

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Terdahulu

Melalui studi perbandingan yang dilakukan ini tentunya memiliki beberapa kesamaan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh pihak lain dan dijadikan sebagai referensi penyusun dalam penelitian ini. Adapun penelitian tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

Menurut Hanafi Wahyu Wicaksono (2021) yang melakukan Analisis Kinerja Simpang Bersinyal dan Biaya Operasional Kendaraan pada Jalan Galunggung – Jalan Raya Tidar – Jalan Bondowoso, Kota Malang Provinsi Jawa Timur. Masalah yang terjadi pada simpang bersinyal Jalan Galunggung – Jalan Raya Tidar, dan Jalan Bondowosso adalah rawannya kemacetan yang disebabkan karena lingkungan sekitar simpang tersebut merupakan daerah komersial. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui tingkat kinerja simpang, mengetahui besarnya Biaya Operasional kendaraan yang melewati simpang, memberikan solusi terkait perbaikan kinerja dan Biaya Operasional Kendaraan pada simpang tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode MKJI 1997 untuk perhitungan kinerja simpang, metode PCI untuk menghitung biaya operasional kendaraan, dan metode Tzedakis 1980 untuk menghitung biaya kemacetan simpang.

Menurut Benny Mochtar E. Arifin (2022) berdasarkan analisis menggunakan metode MKJI 1997, tingkat pelayanan jalan Wahid Hasyim II termasuk pada golongan D Arus Ialu lintas sudah mulai tidak stabil, Perubahan volume Ialu lintas sangat mempengaruhi besarnya kecepatan perjalanan; biasa dipakai perkotaan untuk design jalan dan besar biaya bahan bakar kendaraan yang di akibatkan tundaan Ialu lintas setelah melakukan penelitian selama 4 hari yang di ambil pada jam puncak sebesar Rp. I .048 / kend. Kerugian ini berupa bertambahnya biaya konsumsi bahan bakar kendaraan yang semestinya tidak perlu dikeluarkan apabila kecepatannya bisa mencapai kecepatan normal.

Menurut Jenifer Rambu Djati (2023) didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- berdasarkan hasil analisa data didapat kesimpulan yaitu : arus puncak kendaraan dua arah selama 3 hari yaitu pada hari Senin, 22 Mei 2023 pagi 7198 skr/jam, siang 6437 skr/jam dan sore 6716 skr/jam. Rabu, 24 Mei 2023 pagi 6726 skr/jam, siang 5744 skr/jam dan sore 6471skr/jam. Sabtu, 27 Mei 2023 pagi 6238 skr/jam, siang 6171 skr/jam dan sore 5916 skr/jam.
- berdasarkan kecepatan tempuh kendaraan diketahui tingkat pelayanan ruas jalan yaitu E dan F. sehingga di analisa Biaya Operasional Kendaraan (BOK) berdasarkan kecepatan dilapangan.
- Berdasarkan kinerja ruas jalan, tundaan kendaraan dan volume kendaraan didapatkan kerugian terbesar pelaku perjalanan akibat kemacetan yang melintasi ruas jalan Nasional Kota Malang Tumenggung Suryo – Gatot Subroto yaitu pada hari Senin, 22 Mei 2023 arah Selatan - Utara yaitu biaya kerugian total terbesar atau kondisi termacet yaitu pada pukul 07.00-08.00 kecepatan 25,63 km/jam dengan kerugian sebesar Rp. 58.131.691 / jam, biaya kerugian total berdasarkan volume kendaraan yaitu sebesar Rp. 349.190.876 / jam biaya kerugian rata-rata akibat kemacetan yaitu sebesar Rp. 34.919.088 / jam.

Menurut Mesa Mailani (2023) berdasarkan analisis dan evaluasi yang dilakukan berdasarkan PKJI 2014 dan pemodelan dilakukan dengan VISSIM didapatkan hasil derajat kejenuhan sebesar 1,094; panjang antrian 671 m,dan tundaan rata-rata simpang 58,531 det/skr dengan tingkat pelayanan E. Hal yang sama juga didapat pada analisis menggunakan VISSIM dimana panjang antrian maksimum yaitu 295,17 m dan tundaan maksimum 71,12 det/skr. Sehingga alternatif yang dipilih sebagai solusi alternatif perbaikan simpang adalah dengan perubahan fase sinyal dari 3 fase menjadi 2 fase dan larangan belok kanan didapatkan derajat kejenuhan sebesar 0,797 panjang antrian 74,816 m dan tundaan rata-rata simpang 17,12 det/skr dengan tingkat pelayanan C. Hasil analisis proyeksi pertumbuhan kendaraan untuk 5 tahun yang akan datang didapatkan

tundaan rata-rata simpang sebesar 37,19 det/skr dan tingkat pelayanan menjadi D.

Tabel 2. 1 Perbandingan Studi Terdahulu.

No	Nama	Judul/Sumber	Persamaan dari Studi Terdahulu	Perbedaan dari Studi Terdahulu
1.	(Hanafi Wahyu Wicaksono, Rinto Sasongko, Udi Subagyo, 2021	Analisa Kinerja Simpang Bersinyal dan Biaya Operasional Kendaraan Pada Jalan Galunggung – Jalan Raya Tidar – Jalan Bondowoso, Kota Malang Provinsi Jawa Timur	• Menghitung Biaya Operasional kendaraan (BOK) • Melakukan evaluasi kinerja simpang bersinyal	• Lokasi studi berbeda • Menggunakan MKJI • Tidak melakukan simulasi menggunakan software VISSIM
2.	(Benny Mochtar E Arifin, 2022)	Perhitungan Biaya Tundaan Lalu Lintas di Jalan Wahid Hasyim 11 Kota Samarinda	• Menghitung dan menganalisis kecepatan, kapasitas jalan, derajat kejenuhan, dan volume kendaraan • Menghitung biaya bahan bakar minyak	• Lokasi studi berbeda • Tidak menggunakan metode PKJI versi terbaru dan software VISSIM versi 2023

No	Nama	Judul/Sumber	Persamaan dari Studi Terdahulu	Perbedaan dari Studi Terdahulu
3.	(Jenifer Rambu Djati, 2023)	Analisa Kerugian Biaya Operasional Kendaraan (BOK) Akibat Kemacetan Lalu Lintas Ruas Jalan Nasional Kota Malang (Studi Kasus : Ruas Jl. Tumenggung Suryo – Jl. Gatot Subroto)	• Menghitung Biaya Operasional Kendaraan (BOK) • Menghitung dan Menganalisis kecepatan, kapasitas jalan, derajat kejenuhan, dan volume kendaraan	• Tidak menggunakan metode PKJI versi terbaru dan software VISSIM versi 2023 • Prediksi 5 tahun yang akan datang • Lokasi studi berbeda • Tahun studi
4.	(Mesa Mailani, 2023)	Evaluasi Kinerja Simpang pada Persimpangan Jalan Raya Tlogomas – Jembatan TunggulMas Kota Malang	• Melakukan evaluasi kinerja simpang menggunakan metode PKJI dan VISSIM • Menggunakan shift waktu survey yang sama • Lokasi yang sama	• Menggunakan metode PKJI versi terbaru • Prediksi 5 tahun yang akan datang • Tidak menghitung BOK • Tahun Studi

Dari studi terdahulu yang telah diteliti di lokasi yang sama, studi tersebut sama-sama mengevaluasi masalah yang terjadi pada simpang bersinyal dan menggunakan program bantu untuk menyelesaikan masalah, sehingga dapat

dipakai dan dikembangkan lagi sebagai dasar untuk melakukan evaluasi kinerja simpang bersinyal di Jalan Raya Tlogomas – Jalan Tunggul Mas. Namun, yang menjadi perbedaan yaitu adalah pada studi ini menggunakan metode PKJI versi 2023 dan juga menambahkan perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) akibat kemacetan lalu lintas.

Beberapa perbedaan dari PKJI 2014 dan PKJI 2023 yaitu:

1. Pembaruan klasifikasi kendaraan dan EMP
2. Faktor penyesuaian kapasitas
3. Perhitungan derajat kejenuhan
4. Tundaan lalu lintas
5. Pendekatan dan metodologi

2.2 Transportasi

Transportasi didefinisikan sebagai penerapan prinsip-prinsip dasar sains dan teknologi dalam perencanaan, desain fungsional, pengoperasian, dan pengelolaan berbagai fasilitas untuk segala bentuk moda transportasi dengan tujuan untuk menjamin pergerakan manusia dan barang yang aman, cepat, nyaman, mudah, ekonomis, dan ramah terhadap lingkungan, (*Institute of Transportation Engineers, 1987*).

Menurut C. Jotin Khisty dan B. Kent Lall dalam bukunya (Dasar-dasar Rekayasa Transportasi edisi ketiga jilid 1, hal.9), alasan yang menyebabkan manusia dan barang bergerak dari satu tempat ke tempat lain dapat dijelaskan dalam 3 kondisi yaitu :

1. Komplementaritas, daya tarik relatif antara dua tujuan atau lebih tempat tujuan.
2. Keinginan untuk mengatasi kendala jarak, diistilahkan sebagai transferabilitas yang diukur dari waktu, uang yang dibutuhkan, serta teknologi terbaik apa yang tersedia untuk mencapainya.
3. Persaingan antara beberapa lokasi untuk memenuhi permintaan dan penawaran.

Keinginan manusia untuk senantiasa bergerak dan kebutuhan mereka akan barang menciptakan kebutuhan akan transportasi, hal ini menimbulkan masalah yang berpengaruh terhadap efisiensi ekonomi dan sosial daerah dan kota. Sistem transportasi juga menjadi problematika yang cukup serius karena menimbulkan masalah dalam pergerakan lalu-lintas yang menyebabkan keterlambatan bagi pengguna transportasi.

2.3 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan merupakan pengelompokan jalan yang didasarkan pada berbagai kriteria, yang diatur dalam Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 mengenai Jalan dan peraturan pelaksanaannya, seperti Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2024 terkait Kelas Jalan. Klasifikasi ini krusial untuk menetapkan fungsi, norma teknis, batasan kecepatan, serta otoritas dalam pengelolaan jalan. Secara umum, jalan dapat dikategorikan berdasarkan:

1. Klasifikasi Berdasarkan Fungsi

Ini adalah pembagian yang paling sering digunakan dan membagi jalan menurut peran utama mereka dalam jaringan transportasi:

- **Jalan Arteri**

Berfungsi memfasilitasi transportasi utama dengan karakter perjalanan jauh, kecepatan tinggi, dan akses masuk yang dibatasi secara efisien. Jalan tersebut terbagi menjadi:

- **Jalan Arteri Primer:** Menyambungkan pusat-pusat kegiatan nasional atau pusat-pusat kegiatan nasional dengan daerah-daerah. Kecepatan minimum yang direncanakan adalah 60 km/jam, dengan lebar jalan minimal 11 meter. Lalu lintas lokal tidak boleh mengganggu.
- **Jalan Arteri Sekunder:** Menyambungkan area primer dengan area sekunder pertama, atau antar area sekunder. Kecepatan minimum yang direncanakan adalah 30 km/jam, dengan lebar jalan minimal 11 meter.

- **Jalan Kolektor**

Berfungsi untuk menjangkau angkutan pengumpul atau distribusi dengan karakter perjalanan jarak menengah, kecepatan sedang, dan akses masuk yang dibatasi. Jalan tersebut terbagi menjadi:

- Jalan Kolektor Primer: Menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan daerah, atau pusat kegiatan daerah dengan pusat kegiatan lokal. Kecepatan minimum yang direncanakan adalah 40 km/jam, lebar jalan minimal 9 meter.
- Jalan Kolektor Sekunder: Menghubungkan area sekunder pertama dengan area sekunder kedua, atau antar area sekunder. Kecepatan minimum yang direncanakan adalah 20 km/jam, lebar jalan minimal 9 meter.

- Jalan Lokal

Berfungsi melayani lalu lintas lokal dengan karakter perjalanan pendek, kecepatan rendah, dan akses masuk yang tidak terbatas. Jalan tersebut terbagi menjadi:

- Jalan Lokal Primer: Menghubungkan pusat kegiatan lokal dengan perumahan, atau antar perumahan itu sendiri. Kecepatan minimum yang direncanakan adalah 20 km/jam, dengan lebar jalan minimal 7,5 meter.
- Jalan Lokal Sekunder: Menghubungkan area sekunder pertama dengan perumahan, area sekunder kedua dengan perumahan, serta area sekunder ketiga dan seterusnya dengan perumahan. Kecepatan minimum yang direncanakan adalah 10 km/jam, lebar jalan minimal 7,5 meter.

- Jalan Lingkungan

Berfungsi Menyediakan layanan angkutan di sekeliling area dengan ciri perjalanan jarak dekat dan kecepatan rendah. Jalan tersebut terbagi menjadi:

- Jalan Lingkungan Primer: Kecepatan direncanakan yang sangat rendah.

- Jalan Lingkungan Sekunder: Kecepatan direncanakan yang sangat rendah, lebar jalan minimal 3,5 meter (tidak diizinkan untuk kendaraan bermotor tiga roda atau lebih).

2. Klasifikasi Berdasarkan Status

Klasifikasi ini menetapkan kuasa dan tanggung jawab dalam pengelolaan jalan:

- Jalan Nasional: Jalan arteri utama, jalan kolektor utama yang menghubungkan provinsi-provinsi, jalan tol, dan jalan lain yang memiliki signifikan strategis bagi negara.
- Jalan Provinsi: Jalan kolektor yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten atau kota, atau antara ibukota kabupaten dan kota, serta jalan strategis tingkat provinsi.
- Jalan Kabupaten: Jalan kolektor yang tidak termasuk dalam kategori jalan nasional atau provinsi, termasuk jalan lokal utama, jalan sekunder, dan jalan-jalan lainnya yang tidak tergolong dalam kategori jalan nasional, provinsi, atau kota.
- Jalan Kota: Jalan yang terletak di dalam area perkotaan dan merupakan jaringan jalan sekunder di dalam kota.
- Jalan Desa: Jalan umum yang menghubungkan daerah dan/atau permukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan.

3. Klasifikasi Berdasarkan Kelas Jalan (Muatan Sumbu Terberat)

Klasifikasi ini berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menahan beban kendaraan yang melintas, mengikuti Peraturan Menteri PUPR No. 13 Tahun 2024:

- Kelas I: Jalan yang dapat diakses oleh kendaraan bermotor dengan muatan berukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, panjang tidak lebih dari 18.000 milimeter, dan beban sumbu terberat yang diizinkan melebihi 10 ton. (Umumnya digunakan untuk jalan tol dan beberapa jalan nasional).

- Kelas II: Jalan yang dapat dilalui oleh kendaraan bermotor dengan muatan yang berukuran lebar tidak lebih dari 2.500 milimeter, panjang tidak lebih dari 18.000 milimeter, dan beban sumbu terberat yang diizinkan maksimum 10 ton.
- Kelas IIIA: Jalan yang dapat dilalui oleh kendaraan bermotor dengan muatan yang memiliki ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, panjang tidak lebih dari 18.000 milimeter, dan beban sumbu terberat yang diizinkan sebesar 8 ton.
- Kelas IIIB: Jalan yang diizinkan untuk kendaraan bermotor dengan muatan yang memiliki ukuran lebar maksimum 2.100 milimeter, panjang tidak melebihi 9.000 milimeter, dan beban sumbu terberat yang diizinkan hingga 8 ton.
- Kelas IIIC: Jalan yang dapat dilalui oleh kendaraan bermotor dengan muatan dengan ukuran lebar maksimum 2.100 milimeter, panjang tidak melebihi 9.000 milimeter, dan beban sumbu terberat yang diizinkan maksimum 8 ton.

Tabel 2. 2 Kriteria Tingkat Pelayanan Persimpangan

JARINGAN JALAN	Tingkat Pelayanan
Jalan arteri primer	$\geq B$
Jalan arteri sekunder	$\geq C$
Jalan kolektor primer	$\geq B$
Jalan kolektor sekunder	$\geq C$
Jalan local primer	$\geq C$
Jalan local sekunder	$\geq D$
Jalan Tol	$\geq B$
Jalan lingkungan	$\geq D$

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015

2.4 Persimpangan

2.4.1 Pengertian Persimpangan

Persimpangan adalah suatu titik atau lokasi dimana dua atau lebih jalan saling bertemu, sehingga pengguna jalan harus memilih arah mana

yang akan diambil untuk melanjutkan perjalanan. Persimpangan juga merupakan sebuah istilah yang sering digunakan dalam dunia transportasi, memiliki definisi yang spesifik menurut beberapa ahli.

Persimpangan adalah simpul pada jaringan jalan dimana lebih dari satu jalan bertemu dan lintasan kendaraan berpotongan. Persimpangan merupakan tempat rawan terjadinya kemacetan, karena di persimpangan terjadi pertemuan antara dua atau lebih arus Lalu lintas. Bila arus Lalu lintas yang berpotongan telah melalui kapasitas persimpangan, kemacetan tidak dapat dihindari. Dan selain itu persimpangan juga merupakan tempat yang rawan terhadap kecelakaan karena terjadinya konflik antara kendaraan dengan kendaraan lainnya ataupun antara kendaraan dengan pejalan kaki (Abubakar I, 1995)

Persimpangan merupakan bagian penting dari jalan raya karena sebagian besar dari efisiensi, keamanan, kecepatan, biaya operasional, dan kapasitas Lalu lintas tergantung pada perencanaan persimpangan. Masalah-masalah yang terkait pada persimpangan adalah:

- a. Volume dan Kapasitas
- b. Desain geometric dan kebebasan pandangan
- c. Perilaku lalu lintas dan panjang antrian
- d. Kecepatan
- e. Pengaturan lampu jalan
- f. Kecelakaan dan keselamatan
- g. Parkir

Mendefinisikan persimpangan sebagai “pertemuan antara dua jalan atau lebih yang saling bersilangan”. Persimpangan memiliki peranan penting dalam menentukan kapasitas dan waktu perjalanan dalam jaringan jalan, terutama di daerah perkotaan. Beberapa masalah terkait persimpangan meliputi volume dan kapasitas lalu lintas, perilaku pengguna jalan, kecepatan kendaraan, pengaturan lalu lintas, serta aspek keselamatan dan kecelakaan (PKJI, 2023).

2.4.2 Jenis-Jenis Simpang

Persimpangan dapat dibagi atas 2 jenis yaitu (Morlok, 1991) :

1. Persimpangan sebidang (*At Grade Intersection*)

Yaitu pertemuan dua atau lebih jalan raya dalam satu bidang yang mempunyai elevasi yang sama. Desain persimpangan ini berbentuk huruf T, Huruf Y, persimpangan empat kaki, serta persimpangan berkaki banyak.

2. Persimpangan tak sebidang (*Grade Separated Intersection*)

Yaitu suatu persimpangan dimana jalan yang satu dengan jalan yang lainnya tidak saling bertemu dalam satu bidang dan mempunyai beda tinggi antara keduanya.

Pengaturan persimpangan juga dilihat dari segi pandang untuk control kendaraan dapat dibedakan menjadi dua (Morlok, 1991) yaitu:

1. Persimpangan tanpa/tak bersinyal

Dimana pengemudi kendaraan atau pengguna jalan sendiri yang harus memutuskan apakah aman untuk memasuki persimpangan itu.

2. Persimpangan bersinyal

Dimana persimpangan itu diatur sesuai sistem dengan tiga aspek lampu yaitu merah, Kuning, dan hijau.

2.4.3 Tingkat Pelayanan Simpang

Kinerja persimpangan dapat diukur melalui tingkat layanan. Dalam regulasi Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, tingkat layanan dikategorikan menjadi beberapa klasifikasi yaitu: A, B, C, D, E, dan F. Tingkat layanan A menunjukkan performa operasional yang optimal dari suatu fasilitas, sementara tingkat layanan F menunjukkan performa operasional yang paling tidak baik. Berikut adalah tabel dari tingkat pelayanan simpang dan juga kriteria tingkat pelayanan simpang pada ruas

Tabel 2. 3 Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan

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

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015

Tabel 2. 4 Kriteria Tingkat Pelayanan Persimpangan pada Ruas Jalan

JARINGAN JALAN	Tingkat Pelayanan
Jalan arteri primer	$\geq B$
Jalan arteri sekunder	$\geq C$
Jalan kolektor primer	$\geq B$
Jalan kolektor sekunder	$\geq C$
Jalan local primer	$\geq C$
Jalan local sekunder	$\geq D$
Jalan Tol	$\geq B$
Jalan lingkungan	$\geq D$

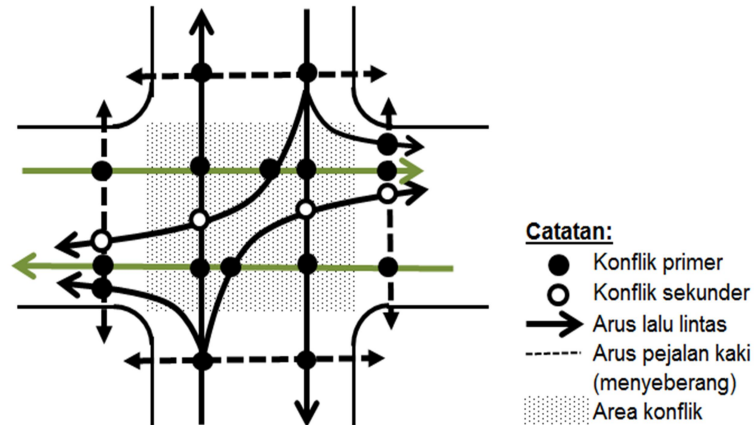
Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015

2.5 Simpang Bersinyal

APILL memiliki fungsi mengatur lalu lintas simpang dengan cara meminimalkan konflik, baik konflik primer maupun sekunder dengan memisahkan waktu berjalannya arus. Untuk konflik primer terjadi ketika dua atau lebih kendaraan bertemu di persimpangan dengan jalur yang bersilangan sedangkan konflik sekunder merupakan dampak dari konflik primer, dimana pergerakan kendaraan yang terpengaruh oleh konflik pertama dapat menyebabkan gangguan pada kendaraan lain.

APILL juga digunakan untuk tujuan mempertahankan kapasitas persimpangan pada jam puncak dan mengurangi kecelakaan akibat tabrakan antar kendaraan dari arah yang berlawanan. Untuk memenuhi aspek keselamatan selain lampu isyarat hijau dan merah, pengaturan APILL harus dilengkapi dengan lampu kuning dan isyarat lampu merah semua. Lampu kuning untuk memperingati arus yang sedang bergerak bahwa fase sudah berakhir, lampu merah semua (all red)

untuk menjamin agar kendaraan terakhir pada fase hijau yang baru berakhir memperoleh waktu yang cukup untuk keluar dari area konflik sebelum kendaraan pertama dari fase berikutnya memasuki area yang sama. (PKJI, 2023)



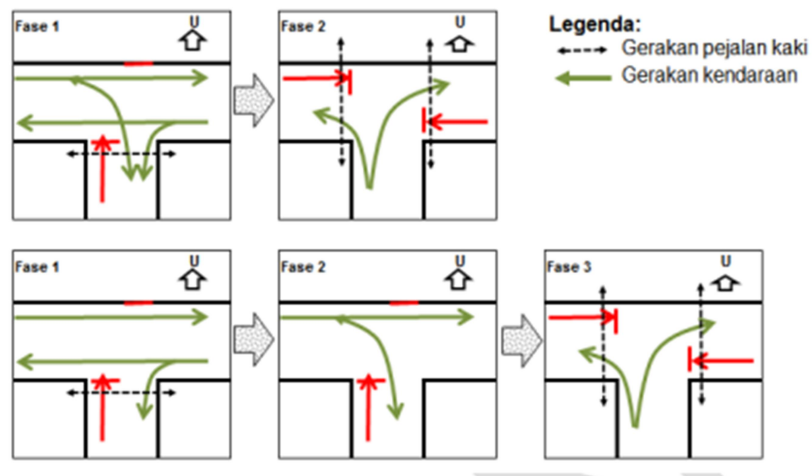
Sumber : PKJI 2023 hal 102

Gambar 2. 1 Konflik Primer dan Konflik Sekunder pada Simpang 4 Lengan

Berdasarkan PKJI 2023 adapun tujuan dari penerapan APILL yaitu:

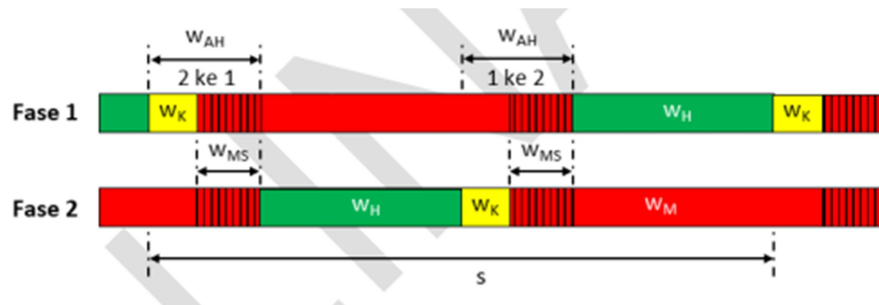
- Mempertahankan kapasitas persimpangan pada jam puncak.
- Mengurangi kecelakaan akibat tabrakan antar kendaraan lain dari arah yang berlawanan.
- Meningkatkan efisiensi lalu lintas.
- Memberikan informasi yang jelas mengenai kondisi lalu lintas untuk membantu dalam membuat keputusan saat berada di persimpangan.

Selain dari lampu isyarat berwarna hijau dan merah, pengaturan APILL juga perlu dilengkapi dengan lampu kuning dan semua lampu merah (all red). Lampu kuning berfungsi untuk memberikan peringatan kepada arus yang sedang bergerak bahwa fase telah selesai, sementara lampu merah semua (all red) digunakan agar kendaraan terakhir dari fase hijau yang baru saja berakhir memiliki waktu yang cukup untuk keluar dari area konflik sebelum kendaraan pertama dari fase berikutnya masuk ke area tersebut.



Sumber : PKJI 2023, Hal. 273

Gambar 2. 2 Tipikal Pengaturan fase APILL pada simpang 3



Sumber ; PKJI 2023, Hal. 103

Gambar 2. 3 Urutan Waktu Isyarat pada Pengaturan APILL 2 Fase

2.6 Kapasitas Jalan

Kapasitas jalan adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat menggunakan suatu ruas jalan pada waktu tertentu dan pada kondisi jalan dan lalu lintas tertentu. Sederhananya, ini adalah batas maksimal kendaraan yang dapat melaju di jalan tersebut tanpa menimbulkan kemacetan parah. Dengan memahami kapasitas jalan, kita dapat mengantisipasi dan mengatasi masalah kemacetan, serta meningkatkan efisiensi dan keselamatan transportasi.

Dalam teknik lalu lintas ada tiga macam kapasitas :

- 1) Kapasitas dasar adalah jumlah kendaraan yang dapat dilalui pada suatu jalan dalam waktu satu jam pada kondisi jalan dan lalu lintas yang ideal.
- 2) Kapasitas rencana adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat melewati suatu ruas jalan selama satu jam dalam kondisi lalu lintas yang dapat dipertahankan sesuai dengan tingkat pelayanan jalan tertentu, yaitu kepadatan dan gangguan lalu lintas yang terjadi pada arus lalu lintas dalam batas-batas yang ditetapkan. Kapasitas ini merupakan jumlah yang telah ditentukan lebih rendah dari kapasitas sebenarnya. Kapasitas ini dibuat untuk memenuhi persyaratan perencanaan jalan untuk menampung volume rencana jalan.
- 3) Kapasitas mungkin adalah jalan yang sebenarnya didefinisikan sebagai jumlah maksimum kendaraan yang dapat melewati suatu ruas jalan dalam kondisi jalan raya dan lalu lintas normal dalam jangka waktu tertentu.

Faktor - faktor yang mempengaruhi kapasitas jalan antara lain :

- 1) Faktor jalan, seperti lebar lajur, kebebasan internal, bahu jalan, dan median atau tidak, kondisi permukaan jalan, alinyemen, kemiringan jalan, trotoar dan lain-lain.
- 2) Faktor lalu lintas, yang meliputi komposisi lalu lintas, volume lalu lintas, pembagian lajur dan gangguan lalu lintas, keberadaan kendaraan tidak bermotor, gangguan samping dan lain-lain.

2.7 Kondisi Arus Lalu Lintas dan EMP

Kondisi arus lalu lintas adalah keadaan atau situasi yang terjadi pada suatu ruas jalan atau persimpangan, yang mempengaruhi kelancaran dan keselamatan lalu lintas. Kondisi arus lalu lintas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu dari volume lalu lintas, kecepatan, kapasitas, dll. Untuk mengukur volume/arus lalu lintas, volume/arus tersebut harus dikonversi ke satuan kendaraan penumpang menggunakan faktor yang disebut ekuivalensi mobil penumpang (emp). Emp dapat dikategorikan berdasarkan jenis kendaraan yaitu sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), kendaraan sedang (KS), bus besar (BB), dan truk besar (TB).

Nilai emp kendaraan bervariasi tergantung pada kondisi jalan. Misalnya, nilai emp sebuah bus yang melaju di jalan pedesaan akan berbeda dengan nilai emp sebuah bus yang melaju di jalan raya. Demikian pula, nilai emp di wilayah X mungkin berbeda dari nilai emp di wilayah Y karena perilaku pengemudi yang berbeda. Selain itu juga kondisi arus lalu lintas dapat digolongkan menjadi beberapa kategori, yaitu lancar, padat, macet, dan tidak stabil.

Tabel 2. 5 Klasifikasi kendaraan PKJI dan tipikalnya

Kode	Jenis kendaraan	Tipikal kendaraan
SM	Kendaraan bermotor roda 2 (dua) dan 3 (tiga) dengan panjang <2,5 m	Sepeda motor, kendaraan bermotor roda 3 (tiga)
MP	mobil penumpang 4 (empat) tempat duduk, mobil penumpang 7 (tujuh) tempat duduk, mobil angkutan barang kecil, mobil angkutan barang sedang dengan panjang ≤5,5 m	Sedan, jeep, minibus, mikrobus, <i>pickup</i> , truk kecil
KS	Bus sedang dan mobil angkutan barang 2 (dua) sumbu dengan panjang ≤9,0 m	Bus tanggung, bus metromini, truk sedang
BB	Bus besar 2 (dua) dan 3 (tiga) gandar dengan panjang ≤12,0 m	Bus antar kota, bus <i>double decker city tour</i>
TB	Mobil angkutan barang 3 (tiga) sumbu, truk gandeng, dan truk tempel (<i>semitrailer</i>) dengan panjang >12,0 m	Truk tronton, truk semi trailer, truk gandeng

Sumber ; PKJI 2023, Hal. 6

Arus lalu lintas jam perencanaan, q_{JP} , harus dihitung menggunakan nilai K yang berlaku dan LHRT yang representatif. LHRT didasarkan atas perhitungan lalu lintas menerus selama satu tahun, atau jika diprediksi, maka harus mengacu kepada ketentuan perkiraan yang berlaku.

$$q_{JP} = LHRT \times K \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- LHRT : Adalah lalu lintas harian rata-rata tahunan, dinyatakan dalam SMP/hari
- K : Adalah faktor jam perencanaan, ditetapkan dari kajian fluktuasi arus lalu lintas jam-jaman selama satu tahun. Nilai K yang digunakan untuk jalan perkotaan berkisar 7% sampai 12%.

Tabel 2. 6 Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang

Jenis kendaraan	EMP Untuk tipe pendekat	
	terlindung	terlawan
MP	1.00	1.00
KS	1.30	1.30
SM	0.15	0.40

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 hal 114

2.8 Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas merujuk kepada total kendaraan yang melewati suatu lokasi pengamatan dalam jangka waktu tertentu. Angka volume lalu-lintas mencerminkan struktur lalu-lintas, dengan menunjukkan aliran dalam satuan mobil penumpang (smp) yang diperoleh melalui pengalihan nilai ekuivalen mobil penumpang (emp). Volume kendaraan dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$Q = \frac{N}{T} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- Q : Volume lalu lintas (kend/jam)
- N : Jumlah kendaraan
- T : Waktu pengamatan

2.9 Kapasitas Simpang Bersinyal

2.9.1 Kapasitas Simpang

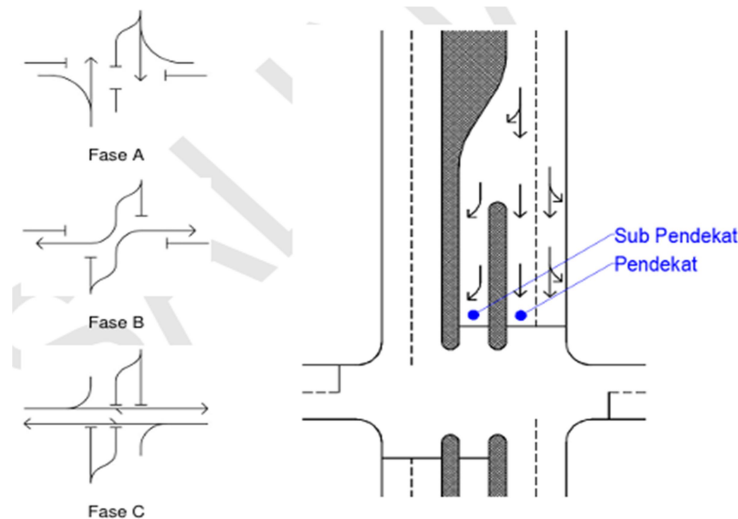
Analisis kapasitas untuk setiap pendekatan dilakukan secara terpisah. Satu lengan dari simpang APILL bisa terdiri dari satu atau lebih menjadi dua atau lebih sub-pendekatan, termasuk pengaturan fase, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Situasi ini terjadi ketika sinyal hijau diberikan untuk belokan kanan dan/atau kiri pada fase yang berbeda dari lalu lintas lurus, atau apabila dipisahkan secara fisik oleh pulau-pulau jalan. Untuk setiap pendekatan atau sub-pendekatan, lebar efektif (LE) ditentukan

dengan mempertimbangkan lebar pendekatan pada titik masuk dan titik keluar simpang APILL. C dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C = J x \frac{W_H}{s} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- C : kapasitas Simpang APILL, dalam SMP/jam
- J : arus jenuh, dalam SMP/jam.
- WH : total waktu hijau dalam satu siklus, dalam detik
- S : waktu siklus, dalam detik.



Sumber : PKJI 2023 (Hal 105)

Gambar 2. 4 Pendekat dan Sub-Pendekat

2.9.2 Tipe Pendekat

Dalam pendekatan dengan arus lalu lintas yang bergerak pada fase yang berbeda, analisis kapasitas untuk setiap fase harus dilakukan secara terpisah (contoh, arus yang lurus dan belok kanan dengan jalur berbeda). Hal yang serupa juga berlaku untuk jenis pendekatan; jika ada satu pendekatan yang memiliki tipe yang berbeda, baik terlindung maupun terlawan (pada fase yang berbeda), maka analisisnya harus dipisahkan sesuai dengan

ketentuan masing-masing. Gambar 2.5 memberikan contoh dalam menentukan jenis pendekatannya, apakah terlindung (P) atau terlawan (O).

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

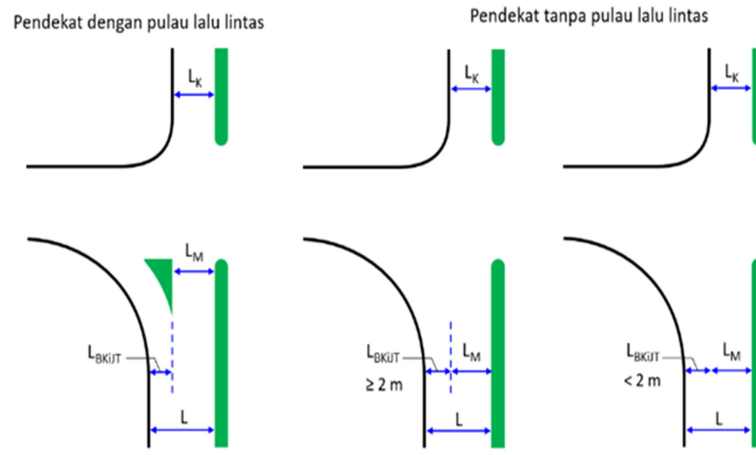
Gambar 2. 5 Penentuan Tipe Pendekat

2.9.3 Lebar Pendekat Efektif

Menentukan lebar pendekat yang efektif (LE) bergantung pada beberapa faktor yaitu lebar ruas pendekat awal (L), lebar masuk (LM), dan lebar keluar (LK). Terdapat beberapa kondisi yang perlu dipertimbangkan saat menentukan LM yaitu:

- Dalam konteks pendekatan ke pulau lalu lintas, arus belok kiri memiliki jalur khusus yang membuat lebar masuk (LM) didefinisikan sebagai jarak antara tepi pulau lalu lintas dan median, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.6 (kiri).
- Untuk pendekatan yang tidak melibatkan pulau lalu lintas, arus belok kiri yang menerus bisa memiliki jalur tersendiri atau tergabung dengan arus lurus, tergantung pada ketersediaan ruang untuk kendaraan yang belok kiri. Jika LBK_{iJT} melebihi 2 meter, arus belok kiri dapat menciptakan antrian sendiri sehingga $LM = L - LBK_{iJT}$ (Gambar 2.6 tengah). Sebaliknya, jika LBK_{iJT} kurang dari 2 meter,

arus belok kiri akan bergabung dengan arus lalu lintas yang lurus (Gambar 2.6 kanan).



Gambar 2. 6 Lebar Pendekat Dengan Pulau dan Tanpa Pulau Lalu Lintas

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

- Jika $L_{BKIJT} \geq 2$ m atau L_{BKIJT} merupakan lajur eksklusif, maka arus kendaraan B_{KIJT} dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan selama isyarat merah. L_E ditetapkan sebagai berikut:

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

$$L_E = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} L - L_{BKIJT} \\ L_M \end{array} \right. \dots\dots\dots (2.4)$$

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

b. Jika $L_{BKijT} < 2$ m, maka kendaraan B_{KijT} dianggap tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya selama isyarat merah. L_E ditetapkan sebagai berikut:

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

$$L_E = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} L \\ L_M + L_{BKijT} \\ L \times (1 + R_{BKijT}) - L_{BKijT} \end{array} \right. \dots\dots\dots (2.5)$$

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

2.9.4 Penentuan Arus Jenuh

Arus jenuh (J , SMP/jam) diperoleh dari hasil kali antara arus jenuh dasar (J_0) dan beberapa faktor koreksi yang menunjukkan penyimpangan dari kondisi nyata dibandingkan dengan kondisi yang sempurna. J_0 merupakan nilai J dalam keadaan lalu lintas dan geometri yang sempurna, sehingga untuk J_0 , semua faktor koreksinya adalah satu. Perhitungan J dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKi} \times F_{BKa} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- F_{HS} adalah faktor koreksi J_0 akibat hambatan samping lingkungan jalan.
- F_{UK} adalah faktor koreksi J_0 terkait ukuran kota.
- F_G adalah faktor koreksi J_0 akibat kelandaian memanjang pendekat
- F_P adalah faktor koreksi J_0 akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama. F_P dapat dihitung dari persamaan 2.6 yang mencakup pengaruh panjang waktu hijau.

$$F_P = \frac{\left[\frac{L_P}{3} - \frac{(L-2) \times \left(\frac{L_P}{3} - w_H \right)}{L} \right]}{w_H} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- L_p adalah jarak antara garis henti ke kendaraan yang parkir pertama pada lajur belok kiri atau Panjang dari lajur belok kiri yang pendek, dalam meter.
- L adalah lebar pendekat, dalam meter.
- w_H adalah waktu hijau pada pendekat yang ditinjau (nilai normalnya 27 detik).
- F_{BK_i} adalah faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri (dengan ketentuan tertentu).
- F_{BK_a} adalah faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan (dengan ketentuan tertentu).

2.10 Faktor Penyesuaian

2.10.1 Faktor Koreksi Lingkungan Jalan, Hambatan Samping, dan KTB

Dampak dari keadaan lingkungan jalan, Hambatan samping, dan volume arus Kendaraan Tak Bermotor (KTB) yang disebabkan oleh aktivitas di sekitar persimpangan digabungkan menjadi satu nilai faktor koreksi untuk gangguan samping. Tipe lingkungan jalan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu komersial, perumahan, dan akses terbatas. Pembagian ini didasarkan pada fungsi penggunaan lahan dan kemudahan akses jalan dari kegiatan yang ada di sekitar persimpangan. Kategori tersebut ditentukan melalui penilaian teknis dengan kriteria yang dijelaskan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Tipe Lingkungan Jalan

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

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 Hal 134

Pengelompokan hambatan samping dibagi menjadi tiga kategori, yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Setiap kategori ini menunjukkan dampak dari aktivitas samping jalan di area persimpangan terhadap lalu lintas yang bergerak dari arah datang, seperti ketika pejalan kaki menyeberangi jalan, transportasi umum dan bus yang berhenti untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, serta kendaraan yang keluar dan masuk dari area parkir dan tempat lainnya di luar jalur. Ketiga kategori tersebut ditetapkan seperti yang dijelaskan di Tabel 2.8. Nilai FHS dapat dilihat di Tabel 2.9

Tabel 2. 8 Kriteria Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping	Kriteria
Tinggi	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang terganggu dan berkurang akibat aktivitas samping jalan sepanjang pendekat. Contoh adanya aktivitas menaikturunkan penumpang, pejalan kaki atau pedagang kaki lima.
Sedang	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang sedikit terganggu dan sedikit berkurang akibat aktivitas samping jalan sepanjang pendekat.
Rendah	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang tidak terganggu dan tidak berkurang oleh hambatan samping.

Sumber : PKJI 2023 (Hal 135)

Tabel 2. 9 Nilai Faktor Hambatan Samping

Tipe lingkungan jalan	Hambatan samping	Tipe fase	F _{HS} untuk nilai R _{KBT}					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥0,25
Komersial	Tinggi	Telawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,88	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas	Tinggi/Sedang /Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber : PKJI 2023 (Hal135)

2.10.2 Faktor Koreksi Ukuran Kota

Pengkategorian ukuran kota ditetapkan menjadi 5 (lima) berdasarkan kriteria dari populasi penduduk, besaran nilai F_{UK} tercantum pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 10 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Ukuran Kota	Populasi Penduduk, Juta Jiwa	F_{UK}
Sangat Besar	$> 3,0$	1,05
Besar	0,1 -3,0	1,00
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Kecil	0,1 – 0,5	0,83
Sangat Kecil	$< 0,1$	0,82

Sumber : PKJI 2023 (Hal134)

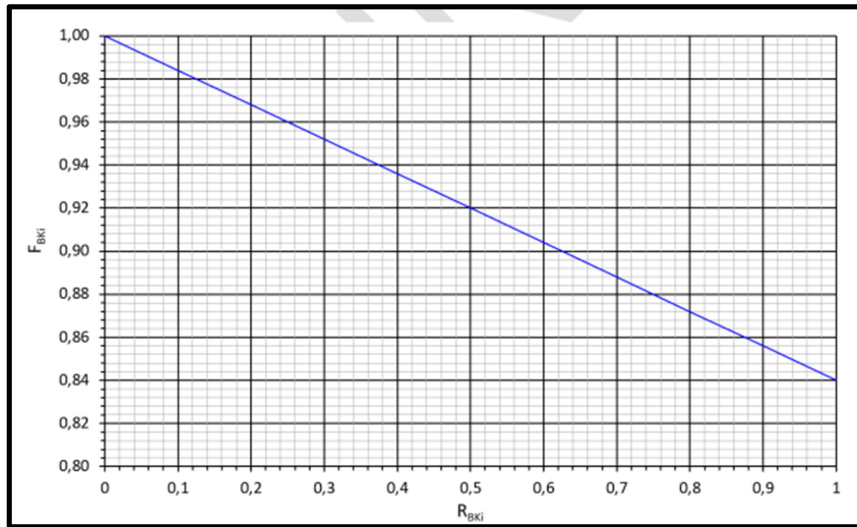
2.10.3 Faktor Koreksi Rasio Arus Belok Kiri

FBKi dapat dihitung menggunakan rumus 2.8 atau dari grafik pada Gambar 2.7. Agar diperhatikan ketentuan tentang keberlakuan RBKi untuk analisis kapasitas.

$$F_{BKI} = 1,0 - R_{BKI} \times 0,16 \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- R_{BKI} adalah rasio belok kiri.



Gambar 2. 7 Faktor koreksi Rasio Arus Belok Kiri (FBKi)

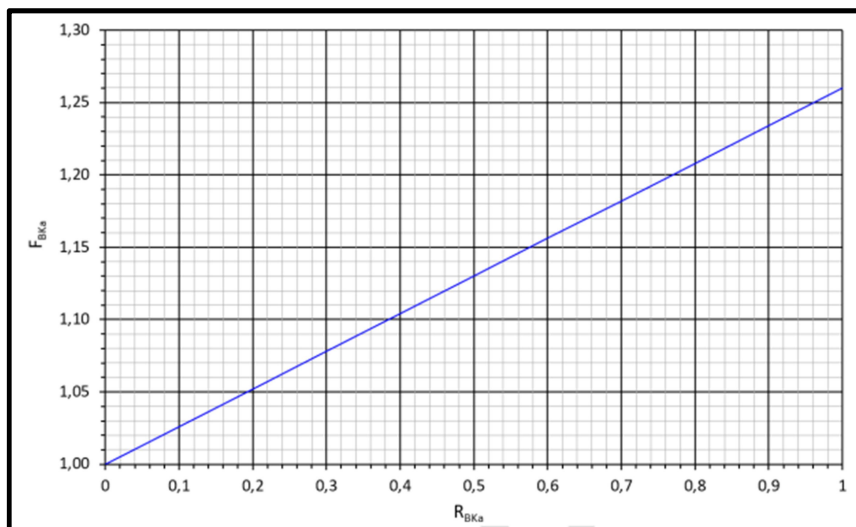
2.10.4 Faktor Koreksi Rasio Arus Belok Kanan

Untuk memperoleh FBKa digunakan persamaan sebagai berikut :

$$FBKa = 1,0 + RBKa \times 0,26 \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- RBKa adalah rasio belok kanan.



Gambar 2. 8 Faktor Koreksi Rasio Arus Belok Kanan (FBKa)

2.10.5 Faktor Koreksi untuk Pengaruh Parkir (FP)

Faktor parkir yakni variabel penyesuaian untuk menghitung kapasitas simpang yang dipengaruhi oleh adanya kendaraan yang berhenti atau parkir di pinggir jalan, maka dengan adanya faktor parkir maka mengurangi hambatan samping. Faktor penyesuaian pengaruh parkir (FP) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_p = \frac{\left[\frac{L_p}{3} - \frac{(L-2) \times \left(\frac{L_p}{3} - W_H \right)}{L} \right]}{W_H} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- L_p : jarak antara garis henti ke kendaraan yang parkir pertama pada lajur belok kiri yang pendek (meter)
- L : lebar pendekat (meter)
- W_H : waktu hampa pada pendekat yang ditinjau (nilai normalnya 27 detik)



Sumber : PKJI 2023, Hal. 265

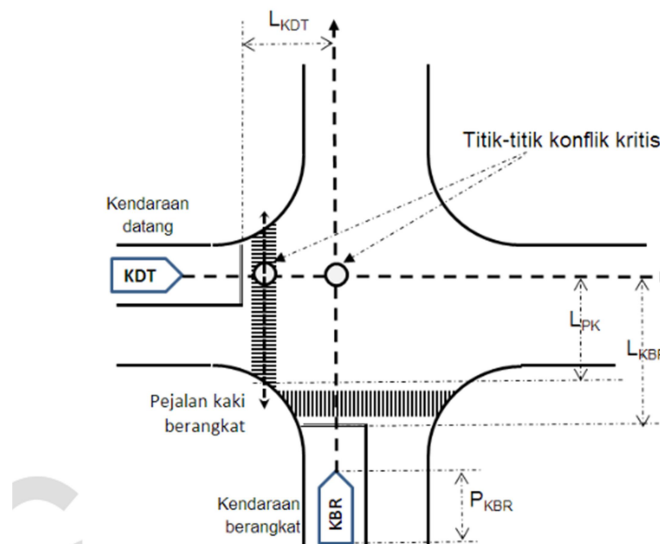
Gambar 2. 9 Faktor Koreksi untuk Pengaruh Parkir (FP)

2.11 Waktu Isyarat Alat Pengaturan Lalu Lintas

2.11.1 Waktu Merah Semua dan Waktu Hijau Hilang Total

Waktu Merah Semua (wMS) diperlukan untuk mengosongkan area konflik di persimpangan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) di akhir

Jika waktu lintasan pejalan kaki (LPK) lebih panjang dibandingkan LKBR, maka LPK akan menjadi faktor utama dalam menentukan panjang lintasan berangkat.



Gambar 2. 10 Titik konflik dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan

34

$$W_{MS} = \text{Max} \left\{ \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}}, \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \right\} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

- LKBR, LKDT, LPK : jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat, kendaraan yang datang, dan pejalan kaki, dalam meter.
- PKBR : panjang kendaraan yang berangkat, dalam meter.
- VKBR, VKDT, VPK : kecepatan untuk masing-masing kendaraan berangkat, kendaraan datang, dan pejalan kaki, dalam m/det.

Pada gambar 2.11 Menampilkan situasi dengan titik-titik konflik kritis yang ditandai untuk kendaraan serta pejalan kaki yang melintasi jalan. Nilai-nilai vKBR, vKDT, dan PKBR bergantung pada keadaan area setempat. Nilai-nilai berikut ini bisa diterapkan sebagai alternatif jika nilai standar tidak ada.

vKDT = 10 m/det (kendaraan bermotor)

vKBR = 10 m/det (kendaraan bermotor)

3 m/det (kendaraan tidak bermotor misalnya sepeda)

1,2 m/det (pejalan kaki)

PKBR = 5 m (MP atau KS)

2 m (SM atau KTB)

Jika periode wMS untuk masing-masing akhir fase telah ditetapkan, maka total durasi waktu hijau yang hilang (wHH) pada persimpangan APILL untuk setiap siklus bisa dihitung dengan cara menjumlahkan durasi antar hijau menggunakan rumus di bawah ini:

$$W_{HH} = \sum_i (W_{MS} + W_K)_i \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

- W_{MS} : adalah waktu merah semua (detik)
- W_K : adalah waktu kuning (detik)

Durasi lampu kuning pada APILL di berbagai kota di Indonesia umumnya ditentukan selama 3,0 detik. Untuk persimpangan APILL yang memiliki ukuran geometris yang besar dan tidak optimal, maka sebaiknya dilakukan perhitungan.

2.11.2 Waktu Siklus (s) dan Waktu hijau (WH)

Waktu isyarat mencakup periode siklus (s) dan waktu hijau (WH). Langkah pertama adalah menentukan periode siklus untuk sistem kontrol waktu tetap yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus Webster (1966). Rumus ini dirancang untuk mengurangi total penundaan. Langkah berikutnya adalah menetapkan waktu hijau (WH) untuk setiap fase (i). Nilai s ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum Rq/J \text{ kritis})} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

- S : waktu siklus, dalam detik.
- WHH : jumlah waktu hijau hilang per siklus, dalam detik.
- Rq/J : rasio arus, yaitu arus dibagi arus jenuh, q/J .
- Rq/J kritis : nilai Rq/J yang tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada fase yang sama.
- $\sum Rq/J$ kritis : rasio arus simpang (sama dengan jumlah semua Rq/J)

Catatan : Waktu siklus yang lebih panjang akan mengakibatkan meningkatnya rata-rata tundaan. Waktu siklus yang besar terjadi ketika nilai $\sum(Rq/J \text{ kritis})$ mendekati satu, atau jika nilai tersebut lebih dari satu, maka simpang APILL tersebut akan “melewati jenuh” dan rumus Webster akan memberikan nilai s yang tidak realistis karena terlalu besar atau negatif.

Tabel 2. 11 Waktu siklus (s) yang layak

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

Sumber : PKJI 2023, Hal. 269

Untuk menghitung WH ditetapkan menggunakan persamaan :

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{Rq/J \text{ kritis}}{\sum_j (Rq/J \text{ kritis})^i} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

- i : indeks untuk fase ke i.
- WHi : waktu hijau pada fase i, detik.

Catatan : Kinerja dari sebuah simpang yang menggunakan APILL umumnya lebih sensitif terhadap kesalahan dalam pembagian waktu hijau dibandingkan dengan durasi siklus yang terlalu lama. Perubahan kecil pada rasio hijau (wHi/s) yang sudah ditetapkan dapat menyebabkan peningkatan pada rata-rata tundaan di simpang APILL tersebut.

2.12 Kinerja Lalu Lintas

2.12.1 Derajat Kejenuhan

Faktor utama yang digunakan untuk menilai kinerja dari bagian jalan dan persimpangan adalah Derajat kejenuhan. Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai perbandingan antara arus, di mana Derajat kejenuhan dihitung dengan membagi kapasitas bagian jalan dengan volume lalu lintas. Merujuk pada PKJI 2023, Derajat kejenuhan (DJ) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$DJ = \frac{Q}{C} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

- DJ : derajat kejenuhan.
- C: kapasitas segmen jalan, dalam SMP/jam.
- q: volume lalu lintas, dalam SMP/jam, yang dalam analisis kapasitas terdiri dari dua jenis, yaitu qeksisting hasil perhitungan lalu lintas dan qJP hasil prediksi atau hasil perancangan

2.12.2 Panjang Antrian

Jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) saat sinyal lampu hijau mulai (N_q) dihitung berdasarkan total kendaraan yang terhenti (SMP) dari fase hijau yang lalu (N_{q1}) serta total kendaraan (SMP) yang datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah (N_{q2}), yang diperkirakan/dihitung menggunakan rumus 2.16, 2.17, dan 2.18.

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

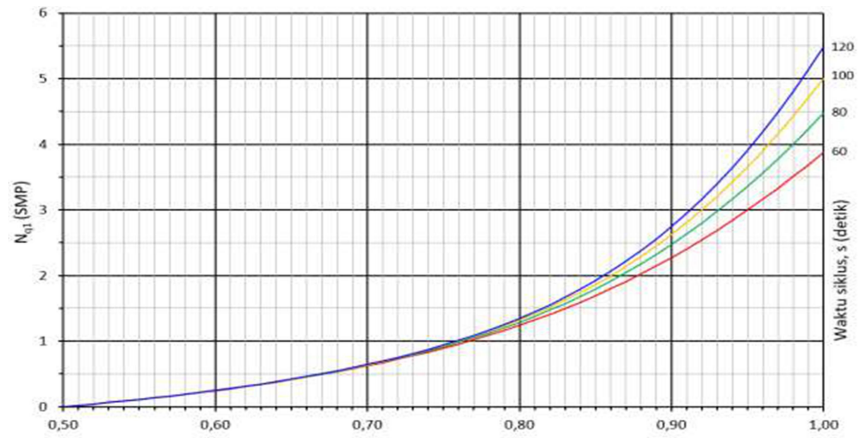
Jika $DJ \leq 0,5$ maka : $N_{q1} = 0$;

Jika $DJ > 0,5$ maka :

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

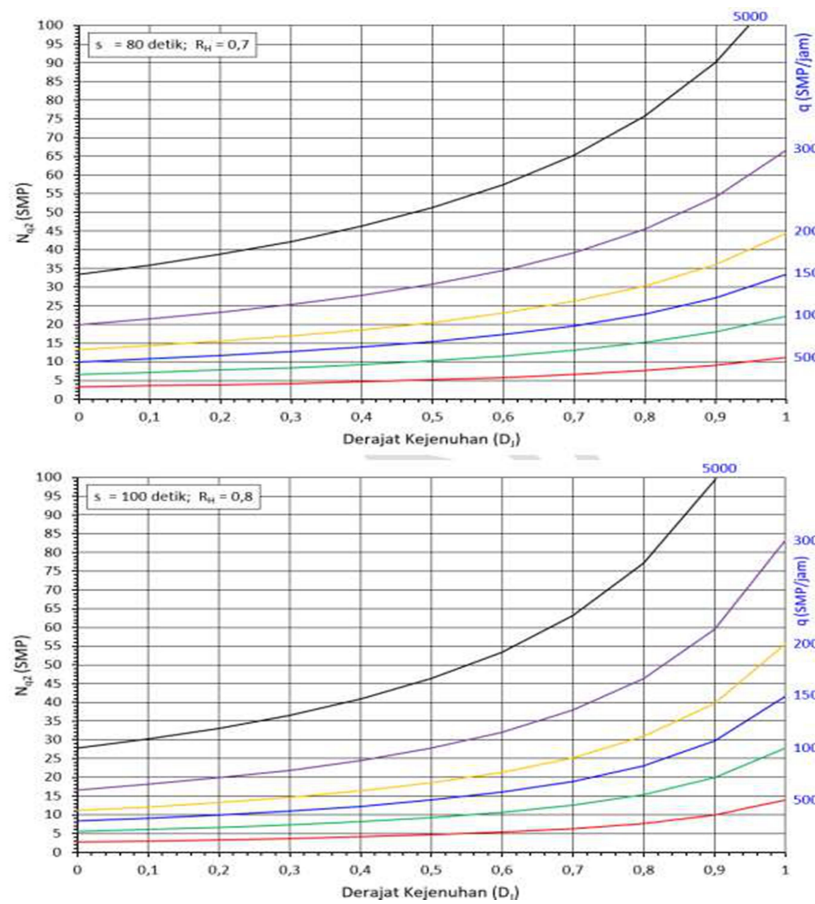
$$N_{q2} = s \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3600} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Nilai N_{q1} dapat pula diperoleh dengan menggunakan diagram pada Gambar 2.12 dan nilai N_{q2} menggunakan diagram pada Gambar 2.13.



Sumber : PKJI 2023 (Hal 267)

Gambar 2. 11 Jumlah Kendaraan Tersisa dari Sisa Fase Sebelumnya



Sumber : PKJI 2023 (Hal 268)

Gambar 2. 12 Jumlah Kendaraan yang Datang Kemudian Antri pada Fase Merah

Panjang antrian (P_A) diperoleh dari perkalian N_q (SMP) dengan luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (SMP) yaitu 20 m², dibagi lebar masuk (m), sebagaimana rumus 2.19.

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M} \dots\dots\dots (2.19)$$

2.12.3 Tundaan

Tundaan pada suatu Simpang APILL terjadi karena 2 (dua) hal, yaitu 1) tundaan lalu lintas (TLL), dan 2) tundaan geometri (TG). Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat i dihitung menggunakan rumus 2.20.

$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi} \dots\dots\dots (2.20)$$

Tundaan lalu lintas rata-rata pada suatu pendekat i dapat ditentukan dari rumus 2.21.

$$T_{LL} = s \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_l)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{C} \dots\dots\dots (2.21)$$

Tundaan geometri rata-rata pada suatu pendekat i dapat diperkirakan menggunakan rumus 2.22.

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \dots\dots\dots (2.22)$$

2.12.4 Rasio Kendaraan Henti

Rasio kendaraan henti atau RKH merupakan rasio kendaraan yang digunakan akibat dari kendaraan yang harus berhenti karena lampu isyarat merah sebelum melewati suatu simpang bersinyal. Rasio kendaraan henti (RKH) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$RKH = 0,9 \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \dots\dots\dots (2.23)$$

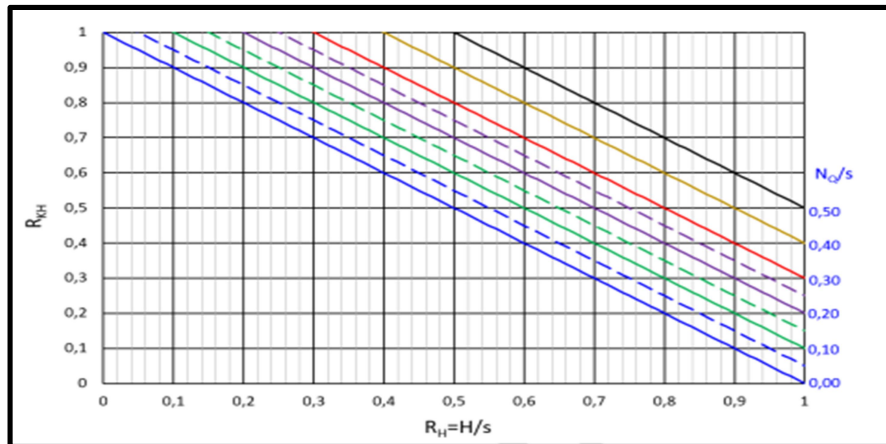
Keterangan :

- N_q = jumlah rata-rata antrian kendaraan pada awal isyarat hijau (SMP).

- s = waktu siklus (detik)
- q = arus lalulintas dari pendekat yang ditinjau (SMP/jam)

Untuk mendapatkan nilai rata-rata kendaraan berhenti (NKH), digunakan rumus sebagai berikut:

$$NKH = q \times R_{KH} \dots\dots\dots (2.24)$$



Gambar 2. 13 Penentuan Rasio Kendaraan Terhenti, R_{KH}

2.13 Software PTV Vissim 2025

2.13.1 Kemampuan Software PTV Vissim

Pemodelan simulasi lalu lintas merupakan sebuah pendekatan yang efektif untuk menganalisis operasi lalu lintas karena bisa menghasilkan output yang relatif mendekati kondisi nyata. Simulasi lalu lintas adalah pemodelan matematika dari sistem transportasi (misalnya, persimpangan jalan bebas hambatan, arteri rute, bundaran, sistem jaringan pusat kota, dan lain-lain) melalui penerapan perangkat lunak komputer untuk lebih membantu rencana, desain dan mengoperasikan sistem transportasi. (Romadhona et al., 2019).

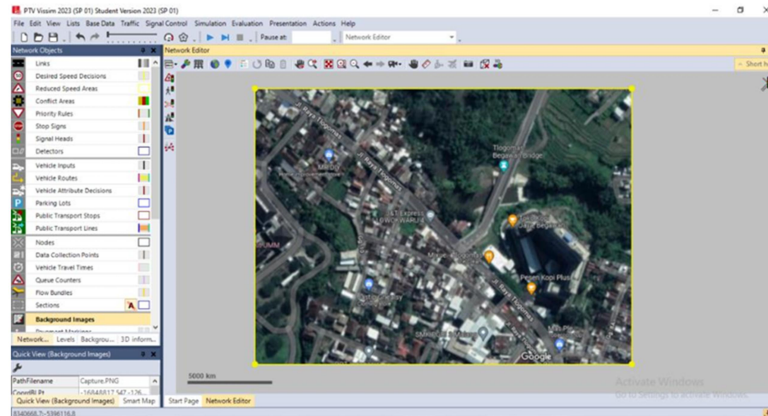
Perangkat lunak PTV Vissim adalah aplikasi yang dirancang untuk mengembangkan model atau simulasi lalu lintas dalam format 2D dan 3D. Pemanfaatan perangkat ini sangat krusial dalam melakukan rekayasa lalu lintas, sehingga membantu penggunaanya untuk memahami potensi masalah yang dapat muncul di lapangan.

2.13.2 Batasan Jangkauan Software PTV Vissim

Vissim digunakan untuk mengevaluasi jaringan dengan berbagai skala, mulai dari persimpangan tunggal sampai seluruh wilayah kota. Dalam jaringan transportasi yang berbeda, Vissim dapat merepresentasikan semua tipe fungsi jalan, mulai dari jalan raya untuk sepeda motor hingga jalan raya untuk kendaraan roda empat. Kemampuan aplikasi Vissim yang luas juga mencakup transportasi umum, jalur sepeda, dan pejalan kaki. Selain itu, Vissim mampu mensimulasikan aspek geometris dan kondisi operasional spesifik yang ada dalam sistem transportasi. Informasi yang akan dianalisis dapat dimasukkan sesuai preferensi pengguna. Berbagai perhitungan efisiensi, seperti tundaan, kecepatan, antrean, waktu tempuh, dan terhenti, dapat diintegrasikan ke dalam perangkat lunak Vissim.

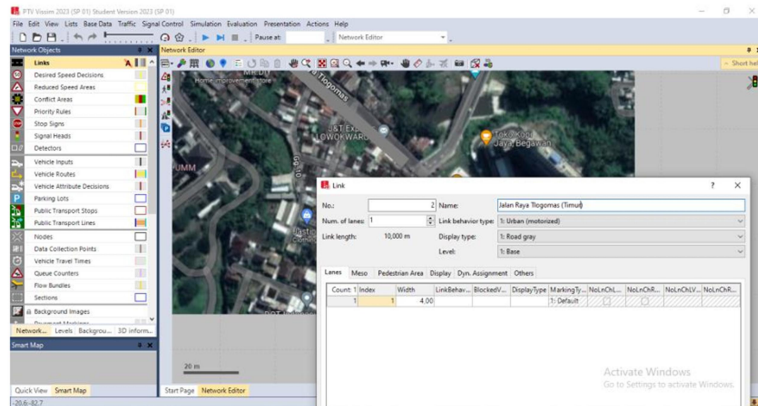
2.13.3 Fitur-Fitur Software PTV Vissim

1. input background yang sesuai, bisa diambil lewat google maps atau google earth.



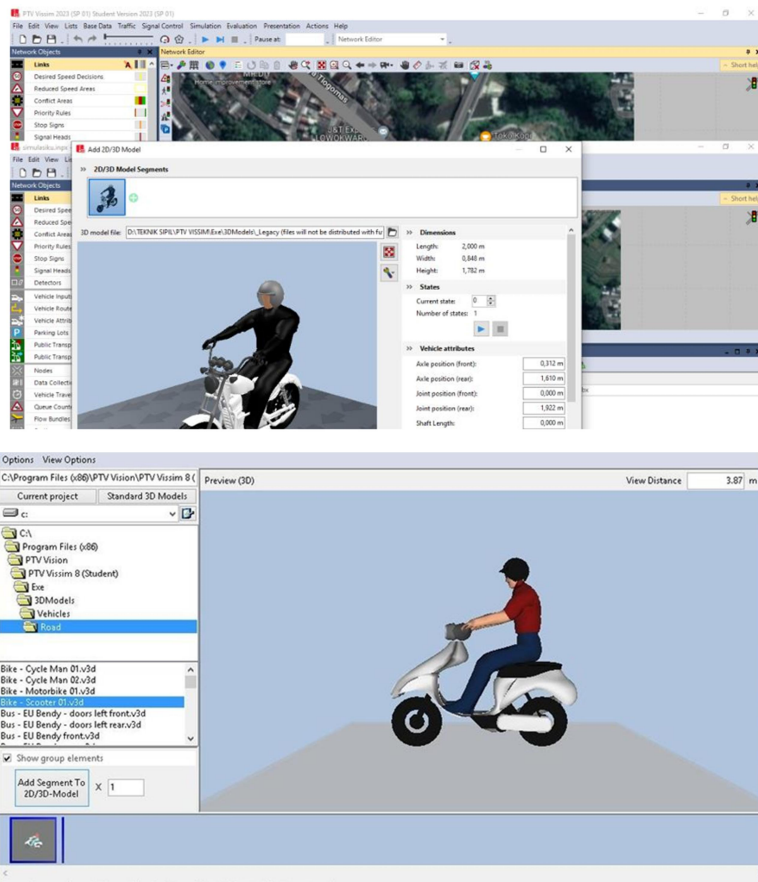
Gambar 2. 14 Input Background Vissim 25

2. Membuat jaringan jalan sesuai kondisi eksisting dengan *Link* dan *Connectors*.



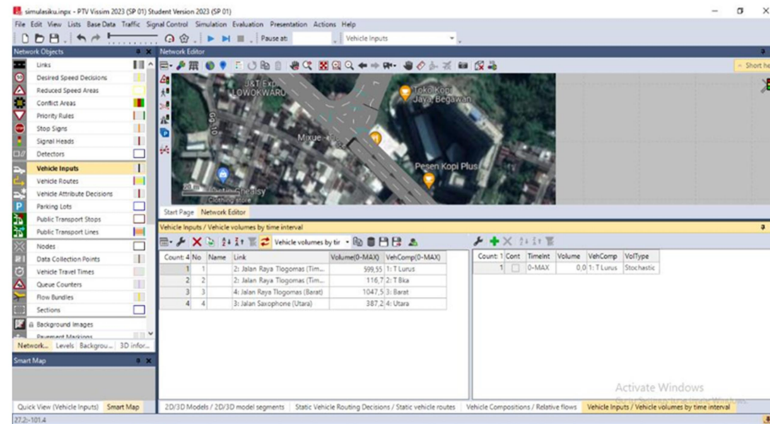
Gambar 2. 15 Input Jaringan Jalan

- Memasukkan jenis dan jumlah kendaraan sesuai dengan kondisi eksisting.



Gambar 2. 16 Input Kendaraan

4. Input volume lalu lintas secara keseluruhan.



Gambar 2. 17 Input Volume Lalu lintas

2.14 Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

Biaya operasional kendaraan merupakan biaya total yang digunakan untuk pengoperasian kendaraan pada suatu kondisi lalulintas dengan satuan Rupiah/Kilometer (Pd T-15-2005-B). Biaya operasional kendaraan meliputi konsumsi bahan bakar minyak (KBBM), Biaya konsumsi bahan bakar minyak (BiBBM), Biaya konsumsi oli, biaya konsumsi ban, biaya konsumsi suku cadang dan biaya upah pemeliharaan. Namun dalam studi ini Biaya Operasional Kendaraan yang dihitung yaitu mencakup konsumsi bahan bakar dan biaya konsumsi bahan bakar saja. Berikut merupakan langkah-langkah untuk menghitung biaya operasional kendaraan.

2.14.1 Konsumsi Bahan Bakar Minyak

Konsumsi bahan bakar minyak merupakan jumlah daya yang dibutuhkan mesin kendaraan untuk beroperasi selama rentang waktu tertentu. Dengan kata lain konsumsi bahan bakar minyak berguna untuk mengukur seberapa efisien kendaraan menggunakan bahan bakar untuk bergerak. perhitungan konsumsi bahan bakar kendaraan pada simpang Tlogomas pada studi ini yaitu menggunakan formulasi yang diajukan oleh LAPI-ITB.

Formulasi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan perhitungan jumlah konsumsi bahan bakar kendaraan dalam kondisi *idle*

yang dikonversikan kedalam satuan mobil penumpang (smp). *Idle* sendiri merupakan kondisi dimana kendaraan dalam keadaan diam atau bergerak sangat pelan dan energi yang digunakan kendaraan relatif sedikit. Kondisi ini sesuai dengan keadaan dilapangan, dimana kendaraan berhenti dikarenakan mengalami tundaan. Sehingga konsumsi bahan bakar ini akan dikalikan dengan lamanya tundaan pada suatu pendekatan. Berikut merupakan formula untuk menghitung konsumsi bahan bakar dalam kondisi idle :

$$F = 140 \times 10^{-4} \text{ (liter/smp-jam)} \times \text{Tundaan total}$$

Dimana :

F = konsumsi bahan bakar minyak

140×10^{-4} = konstanta saat kendaraan dalam keadaan idle.

2.14.2 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BiBBM)

Biaya konsumsi bahan bakar minyak dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan berdasarkan Pd T-15-2005-B yaitu :

$$\text{BiBBM}_j = \text{KBBM}_i \times \text{HBBM}_j$$

Dimana :

BiBBM_j : adalah biaya konsumsi bahan bakar minyak untuk jenis kendaraan i (rupiah/km).

KBBM_i : adalah konsumsi bahan bakar minyak untuk jenis kendaraan i (liter/km).

HBBM_j : harga bahan bakar untuk jenis BBM j, (rupiah/liter).

i : jenis kendaraan

j : jenis bahan bakar minyak solar (SLR) atau premium

Tabel 2. 12 Harga Satuan Bahan Bakar Minyak

No	Item	Harga (Rp/liter)	Keterangan
1	Pertalite	10000	Hasil survei
2	Solar	6800	Hasil survei

Sumber : Pengolahan data

2.15 Biaya Kerugian Akibat Kemacetan

Menurut Gito Sugiyanto (2011), Kemacetan lalu lintas muncul ketika volume lalu lintas melebihi kapasitas jalan atau simpang. Penambahan jumlah kendaraan menyebabkan tundaan, waktu perjalanan menjadi lebih lama dan mengakibatkan kenaikan biaya transportasi. Kondisi ini menyebabkan adanya eksternalitas yang dapat digunakan sebagai dasar argumentasi rencana biaya kemacetan. Karena itu pengurangan kemacetan lalu lintas merupakan salah satu target utama dalam menentukan kebijakan transportasi, karena kerugian ekonomi disebabkan oleh kemacetan lalu lintas.

Dalam studi ini hubungan antara tundaan dengan biaya kemacetan simpang akan dianalisis menggunakan metode analisis regresi linear sederhana.

2.15.1 Analisis Regresi Linear Sederhana

Analisis regresi yaitu metode statistik untuk mempelajari hubungan antara dua variabel atau lebih dan memprediksi nilai variabel dependen/terikat (Y) berdasarkan nilai variabel independen/tidak terikat (X). terdapat tiga jenis regresi, salah satunya yaitu analisa regresi linear sederhana dimana:

a. Regresi Linear Sederhana

Regresi linear sederhana merupakan teknik yang digunakan untuk membuat model dan menyelidiki pengaruh satu variabel independen terhadap satu variabel dependen. Metode ini melibatkan 2 variabel yaitu satu variabel Independen (X) dan satu variabel dependen (Y).

Analisi regresi linear sederhana dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

- Y : Biaya Kemacetan simpang (variabel dependen/terikat)
- X : Tundaan (Variabel independen/tidak terikat)
- a : Konstanta (nilai intercept)
- b : Slope (koefisien kecondongan garis)

b. Langkah-langkah analisis regresi

- 1.) Membuat hipotesis Penelitian H0 dan H1

H_0 : Tidak ada pengaruh variabel X terhadap variabel Y

H_1 : Ada pengaruh variabel X terhadap Variabel Y

Hipotesis statistik :

H_0 : $b = 0$ atau model tidak dapat digunakan untuk memprediksi variabel Y (model tidak sesuai).

H_1 : $b \neq 0$ atau model dapat digunakan untuk memprediksi variabel Y (model sesuai).

2.) Menentukan persamaan regresi :

Mencari garis regresi terbaik dengan meminimalkan jumlah kuadrat selisih antara nilai Y observasi dengan nilai Y prediksi.

Rumus:

$$b = \frac{n(\sum XiYi) - (\sum Xi)(\sum Yi)}{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

Dimana :

Y : nilai variabel tidak bebas sesungguhnya

X : nilai variabel bebas

n : jumlah data

$\bar{y}$: merupakan nilai rata-rata variabel tidak bebas

$\bar{x}$: merupakan nilai rata-rata variabel bebas

3.) Uji nyata regresi (Uji-F)

Uji nyata regresi (Uji-F) dilakukan dengan langkah-langkah:

- Taraf signifikan (α)

α digunakan untuk menentukan nilai $F_{tabel} = F_{\alpha;1}$

Db (Derajat kebebasan) = n-2.

- Kriteria Pengujian:

H_0 ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$

- Uji statistik (Menentukan F_{hitung} atau F_{reg})

- a. Menghitung jumlah jumlah kuadrat regresi JK_{reg} (a)

$$JK_{reg} (a) = \frac{(\sum y)^2}{n}$$

- b. Menghitung jumlah kuadrat regresi $JK_{reg} a/(b/a)$

$$JK_{\text{reg}}(a) = b \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n} \right)$$

- c. Menghitung jumlah kuadrat residu JK_{res}

$$JK_{\text{res}} = \sum Y^2 - (JK_{\text{reg}} a(b/a) + JK_{\text{reg}}(a))$$

- d. Menghitung rata-rata jumlah kuadrat residu RJK_{res}

$$RJK_{\text{res}} = \frac{JK_{\text{res}}}{n-2}$$

- e. F hitung

$$F_{\text{hitung}} = \frac{JK_{\text{reg}} a \left(\frac{b}{a} \right)}{JK_{\text{res}}}$$

- Pengambilan kesimpulan, apakah model fit (tepat) atau tidak

4.) Uji parsial (Uji-t)

Langkah-langkah melakukan uji parsial :

- Formulasi hipotesis

$H_0 : \rho = 0$ (tidak ada pengaruh variabel X terhadap variabel Y)

$H_1 : \rho \neq 0$ (ada pengaruh variabel X terhadap variabel Y)

- Taraf Signifikansi (α)

α digunakan untuk menentukan nilai *ttabel* (uji dua pihak), $t_0 = \frac{t\alpha}{2}, n-2$

- Kriteria pengujian

H_0 ditolak jika $t_0 < -\frac{t\alpha}{2}, n-2$ atau $t_0 > \frac{t\alpha}{2}, n-2$

- Uji statistik

Menghitung nilai koefisien korelasi

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$\text{menentukan } t_{\text{hitung}} = t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \dots \dots \dots (2.28)$$

- Pengambilan keputusan