, V/C Ratio dan V/S Ratio.....	23
2.10.	Hubungan Kapasitas dan Tingkat Pelayanan.....	26
2.11.	Metode Analisis Simpang Bersinyal.....	26
2.12.	Metode Webster.....	27
2.13.	Data Geometri Persimpangan.....	29
2.14.	Data Arus Lalu Lintas.....	30
2.15.	Manajemen Dan Rekayasa Lalu Lintas .....	30
2.16.	Aplikasi Pemodelan Lalu Lintas .....	32
2.17.	Software Vissim .....	33
2.17.1.	Penggunaan VISSIM.....	36
2.17.2.	Simulasi Perilaku Berkendara .....	37
2.17.3.	Konsep Kalibrasi dan Validitas Model Simulasi.....	39
BAB III METODE PELAKSANAAN PENELITIAN .....		41
3.1.	Pendekatan Masalah .....	41
3.2.	Alur Metodologi.....	41
3.2.1.	Persiapan .....	41
3.2.2.	Mengumpulkan Data .....	41
3.2.3.	Metode Alternatif Flyover .....	44
3.2.4.	Pemodelan dengan vissim .....	45
3.3.	Kerangka Alir Penelitian.....	48

BAB IV HASIL DAN KESIMPULAN .....	52
4.1. Pengumpulan Data .....	52
4.1.1. Data Volume Lalu Lintas .....	52
4.1.2. Geometrik Simpang Eksisting .....	55
4.1.3. Kondisi Lingkungan Persimpangan.....	55
4.1.4. Pembagian Fase Simpang Bersinyal .....	57
4.1.5. Pertumbuhan Lalu Lintas .....	58
4.2. Kinerja Simpang Eksisting .....	62
4.2.1. Kinerja Simpang 1 Eksisting.....	62
4.2.2. Kinerja Simpang 2 Eksisting.....	63
4.2.3. Kinerja Simpang 3 Eksisting.....	65
4.2.4. Kinerja Simpang 4 Eksisting.....	66
4.3. Kinerja Simpang Rencana Fly Over .....	67
4.3.1. Kinerja Simpang 1 Rencana.....	67
4.3.2. Kinerja Simpang 2 Rencana.....	68
4.3.3. Kinerja Simpang 3 Rencana.....	69
4.4. Kinerja Simpang Rencana Fly Over Tahun 2025.....	70
4.4.1. Kinerja Simpang 1 Rencana Tahun 2025 .....	70
4.4.2. Kinerja Simpang 2 Rencana Tahun 2025 .....	72
4.4.3. Kinerja Simpang 3 Rencana Tahun 2025 .....	73
4.5. Perbandingan Kinerja Simpang Eksisting dan Rencana Fly Over .....	74
4.5.1. Perbandingan Kinerja Simpang 1.....	74
4.5.2. Perbandingan Kinerja Simpang 2.....	75
4.5.3. Perbandingan Kinerja Simpang 3.....	76
4.6. Kalibrasi Model Mikro – Simulasi .....	77
4.6.1. Kalibrasi Hasil Model Mikro Simulasi pada Kondisi Eksisting.....	79
4.6.2. Validasi Hasil Model Mikro Simulasi pada Kondisi Rencana.....	80

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	83
5.1. Kesimpulan .....	83
5.2. Saran .....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	xv

## DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
2.1	Tingkat Pelayanan Simpang	25
2.2	Penilaian Hasil Uji Statistik <i>GEH</i> ( <i>Geoffrey E. Havers</i> )	40
3.1	Detail pergerakan lokasi study	52
3.2	Jumlah Kendaraan	54
3.3	Volume kendaraan per jam jam puncak	55
3.4	Geometrik simpang	55
4.1	Volume kendaraan per jam pada jam puncak	64
4.2	Volume kendaraan per jam pada jam puncak	65
4.3	Geometrik Simpang	67
4.4	Data Jumlah Kendaraan Terdaftar di Surabaya	70
4.5	Hasil perhitungan pertumbuhan Kendaraan	71
4.6	Perkiraan Volume Jumlah Kendaraan Tahun 2025 di Surabaya	72
4.7	Hasil Pemodelan Vissim Simpang 1 Eksisiting	74
4.8	Hasil Pemodelan Vissim Simpang 2 Eksisiting	75
4.9	Hasil Pemodelan Vissim Simpang 3 Eksisiting	76
4.10	Hasil Pemodelan Vissim Simpang 4 Eksisiting	78
4.11	Rencana simpang 1	79
4.12	Rencana simpang 2	80
4.13	Rencana simpang 3	81
4.14	Hasil Analisis Simpang 1 Rencana Tahun 2025	82
4.15	Hasil Analisis Simpang 2 Rencana Tahun 2025	84
4.16	Hasil Analisis Simpang 3 Rencana Tahun 2025	85

4.17	Nilai Parameter Prilaku Pengemudi ( <i>Driving Behavior</i> )	89
4.18	Hasil Kalibrasi Volume Lalu Lintas kondisi Eksisting dengan Uji <i>Geoffrey E. Havers</i>	91
4.19	Hasil Validasi Volume Lalu Lintas Kondisi Rencana dengan Uji <i>GEH</i>	92

## DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
2.1	Hubungan antara Arus, Kecepatan dan Kerapatan	9
2.2	Micro-simulasi bundaran ( <i>roundabout</i> )	36
2.3	Micro-simulasi transportasi massal	37
2.4	Ilustrasi Ambang Car Following Model Wiedemann 74	45
3.1	Detail pergerakan simpang Jl. Ahmad Yani – Jl. Jemursari	53
3.2	Pergerakan Fase 1	57
3.3	Pergerakan Fase 2	58
3.4	Detail gambar rencana pembangunan flyover	58
3.5	Kerangka Alir	60
4.1	kondisi eksisting	66
4.2	Perbandingan analisis Eksisting, Rencana Fly Over dan Forecasting pada simpang 1	86
4.3	Perbandingan analisis Eksisting, Rencana Fly Over dan Forecasting pada simpang 2	87
4.4	Perbandingan analisis Eksisting, Rencana Fly Over dan Forecasting pada simpang 3	88
4.5	Visualisasi 3D Mikro – Simulasi Sebelum dan Setelah Kalibrasi	90

## **ABSTRAK**

**Setyo Martono** *Studi Kajian Dan Alternatif Rekayasa Lalulintas Pada Persimpangan Sebidang Jalan Dan Jalan Rel* (dibimbing oleh **Prof.Dr.Ir.Hj. Sumarni Hamid Aly.,MT** dan **Dr.Ir.Syafruddin Rauf.,MT**)

Kota Surabaya memiliki beberapa persimpangan pada sebidang antara rel kereta api dan jalan raya. Salah satunya di simpang Bundaran Dolog yang menghubungkan Jalan Ahmad Yani – Jalan Jemursari. Di kawasan ini, arus kendaraan cukup padat, terutama pada jam-jam berangkat dan pulang dari jam sibuk. Pada jam-jam tersebut, sering terjadi antrian panjang untuk melintasi bundaran ini, terutama jika palang pintu ditutup karena kereta yang lewat. Jika masalah ini tidak segera diatasi, maka akan memperburuk kinerja lalu lintas, kemacetan dan pencemaran lingkungan (pencemaran) yang disebabkan oleh antrian kendaraan yang berhenti dan mesin yang hidup. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat kinerja simpang sebidang antara rel kereta api dan jalan raya pada bundaran Dolog di kota Surabaya. Hasil yang diperoleh adalah kinerja simpang sebidang antara rel kereta api dan jalan di Bundaran Dolog dari Jalan Ahmad Yani – Jalan Jemursari diketahui jam puncak simpang pagi adalah pukul 06.30 – 07.30 dengan nilai DS sebesar 0,834, tingkat pelayanan D.

**Kata kunci:** Bundaran Dolog, Simpang, Jalan Ahmad Yani, Jalan Jemursari

## ABSTRACT

**Setyo Martono** *Performance of Intersection Plot Between Railway Line and Road at Dolog Roundabout (Ahmad Yani – Jemursari Roads) Surabaya, East Java* (supervised by **Prof.Dr.Ir.Hj. Sumarni Hamid Aly.,MT** and **Dr.Ir.Syafruddin Rauf.,MT**)

The city of Surabaya has several intersections on a plot between the railroad and the road. One of them is at the Dolog Roundabout intersection that connects Ahmad Yani Street - Jemursari Street. In this area, the flow of vehicles is quite dense, especially during the hours of leaving and returning from in peak hours. During these hours, there are often long queues to cross this roundabout, especially if the latch is closed due to a passing train. If these problems are not resolved immediately, it will worsen traffic performance, congestion and environmental pollution (pollution) caused by queues of vehicles that are stopped and engines are running. The purpose of this study was to see the performance of a level intersection between the railroad and the road at the Dolog roundabout in the city of Surabaya. The results obtained were the performance of the intersection of a plot between the railway line and the road at the Dolog Roundabout from Jalan Ahmad Yani - Jalan Jemursari, it was known that the peak hours of the morning intersection are 06.30 - 07.30 with a DS value of 0.834, the level of service D.

**Keywords:** Dolog Roundabout, Intersection, Ahmad Yani road, Jemursari road

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Permasalahan yang selalu dihadapi oleh kota-kota besar dalam bidang transportasi jalan di antaranya kemacetan, polusi, kecelakaan dan pemborosan energi. Semakin berkembang dan maju suatu kota akan semakin tinggi pula aktivitas masyarakat yang tinggal di kota tersebut. Aktivitas yang tinggi ini mempengaruhi jumlah sarana transportasi yang diperlukan, baik itu kendaraan pribadi maupun angkutan umum. Saat ini bertambahnya jumlah kendaraan jauh melebihi pertumbuhan jalan. Sebagai konsekuensinya harus dilakukan pengaturan lalu lintas yang baik guna mengurangi dan menghindari permasalahan kemacetan.

Salah satu area kritis pada pengaturan lalu lintas adalah persimpangan. Pada persimpangan terjadi konflik-konflik arus yang berpotensi menyebabkan tundaan serta kecelakaan. Semakin tinggi tingkat arus dapat menyebabkan persimpangan akan mengalami tingkat tundaan yang lebih tinggi.

Pada kota-kota yang menggunakan sarana transportasinya kereta api, pada beberapa titik tertentu akan ditemui persimpangan sebidang jalan dan jalan rel. Hal ini menyebabkan kendaraan yang melewati persimpangan tersebut harus berhenti sejak saat pintu

perlintasan ditutup hingga dibuka kembali, sehingga mengakibatkan penambahan waktu perjalanan.

Dengan mempertimbangkan karakteristik pergerakannya, kereta api mendapat prioritas pada persimpangan. Hal ini diatur oleh peraturan Pemerintah Nomor Undang-Undang No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas Angkutan Jalan (LLAJ) Pasal 114 menyatakan bahwa : Pada pelintasan sebidang antara jalur KA dan jalan, pengemudi kendaraan wajib berhenti ketika sinyal sudah berbunyi dan palang pintu KA sudah mulai ditutup, serta wajib mendahulukan kereta api.

Aturan di atas senada dengan UU No 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian Pasal 90 poin d) menyatakan bahwa : Penyelenggara Prasarana Perkeretaapian berhak dan berwenang mendahulukan perjalanan kereta api di perpotongan sebidang dengan jalan. Pasal 124 menyatakan bahwa : Pada perpotongan sebidang antara jalur kereta api dan jalan, pemakai jalan wajib mendahulukan perjalanan kereta api.

Tundaan pada persimpangan sebidang antara jalur kereta api dan jalan ini bukan hanya disebabkan oleh penutupan pintu perlintasan, namun juga oleh ketidakrataan jalan yang disebabkan oleh alur rel yang melintang terhadap badan jalan dan pada beberapa tempat dengan adanya rumble strip, yang dikenal sebagai tundaan

geometrik sehingga penulis melakukan studi kajian dan alternatif rekayasa lalu lintas pada persimpangan sebidang jalan dan jalan rel.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Di Kota Surabaya terdapat beberapa persimpangan sebidang antara jalur kereta api dan jalan. Salah satunya pada persimpangan Jl. Ahmad Yani – Jl. Jemursari. Di daerah ini arus kendaraan cukup padat khususnya pada jam berangkat dan pulang kerja. Pada jam-jam tersebut sering terjadi antrian panjang untuk melintas di bundaran ini, terlebih apabila palang pintu tertutup karena kereta melintas. Apabila permasalahan tersebut tidak segera diatasi maka akan memperburuk kinerja lalu-lintas, kemacetan dan pencemaran lingkungan (polusi) yang diakibatkan antrian kendaraan yang berhenti dan mesin dalam keadaan hidup.

Sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan di persimpangan Jl. Ahmad Yani – Jl. Jemursari, penulis membuat model pembangunan Fly Over yang akan menghilangkan persimpangan sebidang dengan jalur kereta.

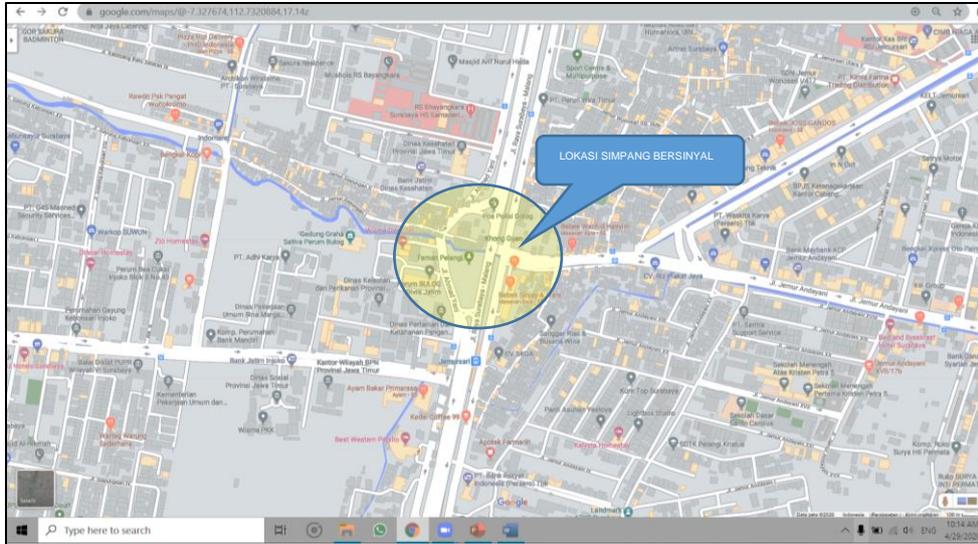
Penelitian ini akan melakukan analisis kinerja lalu lintas saat sekarang serta alternatif lain yaitu pembangunan Fly over. Selanjutnya akan membandingkan kedua kondisi tersebut apakah alternatif Fly Over yang merupakan solusi yang aman dan tepat menanggulangi kemacetan lalu lintas.

Sebagai langkah awal penelitian, dilakukan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer meliputi geometrik jalan dan arus lalu lintas jalan. Data sekunder meliputi jadwal perjalanan kereta api dan data pendukung lainnya. Selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisis tundaan kendaraan dengan pemodelan kondisi eksisting dan alternatif Fly over menggunakan program VISSIM. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam menentukan kebijakan sebagai solusi permasalahan lalu lintas di lokasi tersebut.

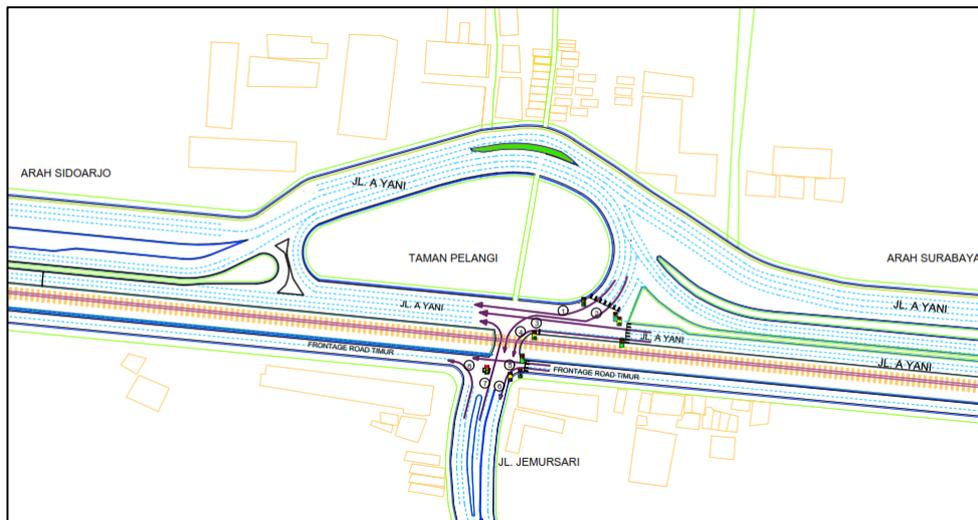
### **1.3. Lokasi Penelitian**

Kota Surabaya sebagai ibukota Provinsi Jawa Timur Terletak ditepi pantai utara Provinsi Jawa Timur atau tepatnya diantara 7° 9" – 7°21" Lintang Selatan dan 112°36" -112° 54" Bujur Timur. Wilayahnya berbatasan dengan selat Madura di sebelah utara, Kabupaten Sidoarjo disebelah selatan dan Kabupaten Gresik di sebelah barat.

Secara administrasi pemerintah Kota Surabaya terdiri atas 31 kecamatan dan 160 kelurahan. Secara demografi kota Surabaya memiliki penduduk hingga akhir 2010 sebanyak 2.929.538 dengan komposisi yang relatif seimbang antara laki-laki dengan perempuan yaitu 50,18 % dan 49,82 % perempuan. Dengan Luas 33.048 Ha maka tingkat kepadatan kota Surabaya sebesar 8.864 jiwa / km<sup>2</sup>.



Gambar.1.1 Eksisting lokasi penelitian maps



Gambar.1.2 Detail eksisting lokasi penelitian

#### 1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan diteliti adalah :

1. Bagaimana kinerja simpang sebidang antara jalur kereta api dan jalan raya di bundaran Jl. Ahmad yani – Jl. Jemursari?
2. Bagaimana kinerja simpang dengan model alternatif fly over?
3. Bagaimana Kinerja simpang dengan model anternatif flyover untuk kondisi 5 tahun kedepan?

#### **1.5. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis kinerja simpang sebidang antara jalur kereta api dan jalan raya di bundaran Jl. Ahmad yani – Jl. Jemursari
2. Menganalisis kinerja simpang dengan model alternatif fly over.
3. Menganalisis Kinerja simpang dengan model anternatif flyover untuk kondisi 5 tahun kedepan?

#### **1.6. Lingkup dan Batasan Penelitian**

Agar penelitian ini dapat berjalan efektif, terencana terukur dan tepat sasaran, maka penelitian ini hanya mencakup kondisi sebagai berikut :

1. Kajian terhadap persimpangan sebidang didasarkan pada analisis tundaan dengan parameter kecepatan rata-rata ruang, volume dan kerapatan.
2. Data yang digunakan adalah data primer dan sekunder
3. Analisis hanya dilakukan pada satu lokasi persimpangan sebidang jalan dan jalan rel.

#### **1.7. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam menentukan kebijakan sebagai solusi permasalahan lalu lintas di persimpangan dari Jl. Ahmad Yani – Jl. Jemursari. Sehingga bisa diwujudkan sistem transportasi yang aman dan nyaman, serta efektif dan efisien.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Arus Lalu Lintas**

Arus lalu lintas dibentuk oleh pengendara dan kendaraan sehingga terjalin suatu interaksi antara keduanya serta interaksi antara kedua komponen tersebut terhadap jalan dan lingkungan. Kendaraan yang memasuki suatu arus lalu lintas tidak mungkin berjalan secara seragam karena perbedaan ketrampilan dan pengambilan keputusan oleh pengemudi. Arus lalu lintas secara prinsip dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Arus Lalu Lintas Tidak Terganggu (*Uninterrupted Flow*)
2. Arus Lalu Lintas Terganggu (*Interrupted Flow*)

Parameter arus lalu lintas dapat digolongkan dalam dua kategori, yaitu :

1. Parameter Makroskopis
2. Parameter Mikroskopis

##### **2.1.1. Kecepatan (V)**

Adalah laju dari suatu pergerakan kendaraan dihitung dalam jarak persatuan waktu.

##### **2.1.2. Arus (*Flow*) dan Volume**

Arus adalah jumlah kendaraan yang melintasi ruas jalan pada suatu waktu yang pendek dan membedakan arah. Satuan arus adalah kendaraan/waktu atau smp/waktu. Volume adalah jumlah kendaraan yang melintasi jalan dalam waktu yang panjang (24 jam) dan tidak membedakan arah. Besarnya volume diukur dalam satuan kendaraan/jam.

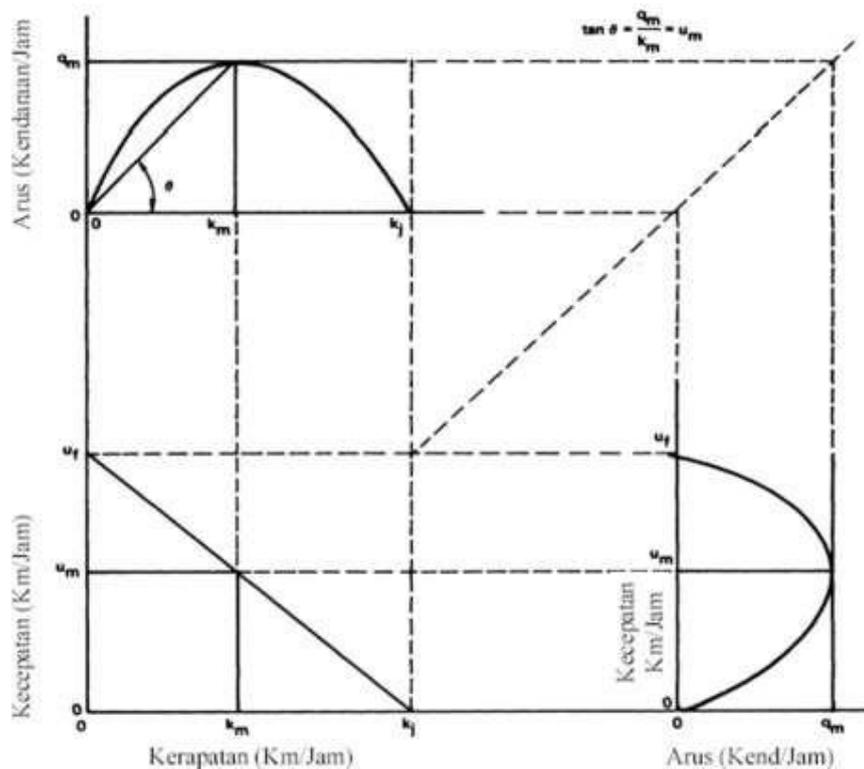
### 2.1.3. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan adalah jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur dalam kendaraan per km atau kendaraan per km per lajur.

Ketiga unsur karakteristik dasar lalu lintas merupakan unsur pembentuk aliran lalu lintas yang akan mendapatkan pola hubungan :

1. Kecepatan dengan Kerapatan
2. Arus dengan Kecepatan
3. Arus dengan Kerapatan

Hubungan antar ketiga unsur karakteristik lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 2.1 Hubungan antara Arus, Kecepatan dan Kerapatan

#### **2.1.4. Tundaan (*Delay*)**

Tundaan adalah waktu yang hilang dari suatu perjalanan kendaraan akibat adanya satu atau beberapa elemen dalam aliran lalu lintas. Tundaan terjadi akibat adanya selisih antara kecepatan rencana ( $V_r$ ) dengan  $V$  sebenarnya ( $V_i$ ) dimana  $V_i < V_r$ . Tundaan dapat terjadi di persimpangan ataupun ruas jalan.

### **2.2. Kapasitas Jalan**

#### **2.2.1. Pengertian Kapasitas Jalan**

- a. Menurut *Highway Capacity Manual* (HCM) 1965

*“Capacity is the maximum number of vehicles that can pass in a given period time “*

- b. Menurut Clark H. Oglesby (1990)

Kapasitas suatu ruas jalan adalah jumlah kendaraan maksimum yang memiliki kemungkinan yang cukup untuk melewati ruas jalan tersebut (dalam satu atau pun kedua arah) dalam periode waktu tertentu.

- c. Menurut MKJI

Kapasitas adalah jumlah maksimum kendaraan atau orang yang dapat melintasi suatu titik pada lajur jalan pada periode waktu tertentu dalam kondisi jalan tertentu atau merupakan arus maksimum yang bisa dilewatkan pada suatu ruas jalan. Kapasitas ruas jalan dinyatakan dalam kendaraan atau smp/jam.

## 2.2.2. Macam-Macam Kapasitas Jalan

### a. Kapasitas Dasar (*Basic Capacity*)

Adalah jumlah kendaraan atau orang maksimum yang dapat melintasi suatu penampang jalan tertentu selama 1 jam pada kondisi jalan dan lalu lintas yang ideal. Digunakan sebagai dasar perhitungan untuk kapasitas rencana. Kapasitas dasar merupakan kapasitas terbesar dibangun pada kondisi arus yang ideal. Arus dikatakan pada kondisi yang ideal jika kondisi jalan:

- a. *Uninterrupted flow*
- b. Kendaraan yang lewat sejenis (kendaraan penumpang)
- c. Lebar lajur minimum : 3,50 m.
- d. Kebebasan samping : 1,80 m.
- e. Mempunyai desain alinemen horizontal dan vertikal yang bagus (datar,  $V = 120$  km/jam)
- f. Untuk lalu lintas 2 arah 2 jalur dimungkinkan gerakan menyiap dengan jarak pandang 500 m.

### b. Kapasitas Rencana (*Design Capacity*)

Adalah jumlah kendaraan atau orang maksimum yang dapat melintasi suatu penampang jalan tertentu selama 1 jam pada kondisi jalan dan lalu lintas yang sedang berlaku tanpa mengakibatkan kemacetan, kelambatan, dan bahaya yang masih dalam batas-batas yang diinginkan.

### c. Kapasitas Yang Mungkin (*Possible Capacity*)

Jumlah kendaraan atau orang maksimum yang dapat melintasi suatu penampang jalan tertentu selama 1 jam pada kondisi jalan dan lalu lintas yang sedang berlaku (pada saat itu). Kapasitas ini lebih kecil dari kapasitas rencana.

### 2.2.3. Perhitungan Kapasitas Ruas Jalan

Dipengaruhi oleh 2 (dua) faktor, yaitu :

- a. Ada atau tidaknya pembatas jalan (median)
  - i. Jika terdapat median maka kapasitas dihitung terpisah untuk setiap arah.
  - ii. Jika tanpa pembatas jalan maka kapasitas dihitung untuk kedua arah.
- b. Lokasi ruas jalan
  - i. *Urban* (perkotaan) memperhitungkan FCcs yaitu faktor koreksi akibat ukuran kota (jumlah penduduk)
  - ii. *Interurban (rural)* tidak memperhitungkan FCcs.

Persamaan umum untuk menghitung kapasitas jalan menurut Metode IHCM '97 adalah sebagai berikut :

- a. Kapasitas jalan untuk daerah perkotaan adalah :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \text{ (smp/jam)}$$

Dimana :

C = kapasitas ruas jalan (smp/jam)

C<sub>o</sub> = kapasitas dasar (smp/jam)

FC<sub>w</sub> = faktor koreksi kapasitas untuk lebar jalan

FCsp = faktor koreksi kapasitas akibat pembagian arah  
(tidak berlaku bagi jalan satu arah)

FCsf = faktor koreksi kapasitas akibat gangguan samping

FCcs = faktor koreksi akibat ukuran kota (jumlah penduduk)

b. Kapasitas ruas jalan untuk daerah *interurban (rural)* dirumuskan:

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \text{ (smp/jam)}$$

Kapasitas sistem jaringan jalan perkotaan tidak saja dipengaruhi oleh kapasitas ruas jalannya tetapi juga oleh kapasitas setiap persimpangannya (baik yang diatur oleh lampu lalu lintas maupun tidak). Bagaimanapun baiknya kinerja ruas jalan dari suatu sistem jaringan jalan, jika kinerja persimpangannya sangat rendah maka kinerja seluruh sistem jaringan jalan tersebut akan menjadi rendah pula (Ofzar Z. Tamin).

Kapasitas lengan persimpangan lalu lintas dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu :

1. Nilai arus jenuh
2. Waktu hijau efektif
3. Waktu siklus.

Dirumuskan :

$$C = \frac{S \cdot g}{c}$$

Dimana :

C : kapasitas (smp/jam)

S : arus jenuh (smp/jam)

G : waktu hijau efektif

c : waktu siklus

#### **2.2.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kapasitas Ruas Jalan**

a. Kondisi Lalu Lintas

Komposisi lalu lintas secara umum yang ditunjukkan oleh proporsi mobil penumpang, truk, bus dan mobil pribadi (wisata) pada arus lalu lintas.

b. Kondisi Jalan

Karakteristik geometrik jalan seperti rencana kecepatan ( $V_r$ ), alinemen horizontal dan vertikal, jumlah dan lebar jalur, kebebasan pandangan samping dan konfigurasi lajur.

c. Kondisi Fasilitas Jalan

Rambu, marka jalan, lampu lalu lintas, kontrol tata guna lahan dan jalan satu arah.

#### **2.2.5. Derajat kejenuhan**

Derajat kejenuhan adalah perbandingan antara arus total sesungguhnya ( $Q_{tot}$ ) dengan kapasitas sesungguhnya ( $C$ ). Nilai derajat kejenuhan suatu ruas jalan bervariasi dari 0 - 1.

Derajat kejenuhan merupakan pencerminan kenyamanan pengemudi dalam mengemudikan kendaraannya. Secara kualitatif dapat dikatakan bahwa kenyamanan pengemudi meningkat dengan

menurunnya rasio volume lalu lintas (V) terhadap kapasitas (C) pada jalur yang dilalui. Ada 3 kondisi V/C yaitu :

- $V/C < 1$ , maka volume lalu lintas masih di bawah kapasitasnya.
- $V/C = 1$ , maka volume lalu lintas sama dengan kapasitasnya.
- $V/C > 1$ , maka volume lalu lintas telah melebihi kapasitasnya

### **2.3. Tingkat Pelayanan**

Tingkat pelayanan atau "*Level Of Services*" adalah tingkat pelayanan dari suatu jalan yang menggambarkan kualitas suatu jalan dan merupakan batas kondisi pengoperasian. Tingkat pelayanan suatu jalan merupakan ukuran kualitatif yang digunakan *United States Highway Capacity Manual* (USHCM 1985) yang menggambarkan kondisi operasional lalulintas dan penilaian oleh pemakai jalan.

Tingkat pelayanan suatu jalan menunjukkan kualitas jalan diukur dari beberapa faktor yaitu : Kecepatan dan waktu tempuh, Kerapatan (*density*), Tundaan (*delay*), Arus lalu lintas dan arus jenuh (*saturation flow*), Derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

Berkaitan dengan kecepatan operasi atau fasilitas jalan yang tergantung pada perbandingan antara arus terhadap kapasitas. Dipakai oleh HCM. Tingkat pelayanan ditentukan dalam suatu skala yang terdiri dari enam tingkat pada kisaran A sampai dengan F. Oglesby (1990)

menerangkan bahwa kondisi operasi dari berbagai tingkat pelayanan jalan adalah sebagai berikut :

a. Tingkat Pelayanan A : Arus Bebas

Kecepatan kendaraan dikendalikan oleh keinginan pengemudi, batas kecepatan dan kondisi fisik jalan.

b. Tingkat Pelayanan B : Arus Stabil (Untuk merancang jalan antar kota)

Kecepatan operasi kendaraan mulai terbatas sedikit atau sama sekali tidak mengalami keterbatasan dalam kemampuan bergerak akibat kendaraan lain.

c. Tingkat Pelayanan C : Arus Stabil (untuk merancang jalan perkotaan) Kecepatan dan kemampuan bergerak kendaraan semakin terhadang.

d. Tingkat Pelayanan D : Arus Mulai Tidak stabil

Kecepatan yang layak masih dapat dipertahankan tetapi keterbatasan pada arus lalu lintas mengakibatkan terjadinya penurunan kecepatan. Kebebasan bergerak agak kecil, sementara kenyamanan mengemudi relatif rendah.

e. Tingkat Pelayanan E : Arus Tidak Stabil

Kecepatan kendaraan sekitar 30 Mph, arus tidak stabil, kendaraan sering terhenti pada waktu-waktu tertentu. Kemampuan bergerak sangat terbatas.

f. Tingkat Pelayanan F : Arus Terpaksa (*forced flow*)

Kecepatan operasi kendaraan sangat rendah. Volume lebih kecil dari kapasitas dan terbentuk antrian kendaraan.

Tingkat Pelayanan sangat tergantung pada jenis fasilitas, bukan arusnya. Jalan tol mempunyai tingkat pelayanan yang tinggi, sedangkan jalan yang sempit mempunyai tingkat pelayanan yang rendah (Black, 1981).

#### **2.4. Simpang (*intersection*) dan lampu lalu lintas**

Simpang adalah suatu area kritis pada suatu jalan raya yang merupakan titik konflik dan tempat kemacetan karena bertemunya dua ruas jalan atau lebih (Pignataro, 1973). Karena merupakan tempat terjadinya konflik dan kemacetan maka hampir semua simpang terutama di perkotaan membutuhkan pengaturan.

##### **a. Tujuan pengaturan simpang adalah :**

1. Untuk mengurangi kecelakaan.

Simpang merupakan sumber konflik bagi pergerakan lalu lintas sebab merupakan bertemunya beberapa pergerakan kendaraan dari berbagai arah menuju suatu area yang sama yaitu ruang di tengah simpang. Dapat digambarkan sebagai suatu kondisi "*Bottleneck*" dimana arus dari kaki simpang merupakan bagian "*upstream*" dan area di tengah simpang sebagai "*downstream*". Kondisi ini tidak menjadi masalah jika arus dari bagian pendekat tidak datang bersamaan. Namun kenyataannya sulit dijumpai pada persimpangan di

perkotaan pada kenyataannya arus datang pada saat bersamaan sehingga rawan terjadi kecelakaan atau konflik antar kendaraan.

Konflik kendaraan pada simpang terjadi karena :

- a. Gerak saling memotong (*crossing*)
  - b. Gerak menggabung (*converging*)
  - c. Gerak memisah (*diverging*)
2. Untuk meningkatkan kapasitas.

*Karena* terjadi konflik maka kapasitas simpang menjadi berkurang dan jauh lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas pada pendekat. Diharapkan dengan adanya pengaturan maka konflik bisa dikurangi dan akibatnya kapasitas meningkat.

3. Meminimumkan tundaan.

Pada suatu simpang yang terdiri dari dua macam arus pendekat yakni bagian utama (*major*) dan *minor* maka biasanya arus dari arah bagian utama merupakan arus menerus dengan kecepatan yang tinggi. Jika tanpa pengaturan maka arus yang datang dari arah *minor* akan sulit menyela terutama jika arus dari arah *major* cukup tinggi. Dengan demikian maka arus dari arah *minor* akan mengalami tundaan yang besar.

Sistem lalu lintas berfungsi untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi pergerakan lalu lintas. Hal itu dapat ditempuh dengan melakukan koordinasi lampu lalu lintas pada semua pertemuan jalan. Koordinasi lampu akan menghasilkan sistem pengaturan yang optimal dengan mengatur jumlah fase, interval, dan waktu hijau tiap fase. Yang dipakai sebagai jarak optimal adalah jarak tempuh, kecepatan perjalanan, biaya kelambatan dan biaya berhenti. Selain itu diharapkan polusi dan kebisingan lalu lintas menjadi minimal.

## **2.5. Jenis-Jenis Pengaturan Simpang**

Jenis-jenis pengaturan simpang berdasarkan tingkatan arus adalah sebagai berikut :

### **1. Pengaturan dengan Pemberian Kesempatan Jalan**

Fasilitas pengaturan yang riil berupa rambu atau marka jalan.

Pengaturan ini menitikberatkan pada pemberian hak jalan pada kendaraan lain ketika memasuki simpang dengan pembagian :

- a. Memberi hak jalan pada kendaraan yang lebih dahulu memasuki simpang.
- b. Memberi hak jalan pada kendaraan yang berada pada posisi lebih kiri daripada kendaraan tinjauan.
- c. Kendaraan yang hendak belok ke arah kanan pada suatu persimpangan diwajibkan memberi hak jalan kepada kendaraan dari arah lainnya.

d. Memberi hak jalan pada penyeberang jalan yang menyentuh garis marka penyeberangan/*zebra cross*

2. Dengan Rambu Yield

Dipasang pada arah jalan minor, pengemudi wajib memperlambat laju kendaraan dan meneruskan perjalanan bila kondisi lalu lintas cukup aman.

3. Dengan Rambu Stop

Pengemudi wajib berhenti, dipasang di jalan minor.

4. Kanalisasi Simpang

Untuk mengarahkan kendaraan atau memisahkannya dari arah pendekat yang akan belok ke kiri, lurus dan kanan. Berupa pulau dengan kerb yang lebih tinggi dari jalan atau hanya berupa garis marka jalan.

5. Dengan Bundaran (*roundabout*)

Berupa pulau di tengah-tengah simpang yang lebih tinggi dari permukaan jalan rata-rata dan bukan berupa garis marka. Berfungsi untuk mengarahkan dan melindungi kendaraan yang akan belok kanan.

6. Pembatasan Belok

Untuk mengurangi jumlah konflik. Cara pengaturan :

a. Larangan Belok Kiri

Akan terjadi konflik dengan pejalan kaki sehingga kendaraan harus berhenti yang mengakibatkan kendaraan di belakang ikut pula berhenti.

b. Larangan Belok Kanan

Kendaraan yang belok ke kanan harus menempuh arah lurus sampai pada tempat yang dipandang aman lalu berputar arah kemudian belok ke kiri.

7. Dengan Lampu Lalu Lintas

Mencegah konflik kendaraan berdasar interval waktu.

8. Dengan Persimpangan Tidak Sebidang

Bentuknya berupa jembatan layang (*fly over*) atau terowongan bawah tanah. Berfungsi untuk mencegah konflik antar kendaraan berdasarkan interval ruang.

## **2.6. Lampu Lalu Lintas**

Lampu lalu lintas merupakan alat pengatur lalu lintas yang mempunyai fungsi utama sebagai pengatur hak berjalan pergerakan lalu lintas (termasuk pejalan kaki) secara bergantian di pertemuan jalan.

Lampu lalu lintas berfungsi untuk mengurangi adanya konflik antara berbagai pergerakan lalu lintas dengan cara memisahkan pergerakan-pergerakan tersebut dari segi ruang dan waktu. Dengan demikian, kapasitas pertemuan jalan dan tingkat keselamatan pemakai jalan akan meningkat. Perlu diingat bahwa waktu tunggu bagi suatu pergerakan

menurut standar Inggris adalah terbatas yaitu maksimal 120 detik. (Siti Malkamah).

Pemasangan lampu lalu lintas mengacu kepada :

1. Tundaan dari arah *minor* 30 detik selama 8 jam /hari.
2. Arus kendaraan dari masing-masing lengan 750 kendaraan / jam selama delapan jam dalam sehari.
3. Arus pejalan kaki dari masing-masing lengan 175 orang / jam selama delapan jam dalam sehari.
4. Angka kecelakaan 5 kejadian pertahun.

### **2.7. Jenis Sistem Pengaturan Lalu Lintas**

Dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

1. *Pretime Controller (fixed time controller)*
2. *Semiactuated Controller*
3. *Fully Actuated Controller*

### **2.8. Karakteristik Pergerakan Lalu Lintas**

Karakteristik pergerakan meliputi : arus jenuh, waktu hijau efektif/effective *green time* dan waktu hilang //*lost time*. Pada saat lampu merah kendaraan akan berhenti. Jika lampu hijau menyala arus yang melewati *stop line* akan bertambah dan inilah yang disebut sebagai arus jenuh. Jadi arus jenuh adalah jumlah maksimum kendaraan yang bisa diberangkatkan dari antrian pada periode waktu hijau.

Waktu hilang (*lost time* :  $\epsilon$ ) = *start lag a* – *end lag b*

*Start lag a* =  $l + ee'$  = *Intergreen* + *start loss*

$$= \text{amber} + \text{all red} + \text{start loss}$$

Jika  $\text{start loss} = \text{end lag}$ , maka  $\text{Lost time} = \text{Intergreen}$

Hubungan antara *displayed green time* (G) dan *effective green time* (g) adalah :

$$g + \text{I} = G + \text{I}$$

## 2.9. Kapasitas, Tingkat Pelayanan, V/C Ratio dan V/S Ratio

Kapasitas suatu simpang bersinyal dihitung untuk masing- masing *lane grup* dari pendekat. *Lane grup* adalah satu atau lebih lajur yang melayani arus lalu lintas dan mempunyai *stop line* bersama dan kapasitas terbagi untuk semua kendaraan. Kapasitas *lane grup* adalah arus maksimum rata-rata pada *lane grup* yang dapat dilepaskan pada persimpangan di bawah kondisi lalu lintas, kondisi geometrik dan kondisi sinyal. Rerata arus biasanya diukur untuk periode 15 menitan.

Kondisi lalu lintas meliputi : volume pada tiap pendekat, distribusi pergerakan kendaraan (kiri, lurus, kanan), lokasi perhentian bus, arus pejalan kaki dan parkir pada daerah persimpangan. Kondisi geometrik meliputi jumlah lajur, lebar lajur, kelandaian dan lajur khusus untuk parkir. Sedangkan kondisi sinyal meliputi fase sinyal dan tipe dari kontrol. *Flow ratio* didefinisikan sebagai perbandingan antara arus yang ada atau arus yang diperkirakan (arus desain) pada *lane grup*  $i$  ( $v_i$ ) dengan arus jenuh ( $s_i$ ).

Dirumuskan :

$$\text{Flow ratio} = \frac{v_i}{s_i}$$

$$c_i = \frac{s_i \cdot g}{C}$$

dimana :  $c_i$  = kapasitas per lane per grup i

$s_i$  = arus jenuh per lane per grup i

$g_i$  = hijau efektif

$C$  = panjang siklus

V/C ratio adalah rasio antara arus dengan kapasitas diberi simbol X dan dirumuskan :  $X = v/c$

Perbandingan antara  $g/C$  disebut sebagai rasio hijau efektif (*green time ratio*) diberi simbol U, sehingga  $U = g/C$ . Sehingga V/C ratio untuk *lane grup* i merupakan hasil bagi antara *flow ratio* dengan *green time ratio* dirumuskan :

$$X_i = \frac{(v/s)_i}{(g_i/C)}$$

Harga  $X_i$  berkisar antara 0 – 1.

Nilai  $X_i = 1$  terjadi jika arus yang ada sama dengan kapasitas.

Nilai  $X_i = 0$  terjadi jika tidak ada arus yang lewat.

Jika nilai  $X_i$  lebih besar dari 1 maka mengindikasikan bahwa kapasitas jalan sudah tidak mencukupi terhadap tuntutan permintaan (*demand*).

V/C *ratio* kritis atau  $X_{ci}$  yaitu V/C *ratio* simpang secara keseluruhan yang didasarkan dengan hanya mempertimbangkan *flow ratio* (v/s) *lane grup* yang tertinggi pada suatu fase sinyal.

Dirumuskan :

$$X_{ci} = \sum \left(\frac{v}{s}\right)_{ci} \times \frac{C}{C-L}$$

Dimana :

- $X_{ci}$  = V/C kritis pada suatu persimpangan
- $\sum \left(\frac{v}{s}\right)_{ci}$  = penjumlahan dari *flow ratio* untuk semua *lane grup* kritis
- C = panjang siklus
- L = total waktu hilang

V/C *ratio* merupakan ukuran dari kecukupan kapasitas yaitu apakah kondisi geometrik dan desain sinyal cukup menyediakan kapasitas bagi pergerakan. Sedangkan tundaan merupakan ukuran kualitas bagi pelayanan terhadap pengguna jalan.

Tingkat pelayanan suatu simpang merupakan ukuran kualitas pelayanan simpang yang digambarkan sebagai rata-rata tundaan berhenti (*stopped delay*) per kendaraan untuk periode pengamatan 15 menit. Tingkat pelayanan simpang secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini :

Tabel 2.1 Tingkat Pelayanan Simpang

LOS	<i>Stopped Delay</i> per Kendaraan (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

## 2.10. Hubungan Kapasitas dan Tingkat Pelayanan

Karena tundaan sangat sulit diukur maka hubungannya dengan kapasitas juga sangat kompleks. Tundaan yang tinggi dapat terjadi pada berbagai *V/C ratio* bilamana terjadi kombinasi dari berbagai kondisi sebagai berikut :

- a. Waktu siklus lama
- b. *Lane grup* yang ditinjau tidak diuntungkan karena waktu sinyal missal waktu merah terlalu lama.
- c. *Progress sinyal* untuk pergerakan utama jelek.

Hal sebaliknya dapat terjadi yakni pada *lane grup* yang jenuh yaitu *V/C ratio* mendekati angka 1 tetapi tundaan rendah jika :

- a. *Waktu siklus pendek*
- b. *Progress sinyal pada pergerakan utama bagus.*

## 2.11. Metode Analisis Simpang Bersinyal

Untuk menganalisis simpang bersinyal ada beberapa cara :

1. Metode IHCM 1997 (Indonesian Highway Capacity Manual 1997)
2. Metode USHCM 1994
3. Metode Akcelik (Australia)
4. Metode SIDRA
5. Metode Webster

## **2.12. Metode Webster**

### **a. Prinsip Pergerakan**

Untuk mempercepat waktu siklus dan efisiensi penggunaan sinyal yang tinggi dengan tetap berprinsip pada aspek keselamatan maka perlu dipikirkan mengalirkan beberapa arus lalu lintas secara bersamaan.

Terdapat tiga (3) teknik untuk mengatur pergerakan, menurut Metode Webster yaitu :

#### **1. Mengizinkan Pergerakan**

Aplikasi dari mengizinkan pergerakan pada simpang berkaki empat adalah dengan melepas arus lalu lintas dari dua arah yang berlawanan sedangkan kedua arah lainnya ditahan. Kendaraan yang berjalan lurus mendapat prioritas untuk jalan terlebih dahulu dan kendaraan yang hendak berbelok ke kanan harus menunggu kesempatan. Bila jumlah lajur hanya satu maka kendaraan yang hendak belok kanan dapat berjalan menuju ke tengah persimpangan untuk menunggu kesempatan sehingga kendaraan di belakangnya yang berjalan lurus tidak terganggu. Pada cara ini berarti hanya dibutuhkan dua fase sehingga waktu siklus menjadi kecil.

#### **2. Membatasi Pergerakan**

Maksud dari membatasi pergerakan adalah dengan tidak mengizinkan belok kanan. Hal ini diterapkan dengan

pertimbangan arus lalu lintas yang belok kanan cukup besar sehingga akan mengganggu arus kendaraan lurus dibelakangnya. Hal ini disebabkan ruang tengah persimpangan sudah penuh dengan kendaraan belok kanan yang sedang menunggu kesempatan jalan.

### 3. Memisahkan Pergerakan

Diterapkan pada simpang berkaki empat yang dilakukan dengan tiga tahapan :

#### a. Pemutusan Cepat (*Early Cut Off*)

Jika arus belok kanan pada suatu kaki cukup besar, maka cara yang dilakukan adalah dengan melepas arus yang berlawanan arah secara bersamaan sedangkan yang belok kanan ditahan terlebih dahulu. Tahap berikutnya arus dari arah lawan ditahan dan dilanjutkan dengan melepas arus belok kanan sambil arus yang lurus pada kaki yang sama tetap diijinkan berjalan.

#### b. Awal Yang Terlambat (*Late Start*)

Alternatif lain jika arus belok kanan pada kaki simpang cukup besar yaitu dengan cara awal yang terlambat. Prinsip kerjanya adalah dengan melepas arus lurus dan belok kanan terlebih dahulu dan menahan arus yang berlawanan arah. Setelah beberapa detik berjalan baru arus dari arah lawan dilepas. Baik cara pemutusan cepat

dan awal yang terlambat keduanya memakai prinsip bahwa arus yang berlawanan arah berjalan dalam satu fase. Kelebihan cara awal yang terlambat adalah arus yang hendak belok kanan dengan jumlah besar tidak perlu disediakan lajur khusus karena tidak akan terjadi antrian kendaraan yang menunggu kesempatan untuk belok kanan.

c. Phase Khusus Belok Kanan

Metode ini diterapkan bilamana arus belok kanan untuk kedua kaki simpang cukup besar, yakni dengan cara memberikan fase khusus untuk kendaraan belok kanan pada kedua kaki simpang yang berlawanan.

**b. Prosedur Perhitungan**

Prosedur yang diberikan merupakan petunjuk cara pembagian waktu pada persimpangan yang terisolasi artinya antar simpang satu dengan simpang yang lain tidak dikoordinasikan settingnya atau terpisah. Sasarannya adalah untuk mengoptimalkan tingkat operasi simpang dengan waktu tunggu yang ditekan seminimal mungkin tanpa harus mengorbankan keselamatan pemakai.

**2.13. Data Geometri Persimpangan**

Data geometri diperlukan untuk menentukan arus jenuh dari simpang.

Data-data itu meliputi :

1. Radius Tikungan
2. Sudut yang dibentuk oleh kaki-kaki simpang
3. Lebar pendekat kaki simpang
4. Data-data lain :
  - a. Pembagian lajur (kiri, lurus, kanan ) dan lebar masing-masing
  - b. Tata guna tanah di sekitar persimpangan
  - c. Lebar bahu dan trotoar di sekitar simpang
  - d. Rambu dan marka disekitar persimpangan
  - e. Lokasi tempat parkir di persimpangan
  - f. Kelandaian jalan

#### **2.14. Data Arus Lalu Lintas**

Berupa data jumlah kendaraan dan arah pergerakannya. Pencatatan kendaraan dilakukan untuk setiap jenis kendaraan.

#### **2.15. Manajemen Dan Rekayasa Lalu Lintas**

Manajemen dan rekayasa sendiri memiliki penjelasan dan pengertian yang sangat berbeda. Manajemen lalu lintas memiliki fungsi atau peran sebagai sebuah usaha atau proses optimalisasi fasilitas dan sistem lalu lintas yang sudah ada. Manajemen dilakukan ketika kondisi lalu lintas sudah mendekati kondisi jenuh (*crowded*). Manajemen sendiri memiliki beberapa strategi dan tahapan di dalamnya, yaitu:

- a. Manajemen Kapasitas

Dimana, manajemen kapasitas merupakan pemanfaatan ruang jalan yang didalamnya termasuk pemanfaatan ruas dan simpang, beserta kelengkapan jalan secara optimal dalam menampung volume lalu lintas yang terjadi di tiap harinya terutama pada jam-jam krusial (*on-peak*).

b. Manajemen Prioritas

Manajemen prioritas adalah strategi manajemen lalu lintas yang memberikan prioritas atau kesempatan/hak khusus/lebih terhadap suatu jenis moda tertentu. (contoh: pemberian hak prioritas pada moda Angkutan Umum)

c. Manajemen Permintaan (*Demand*)

Dalam hal ini pengendalian dilakukan dari sisi permintaan. Strategi yang dapat dilakukan adalah:

1. Kontrol tata guna lahan (*land use*)
2. Pengalihan moda dari kendaraan pribadi ke kendaraan umum
3. Perubahan atau pengalihan rute angkutan umum
4. Kebijakan parkir
5. Metode *Road Pricing*

Sedangkan rekayasa adalah suatu pengaturan lalu lintas, yang dilakukan dengan tidak menunggu kondisi jenuh (*crowded*) dan dilakukan ketika manajemen tidak dapat lagi dilakukan. Rekayasa pada intinya adalah perubahan terhadap sistem atau komponen lalu lintas yang ada dan terjadi.

Salah satu teknik rekayasa yang terdapat di dalamnya adalah teknik permodelan.

### **2.16. Aplikasi Pemodelan Lalu Lintas**

Terdapat beberapa aplikasi pemodelan lalu lintas. Aplikasi permodelan tersebut merupakan aplikasi untuk pengembangan sistem lalu lintas, seperti :

1. Pembuatan infrastruktur jalan baru
2. Pergantian atau pengalihan ke penggunaan Angkutan umum
3. Pengembangan zona tata guna lahan baru
4. Pengembangan kebijakan mengenai rambu, marka, maupun fasilitas kelengkapan jalan yang lain
5. Perkembangan dan perubahan demografi
6. Perkembangan dan perubahan pada penggunaan dan pengeluaran dana untuk bahan bakar
7. Perkembangan terhadap fasilitas berbayar ( parkir dan *road pricing*)
8. Perkembangan dan pembuatan sistem sinyal APILL yang baru

Terdapat beberapa aplikasi pemodelan lalu lintas, diantaranya adalah Vissim, Vistro dan Vissum. Perbedaan penggunaan antara Vissim, Vistro, dan Vissum adalah pada jangkauan (*range*) permodelan dan rekayasa yang akan dilakukan.

## 1. Vissim

Vissim digunakan pada skala mikroskopik. Dan biasanya digunakan untuk analisis simulasi lalu lintas yang bersifat mendetail dan rinci.

## 2. Vistro

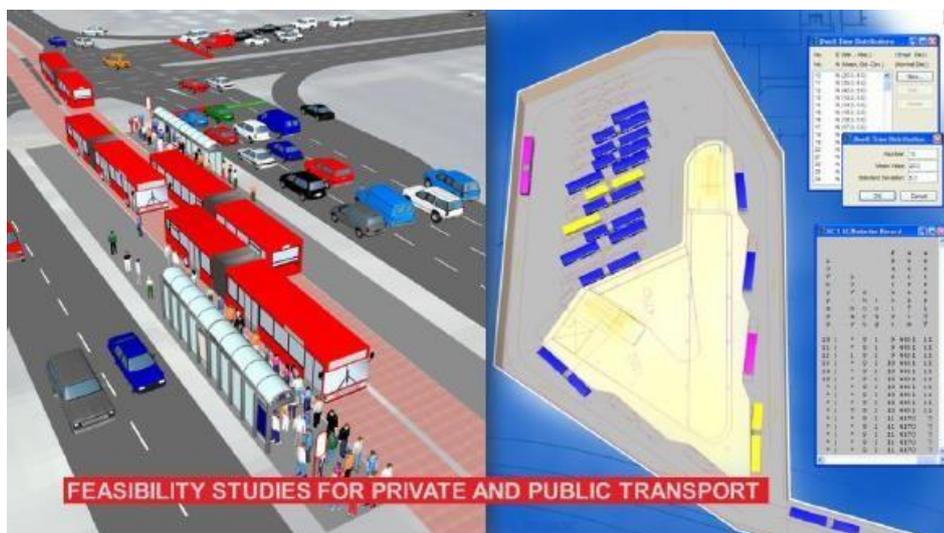
Vistro digunakan pada skala mesoskopik. Biasanya penggunaannya dikhususkan untuk rekayasa lalu lintas (*traffic engineering*).

## 3. Vissum

Vissum digunakan pada dengan skala makroskopik. Digunakan untuk perencanaan terstrategi pada suatu wilayah. Terdapat juga sebuah program permodelan dari PTV group yang dapat melakukan simulasi dan permodelan mengenai pejalan kaki yang disebut **VISSWALK**.

### 2.17. Software Vissim

Vissim adalah perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi arus lalu lintas secara mikroskopis terkemuka yang dikembangkan oleh



PTV Planung Transportasi Verkehr AG di Karlsruhe, Jerman. Vissim pertama kali dikembangkan di Jerman pada tahun 1992 yang saat ini menjadi perangkat lunak transportasi yang paling sekarang sedang digunakan di seluruh dunia oleh sector public, perusahaan dan universitas.

Vissim digunakan untuk perencanaan dan pemodelan lalu lintas untuk perkotaan mau pun pada pedesaan baik untuk analisis arus kendaraan atau pun arus pejalan kaki serta memiliki kemampuan untuk mensimulasi berbagai jenis moda lalu lintas secara bersamaan.

*(Sumber : PTV Vissim guide first steps)*

### **Gambar 2.3** Micro-simulasi transportasi massal

Vissim dapat digunakan untuk beberapa kasus antara lain:

1. Membangun jaringan jalan dan persimpangan
  - a. Dapat membuat jaringan jalan yang fleksibel sesuai dengan kondisi geometri jalan yang sesungguhnya sehingga memungkinkan kita untuk menduplikasi kondisi geometrik jalan yang sesungguhnya.
  - b. Membuat berbagai macam model persimpangan dan beberapa variasi simpul baik jenis simpang sebidang, tak sebidang, simpang dengan kanalisasi maupun simpang tiga dan bundaran (*roundabout*).
  - c. Dapat menganalisis berbagai varian perencanaan pada jaringan jalan dan persimpangan seperti tingkat pelayanan, tundaan, panjang antrian, keterlambatan, waktu perjalanan

dan jumlah emisi secara bersamaan artinya perangkat lunak ini berfungsi sebagai kalkulator.

## 2. Perencanaan pengembangan lalu lintas

- a. Mampu menganalisis dampak lalu lintas yang terjadi akibat adanya pembangunan fasilitas baru pada rona transportasi disekitar wilayah pembangunan fasilitas tersebut.
- b. Mampu merencanakan sistem lalu lintas untuk jangka pendek maupun jangka panjang.
- c. Mampu mensimulasikan manajemen lalu lintas dan transportasi cerdas.
- d. Mampu mensimulasikan pejalan kaki baik di dalam maupun pada kondisi di luar bangunan.
- e. Dapat mensimulasikan perencanaan jumlah ruang parkir pada suatu perencanaan perparkiran.

## 3. Perencanaan transportasi massal

- a. Mampu membuat model jenis-jenis moda transportasi massal seperti bus, komuter kereta ringan komuter kereta api, komuter monorail.
- b. Mampu menciptakan *alternative* untuk operasional angkutan umum.
- c. Mampu melakukan perencanaan jaringan jalan yang dilalui oleh angkutan umum.

### 2.17.1. Penggunaan VISSIM

Dalam proses penggunaan VISSIM untuk melakukan simulasi lalu lintas, dibutuhkan beberapa data masukan (*input*) yang akan digunakan dan diolah menjadi suatu model simulasi dan akan dianalisis melalui program Vissum. Data-data yang dibutuhkan di antara lain:

#### a) Data Geometrik

1. Data segmen ruas jalan : panjang, lebar, jumlah lajur, lebar bahu, lebar median, tinggi median, jumlah jalur, dll
2. Data simpang : panjang simpang, lebar simpang, gradien dan jumlah lajur dan jalur pada simpang, panjang kantong tikungan, dan desain kantong tikungan
3. Data geometrik yang khas (tidak umum) dan perilaku berkendara yang didapat melalui observasi lapangan atau survei.

#### b) Data Lalu lintas (traffic)

1. Kecepatan rata-rata kendaraan, jenis pengendalian simpang (berserta rambu dan marka), lokasi dan rencana pengaturan waktu sinyal APILL
2. Lokasi kendaraan merubah kecepatan dan dibutuhkan perubahan kecepatan,. Perubahan kecepatan pada Vissim dapat bersifat sementara dan permanen.
3. Kecepatan pada Vissim didefinisikan sebagai sebuah distribusi daripada sebuah nilai dasar/pasti.
4. Volume kendaraan per tiap satuan waktu

c) Karakteristik kendaraan

1. Komposisi kendaraan dan dimensi, termasuk maksimum percepatan dan perlambatan kendaraan
2. Pengaturan dasar kendaraan, seperti ukuran mobil penumpang, truk trailer, bus, bus gandeng, dll

### 2.17.2. Simulasi Perilaku Berkendara

Dalam Program simulasi permodelan Vissim, model dari perilaku berkendara adalah inti dari sebuah simulasi lalu lintas. Pergerakan model kendaraan adalah elemen kunci untuk dapat disimulasikan dan dipraktikkan secara dinamis pada kondisi asli (*real*). Terdapat 3 model perilaku berkendara dalam Vissim yaitu:

#### A. *Following Model*

Model ini dikembangkan oleh Prof. Rainer Wiedemann di Karlsruhe Institute of Technology pada tahun 1974 dan 1994. Dideskripsikan pergerakan lalu lintas pada sebuah lajur tunggal. Model ini diimplementasikan di simulasi PTV VISSIM dan bisa disesuaikan dengan parameter pada kondisi local pengguna *software* ini masing-masing. Model ini dideskripsikan jadi empat yaitu:

#### 1. Berkendara Bebas (*Free Driving*)

Pengendara disimulasikan berkendara dengan kecepatan yang bebas seolah-olah tidak ada objek penghambat (*obstacles*) yang berada pada jalurnya. Objek penghambat ini sendiri dapat ditambahkan, seperti

kendaraan lain yang bergerak pelan, fase merah pada APILL, atau kondisi dimana ada kendaraan yang akan berganti lajur.

## **2. Mendekat (*Approaching*)**

Model ini mensimulasikan pengendara menyadari ada kendaraan lambat di hadapannya, dan mengerem sehingga memberikan jarak antara (*gap*). Pada Vissim memungkinkan untuk mendefinisikan perbedaan karakteristik pengendara dan kendaraan berdasarkan kelas dan tipe kendaraan.

## **3. Mengikuti (*Following*)**

Pada model ini pengendara berusaha untuk menjaga jarak antara kendaraannya dengan kendaraan di depannya dan bersifat mengikuti kendaraan di depannya tersebut.

## **4. Mengerem (*Braking*)**

Jika kendaraan mengurangi kecepatannya secara mendadak, maka kendaraan yang berada di belakangnya juga harus melakukan hal yang sama. Untuk tiap kendaraan, Vissim mengecek di tiap simulasi mengenai jarak dan kecepatan pengereman yang berbeda dengan kondisi kendaraan di depannya.

## **B. Pergantian Lajur (*Lane Changing*)**

Terdapat 2 tipe yang berbeda mengenai pergantian lajur, yaitu:

### **1. *Free Lane Changing***

*Free Lane Changing* terjadi ketika keadaan menyalip sebuah kendaraan yang berjalan lambat. Ketika pengemudi menginginkan kecepatan yang lebih daripada kendaraan yang berada di depannya, maka kendaraan tersebut akan menyalip, namun dibutuhkan konsentrasi khusus agar memastikan kendaraan pada lajur lain tidak terganggu dengan kondisi menyalip ini.

## **2. *Necessary Lane Changing***

Ini terjadi jika kendaraan butuh ganti lajur, dalam tujuan untuk mengikuti sebuah rute. Semakin dekat kendaraan dengan titik keputusan pergantian lajur, pengemudi akan semakin agresif dalam melakukan manuver, dan kendaraan lain harus kooperatif untuk memberikan kesempatan kendaraan tersebut mengganti lajur.

## **3. *Lateral Behaviour Within A Lane***

Pemilihan posisi dalam lajur selalu sangat penting jika kendaraan memungkinkan untuk menyalip kendaraan lain dalam lane yang sama, atau dalam kondisi berpapasan.

### **2.17.3. Konsep Kalibrasi dan Validitas Model Simulasi**

Kalibrasi pada *Vissim* merupakan proses dalam membentuk nilai-nilai parameter yang sesuai sehingga model dapat mereplikasi lalu lintas hingga kondisi yang semirip mungkin. Proses kalibrasi dapat dilakukan berdasarkan volume observasi dan volume model dengan mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai kalibrasi dan validasi

menggunakan *Vissim*. Validasi pada *Vissim* merupakan proses pengujian kebenaran dari kalibrasi dengan membandingkan hasil observasi dan hasil simulasi. Proses kalibrasi dan validasi dilakukan berdasarkan jumlah volume arus lalu lintas dan derajat kejenuhan (Putri dan Irawan, 2015).

Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan rumus dasar rumus statistik *Geoffrey E. Havers (GEH)*. Rumus *GEH* sendiri dapat dilihat pada Persamaan 2.5 dan memiliki ketentuan khusus dari nilai error yang dihasilkan seperti pada Tabel 2.2.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{simulated} - q_{observed})^2}{0,5 \times (q_{simulated} + q_{observed})}}$$

Dimana :

$q$  = Data volume arus lalu lintas (kendaraan/jam)

Tabel 2.2 Penilaian Hasil Uji Statistik *GEH (Geoffrey E. Havers)*

<b>Nilai</b>	<b>Keterangan</b>
GEH < 5,0	Diterima
5,0 ≤ GEH ≤ 10,0	Peringatan: kemungkinan model error atau data buruk
GEH > 10,0	Ditolak