BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Terdahulu

Studi yang dilakukan ini memiliki beberapa kesamaan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh pihak lain dan dijadikan sebagai contoh dan referensi para penyusunan penelitian ini. Adapun penelitian tersebut antara lain adalah sebagai berikut :

1. Titi Kurniati (2020), melakukan **"Evaluasi dan Perencanaan Lampu Lalu Lintas pada Simpang Jl. Syekh Umar Khalil – Bypass Kota Padang"**, menimbulkan terjadinya Panjang Antrian (PA) dan Tundaan (T) pada salah satu simpang yang panjang. Maka dilakukan evaluasi perencanaan lalu lintas kendaraan dengan menggunakan kamera yang ditempatkan pada persimpangan. Pengambilan data dilakukan selama 6 (enam) jam setiap hari selama 2 (dua) hari kerja. Kemudian tiap jalur dibagi menjadi beberapa sektor sesuai dengan arah jalan per 15 (lima belas) menit. Dari data yang didapatkan direkap selama 1 (satu) jam, lalu diambil jam puncak untuk dianalisa, dan perhitungan parameter perencanaan berdasarkan Metode MKJI 1997.
2. Hanafi Wahyu Wicaksono (2021), melakukan **"Analisis Kinerja Simpang Bersinyal dan Biaya Operasional Kendaraan pada Jl. Galunggung – Jl. Raya Tidar – Jl. Bondowoso, Kota Malang, Prov. Jawa Timur"**, hasil analisis didapatkan kondisi eksisting simpang tesebut sudah melewati titik jenuh dengan tingkat pelayanan F dengan tundaan rata-rata sebesar 1013,6 det/SMP dan biaya kemacetan untuk kendaraan ringan (LV) sebesar Rp. 86.744.635/jam dan untuk kendaraan berat sebesar (HV) Rp. 15.424.569/jam. Penerapan alternatif perbaikan dengan pengaturan ulang fase 2 menjadi 4 fase, penyesuaian geometrik jalan dan penambahan *flyover*. Setelah menerapkan alternatif perbaikan maka, didapatkan tingkat pelayanan B dan dapat dikurangi biaya konsumsi bahan bakar untuk Kendaraan Ringan (LV) menjadi Rp. 1.319.498/jam, untuk

Kendaraan Berat (HV) Rp. 231.244/jam dan tundaan rata-rata sebesar 14,5 det/SMP.

3. Dian Agustiningrum (2021), melakukan **"Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dan Biaya Operasional Kendaraan pada Jl. Panglima Sudirman – KH. Hasan Genggong – Jl. Serma Abdurrahman, Kota Probolinggo"**, data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Data Primer yang didapatkan dari pengukuran geometrik jalan, survei lalu lintas, dan survei waktu sinyal, yang dilakukan pada Tanggal 9, 10 dan 14 Maret 2020. Sedangkan Data Sekunder didapatkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Probolinggo. Pengolahan data dalam studi ini menggunakan Metode MKJI 1997. Dan hasil analisa kinerja simpang bersinyal eksisting didapatkan tingkat pelayanan D dengan nilai Tundaan (D) selama 30,43 det/SMP. Dari analisa tersebut diperlukan penanganan simpang dengan melakukan perubahan fase eksisting menjadi 2 (dua) fase, dan hasil perhitungan penanganan alternatif didapatkan tingkat pelyanan B dan nilai Tundaan (D) 11,83 det/SMP.
4. Ahmad Saoki Indrian (2021), melakukan **"Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2014 Dan *Software* VISSIM 11 Pada Simpang W. R. Supratman Kec. Klojen, Kota Malang, Prov. Jawa Timur"**, hasil penelitian perhitungan data di lapangan dapat diketahui bahwa kapasitas Simpang W. R. Supratman, Kota Malang pada kondisi eksisting jam puncak tertinggi yaitu pada hari Sabtu 29 Mei 2021 pukul 14:45 – 15:45 memiliki nilai Derajat Kejenuhan (DJ) pada lengan Utara 0,99, Timur 1,06, Selatan 0,63 dan Barat 1,51. Didapatkan tingkat pelyanan F dan Tundaan (T) rata-rata sebesar 77,33 det/kend. Karena tingkat pelayanan pada simpang masih belum memenuhi syarat, maka di buat beberapa solusi sebagai alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Setelah melakukan analisis perhitungan dengan menggunakan acuan PKJI 2014 dan Software VISSIM 11, maka dilakukan alternatif yang paling efektif pada kinerja simpang W. R. Supratman adalah dengan dilakukan penambahan fase menjadi 4 (empat) fase dan pelebaran jalan.

5. Muhammad Reizal Hafidz Cahyadi (2023), melakukan **"Analisis Kinerja Simpang Bersinyal dengan Menggunakan Metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan Program SIDRA. (Studi Kasus : Simpang Empat Perbatasan Makassar – Gowa)"**, tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis kinerja dari sebuah persimpangan, yang dimana merupakan salah satu tempat yang sering mengalami konflik lalu lintas. Penelitian ini menggunakan metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan *Software* SIDRA sebagai metode analisis untuk mengetahui kinerja pada salah satu persimpangan jalan pada perbatasan Kota Makassar dan Kabupaten Gowa.

Tabel 2. 1 Studi Terdahulu

No	Penyusun & Tahun	Judul	Persamaan	Perbedaan
1	Titi Kurniati (2020, Hal. 49)	Evaluasi dan Perencanaan Lampu Lalu Lintas pada Simpang Jl. Syekh Umar Khalil – Bypass Kota Padang.	➢ Melakukan evaluasi kinerja simpang bersinyal.	➢ Lokasi studi. ➢ Menggunakan metode MKJI 1997. ➢ Tidak melakukan simulasi menggunakan *Software* Sidra Intersection 8.0. ➢ Tidak menghitung Biaya Operasional Kendaraan (BOK).
2	Hanafi Wahyu Wicaksono (2021)	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal dan Biaya Operasional Kendaraan pada Jl. Galunggung – Jl. Raya Tidar – Jl. Bondowoso, Kota Malang, Prov. Jawa Timur.	➢ Melakukan evaluasi kinerja simpang bersinyal. ➢ Menghitung Biaya Operasional Kendaraan (BOK).	➢ Lokasi studi. ➢ Menggunakan metode MKJI 1997. ➢ Tidak melakukan simulasi menggunakan *Software* Sidra Intersection 8.0

No	Penyusun & Tahun	Judul	Persamaan	Perbedaan
3	Dian Agustiningrum (2021)	Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dan Biaya Operasional Kendaraan pada Jl. Panglima Sudirman – KH. Hasan Genggong – Jl. Serma Abdurrahman, Kota Probolinggo.	➢ Melakukan evaluasi kinerja simpang bersinyal. ➢ Menghitung Biaya Operasional Kendaraan (BOK).	➢ Lokasi studi. ➢ Menggunakan metode MKJI 1997. ➢ Tidak melakukan simulasi menggunakan *Software* Sidra Intersection 8.0
4	Ahmad Saoki Indrian (2022)	Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2014 dan Software VISSIM 11 Pada Simpang W. R. Supratman Kec. Klojen, Kota Malang, Prov. Jawa Timur.	➢ Melakukan evaluasi kinerja simpang bersinyal.	➢ Lokasi studi. ➢ Menggunakan metode PKJI 2014. ➢ Melakukan simulasi menggunakan *Software* VISSIM 11. ➢ Tidak menghitung Biaya Operasional Kendaraan (BOK).
5	Muhammad Reizal Hafidz Cahyadi (2023)	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal dengan Menggunakan Metode MKJI 1997, PKJI 2014, dan Program SIDRA. (Studi Kasus : Simpang Empat Perbatasan Makassar – Gowa)	➢ Melakukan evaluasi kinerja simpang bersinyal. ➢ Melakukan simulasi menggunakan *Software* AASIDRA.	➢ Lokasi studi. ➢ Menganalisis di simpang empat. ➢ Tidak menghitung Biaya Operasional Kendaraan (BOK).

2.2 Jalan

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah dan/atau air, serta di atas

permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun, 2022, Hal 8)

2.3 Klasifikasi Jalan

Jalan dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsi, status dan kelasnya. Dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun, 2022 tentang klasifikasi jalan, sebagai berikut :

2.3.1 Berdasarkan Fungsi Jalan

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022, Pasal 8 tentang jalan, klasifikasi jalan berdasarkan Fungsi, sebagai berikut:

1. **Jalan Arteri**

   Jalan Arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.

2. **Jalan Kolektor**

   Jalan Kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.

3. **Jalan Lokal**

   Jalan Lokal merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

2.3.2 Berdasarkan Status Jalan

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022, Pasal 9 tentang jalan, klasifikasi jalan menurut Status, sebagai berikut :

1. **Jalan Nasional**

   Jalan Nasional merupakan Jaringan Jalan Primer yang menghubungkan antar pusat kegiatan nasional dan pusat kegiatan wilayah dengan bandar udara pengumpul dan/atau pelabuhan utama pengumpul. Memiliki lebar badan jalan minimal 11 m dengan kecepatan paling rendah 60 km/jam untuk jalan arteri primer, dan 30 km/jam untuk jalan arteri sekunder.

2. **Jalan Provinsi**

   Jalan Provinsi merupakan jalan kolektor dalam sistem Jaringan Jalan Primer yang menghubungkan ibu kota provinsi dan ibu kota kabupaten, serta jalan strategis kabupaten. Memiliki lebar badan jalan minimal 9 m dengan kecepatan paling rendah 40 km/jam untuk jalan kolektor primer, dan 20 km/jam untuk jalan kolektor sekunder.

3. **Jalan Kabupaten**

   Jalan Kabupaten merupakan jalan lokal dalam sistem Jaringan Jalan Primer yang tidak termasuk pada Jalan Nasional dan Provinsi yang menghubungkan ibu kota kabupaten dan ibu kota kecamatan atau antar ibu kota kecamatan, dan pusat kegiatan lokal. Memiliki lebar badan jalan minimal 7,5 m dengan kecepatan paling rendah 20 km/jam untuk jalan lokal primer dan 10 km/jam untuk jalan lokal sekunder.

4. **Jalan Kota**

   Jalan Kota merupakan jalan umum dalam sistem Jaringan Jalan Sekunder yang menghubungkan antar pusat pemukiman yang berada di dalam kota, dan jalan poros desa dalam wilayah kota.

5. **Jalan Desa**

   Jalan Desa merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan antar pemukiman di dalam desa serta jalan lingkungan.

2.3.3 Berdasarkan Kelas Jalan

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009, Pasal 19 tentang lalu lintas dan angkutan jalan, klasifikasi jalan menurut Status, sebagai berikut :

1. **Jalan Kelas I**

   Jalan Kelas I merupakan jalan arteri dan jalan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,5 m, ukuran panjang tidak melebihi 18 m, ukuran paling tinggi 4,2 m dan muatan sumbu terberat 10 ton.

2. **Jalan Kelas II**

   Jalan Kelas II merupakan jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,5 m, ukuran panjang tidak melebihi 12 m, ukuran paling tinggi 4,2 m, dan muatan sumbu terberat 8 ton.

3. **Jalan Kelas III**

   Jalan Kelas III merupakan jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,2 m, ukuran panjang tidak melebihi 9 m, ukuran paling tinggi 3 m, dan muatan sumbu terberat 8 ton.

4. **Jalan Kelas Khusus**

   Jalan Kelas Khusus merupakan jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar melebihi 2,5 m, ukuran panjang melebihi 18 m, ukuran paling tinggi 4,2 m, dan muatan sumbu terbesar > 10 ton.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Kelas Jalan

Kelas	Peranan	Dimensi Kendaraan (m)		MST maks.	Kecepatan Maksimal (km/jam)	
		Panjang	Lebar	Ton	Primer	Sekunder
I	Arteri & Kolektor	18	2,5	10	100/80	-
II	Arteri Kolektor, Lokal & Lingkungan	12	2,5	8	100/80	70/80
III	Arteri Kolektor, Lokal & Lingkungan	9	2,1	8	100/80	70/60
Khusus	Arteri	18	2,5	10	80	50

Sumber : Undang-Undang No. 22 Tahun 2009

2.4 Kondisi Arus Lalu Lintas

Data masukan lalu lintas dibedakan untuk 2 (dua) hal, yaitu data arus lalu lintas eksisting dan data arus lalu lintas rencana. Data lalu lintas eksisting digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja lalu lintas, berupa arus lalu lintas per jam

eksisting yang dihitung oada jam-jam tertentu, misalnya arus lalu lintas pada jam sibuk pagi atau sore. Data arus lalu lintas rencana digunakan sebagai dasar untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, berupa arus lalu lintas jam perencanaan (qJP) yang ditetapkan dari LHRT, faktor K, dan faktor jam sibuk (FJS) yang mempresentasikan fluktuasi selama jam sibuk. Secara ideal, LHRT didasarkan atas perhitungan lalu lintas menerus selama 1 (satu) tahun.

Jika diprediksi, maka caranya harus didasarkan atas perhitungan lalu lintas yang mengacu kepada ketentuan yang berlaku sehingga diperoleh validitas dan akurasi data yang memadai. LHRT dapat diprediksi menggunakan data survei perhitungan lalu lintas selama beberapa hari tertentu sesuai dengan pedoman survei perhitungan volume lalu lintas yang berlaku pada aturan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023. Untuk menetapkan qJP, dasarnya adalah hubungan antara arus jam puncak atau arus jam perencanaan (qJP) dengan LHRT seperti pada persamaan 2.1. *(Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 4)*

$$q_{JP} = \frac{LHRT \times K}{F_{JS}} \quad \text{..... (2.1)}$$

Tabel 2. 3 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, *pickup*, 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 *double decker city tour*
TB	Mobil angkutan barang 3 (tiga) sumbu, truk gandeng, dan truk tempel *(semitrailer)* dengan panjang > 12,0 m	Truk tronton, truk *semitrailer*, truk gandeng

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 6

2.5 Volume Lalu Lintas

Volume arus lalu lintas ialah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik pengamatan selama periode waktu tertentu. Nilai volume lalu lintas mencerminkan komposisi lalu lintas, dengan menyatakan arus dalam SMP (satuan kendaraan

ringan) yang dikonversikan dengan mengalihkan nilai ekuivalen kendaraan ringan (EMP).

Volume lalu lintas dapat dihitung dengan persamaan2.2.

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

Keterangan :

Q = Volume (kend/jam)

N = Jumlah kendaraan

T = Waktu pengamatan

Tabel 2. 4 Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)

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

2.6 Persimpangan

2.6.1 Pengertian Simpang

Persimpangan jalan adalah simpul pada jaringan jalan dimana ruas jalan bertemu dan lintasan arus kendaraan berpotongan. Lalu lintas pada masing-masing kaki persimpangan menggunakan ruang jalan pada persimpangan secara bersama-sama dengan lalu lintas lainnya.

Persimpangan merupakan tempat sumber konflik lalu lintas yang rawan terhadap kecelakaan karena terjadi konflik antara kendaraan dengan kendaraan lainnya ataupun antara kendaraan dengan pejalan kaki.

Pengertian Persimpangan menurut para Ahli :

1) Simpang merupakan daerah pertemuan dua atau lebih ruas jalan, bergabung, berpotongan atau bersilang. Persimpangan juga dapat disebut sebagai pertemuan antara dua jalan atau lebih, baik yang sebidang maupun tak sebidang atau titik jaringan jalan dimana jalan-jalan bertemu dan lintasan jalan saling berpotongan. *(Morlok, 1991, Hal. 559)*

2) Persimpangan jalan didefinisikan sebagai daerah umum dimana dua jalan atau lebih bergabung dan bersinggungan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu lintas. Tujuan dibangunnya sebuah persimpangan adalah untuk mengurangi potensi konflik antar kendaraan (termasuk pejalan kaki), penyedia kenyamanan maksimum dan kemudahan pergerakan bagi pengguna kendaraan. *(Khisty & Lall, 2005, Hal. 274)*
3) Persimpangan merupakan bagian penting dari sistem jaringan jalan, lancar tidaknya pergerakan dalam suatu jaringan jalan sangat ditentukan oleh pengaturan pergerakan di persimpangan, secara umum kapasitas persimpangan dapat dikontrol dengan mengendalikan arus lalu lintas dalam sistem jaringan jalan. *(Prasetyanto, 2019)*

2.6.2 Jenis-Jenis Simpang

Secara garis besar persimpangan dibagi menjadi 2 (dua) yaitu Persimpangan Sebidang dan Persimpangan Tak Sebidang. Pada persimpangan sebidang, menurut jenis fasilitas pengaturan lalu lintas dibagi menjadi 2 (dua), yaitu :

1. Simpang Bersinyal *(Signalised Intersection)* merupakan persimpangan yang pergerakan arus lalu lintas dari setiap pendekatnya diatur lampu sinyal untuk melewati persimpangan secara bergantian dengan waktu yang ditentukan.
2. Simpang Tak Bersinyal *(Unsignalised Intersection)* merupakan pertemuan jalan yang tidak menggunakan lampu sinyal pada pengaturannya. Biasa ini pada simpang yang volume lalu lintasnya kurang padat.

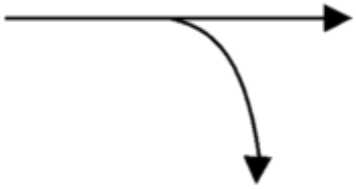
Sedangkan pada Persimpangan Tak Sebidang adalah pemisahan lalu lintas pada jalur yang berbeda sehingga persimpangan jalur dari kendaraan hanya terjadi pada tempat dimana kendaraan memisah atau bergabung menjadi satu lajur gerak yang sama, contohnya jalan layang. Pertemuan jalan

tak sebidang juga membutuhkan daerah yang luas serta penempatan dan tata letaknya sangat dipengaruhi oleh topografi.

Pergerakan arus lalu lintas pada persimpangan juga membentuk suatu manuver yang menyebabkan sering terjadi konflik dan tabrakan kendaraan. Pada dasarnya manuver dari kendaraan dapat dibagi atas 4 (empat) jenis, sebagai berikut :

1) Berpisah *(Diverging)*

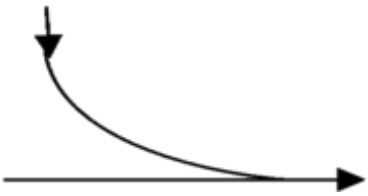
   Berpisah atau disebut juga sebagai *diverging*, terjadi ketika kondisi dua arus berpisah arah dari jalan utama.



Gambar 2. 1 Manuver Berpisah *(Diverging)*

2) Bergabung *(Merging)*

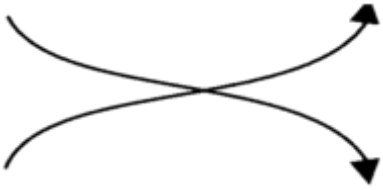
   Bergabung atau disebut juga *merging*, terjadi ketika kondisi dua arus bergabung menuju jalan utama.



Gambar 2. 2 Manuver Bergabung *(Merging)*

3) Bersilangan *(Weaving)*

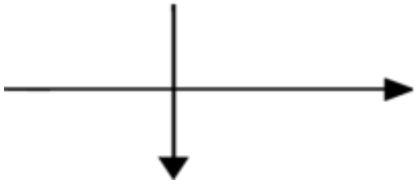
   Bersilangan atau disebut juga *weaving*, terjadi ketika kondisi dua arus bergabung menuju jalan utama.



Gambar 2. 3 Manuver Bergabung *(Weaving)*

4) Berpotongan *(Crossing)*

Berpotongan atau disebut juga *Crossing*, terjadi ketika kondisi dua arus berpotongan secara langsung.



Gambar 2. 4 Manuver Berpotongan *(Crossing)*

Sumber : Direktorat Bina Sistem Lalu Lintas dan Angkutan Kota, 1999, Hal.31

2.6.3 Kinerja Simpang

Kinerja simpang dapat ditentukan dengan tingkat pelayanan. Pada (Peraturan Menteri Perhubungan No.96 Tahun 2015), tingkat pelayanan dibagi atas beberapa tingkatan, yaitu A, B, C, D, E, dan F. Tingkat pelayanan A menandakan kondisi operasional yang paling baik dari suatu fasilitas, sedangkan tingkat pelayanan F menandakan kondisi operasional yang paling buruk.

Tabel 2. 5 Kriteria Tingkat Pelayanan Pada Simpang Bersinyal

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det./kend.)
A	≤ 5
B	5,1 – 15
C	15,1 – 25
D	25,1 – 40
E	40,1 – 60
F	> 60

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015

2.7 Simpang Bersinyal

Simpang Bersinyal merupakan persimpangan jalan yang pergerakan atau arus kendaraan yang melintas pada setiap lengan pendekatannya diatur oleh Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL). Kendaraan melintasi simpang bersinyal secara bergilir sesuai dengan waktu siklus yang di rencanakan pada setiap APILL.

Pengaturan simpang bersinyal termasuk yang paling efektif terutama untuk volume lalu lintas pada kaki-kaki simpang yang relatif tinggi. Pengaturan ini dapat mengurangi atau menghilangkan titik konflik pada simpang dengan memisahkan

pergerakan pergerakan arus lalu lintas pada waktu yang berbeda-beda. Adapun tujuan dari simpang bersinyal adalah :

- Mengurangi penundaan berlebihan pada rambu berhenti dan rambu pengendalian cepat.
- Mengurangi masalah yang timbul akibat tikungan jalan.
- Mengurangi tabrakan sudut dan sisi.
- Mengurangi kecelakan pejalan kaki.

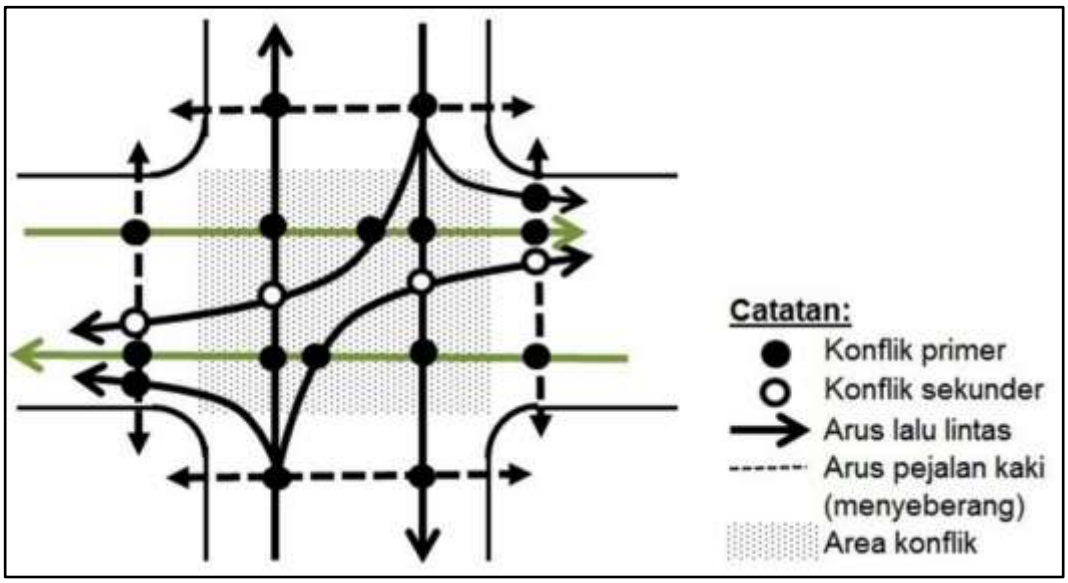
2.7.1 Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas

Lampu lalu lintas merupakan bagian sangat penting dalam pengaturan lalu lintas terutama pada persimpangan. Lampu lalu lintas merupakan alat yang digunakan untuk mengatur, mengarahkan atau memberikan peringatan bagi pejalan kaki dan pengemudi. Tujuan pemasangan lampu lalu lintas secara umum, yaitu :

- Mengurangi waktu tempuh rata-rata pada sebuah persimpangan
- Meningkatkan keamanan sistem secara keseluruhan
- Meningkatkan kapasitas
- Menyeimbangkan kualitas pelayanan di seluruh aliran lalu lintas.

Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) merupakan alat yang mengatur simpang dengan cara meminimalkan konflik, baik konflik primer maupun konflik sekunder dengan memisahkan waktu berjalannya arus. Konflik primer adalah konflik antara dua arus lalu lintas yang saling berpotongan, dan konflik sekunder adalah konflik yang terjadi dari arus lurus yang melawan atau arus membelok yang berpotongan dengan arus lurus atau pejalan kaki yang menyebarang.

APILL digunakan dengan tujuan mempertahankan kapasitas persimpangan pada jam puncak dan mengurangi resiko kecelakaan.

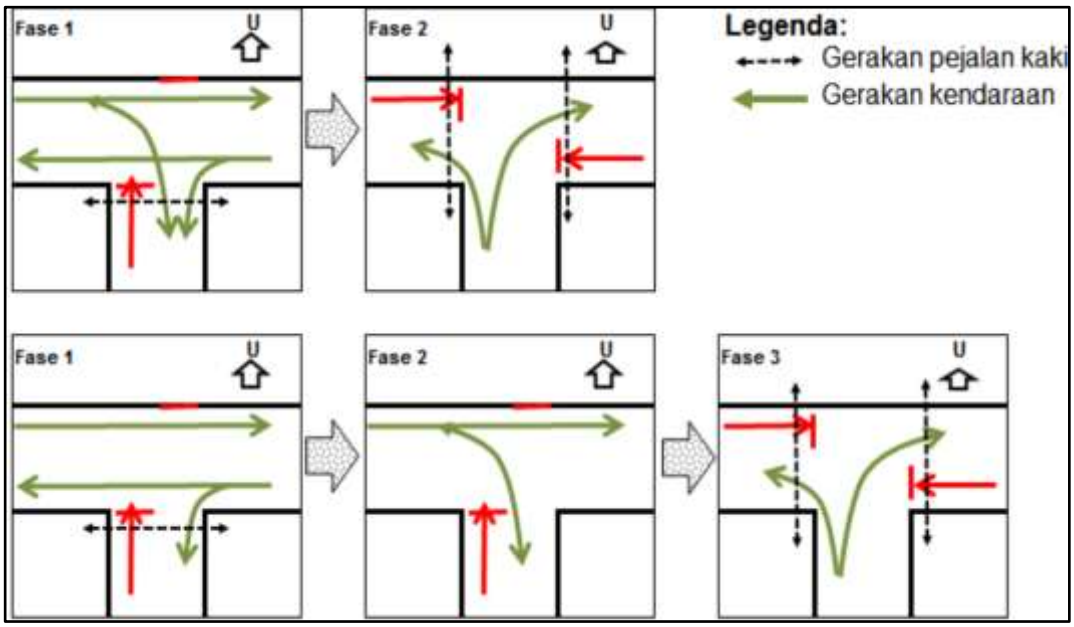


Gambar 2. 5 Konflik Primer dan Konflik Sekunder pada Simpang 4 lengan

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 102

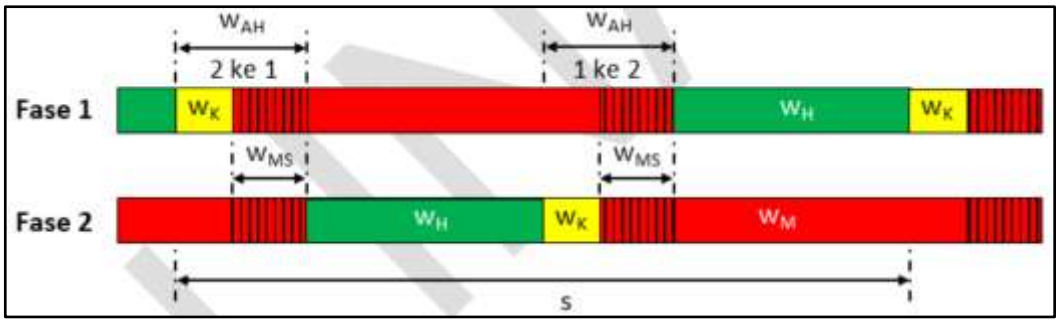
Lampu lalu lintas terdiri dari beberapa komponen sistem yaitu tampilan warna lampu yang disertai berbagai peralatan pendeteksi kendaraan yang diaktifkan sesuai dengan keperluan. Pada umumnya lampu lalu lintas mempunyai 3 (tiga) warna utama yang masing-masing berfungsi sebagai pemberi isyarat kepada pejalan kaki dan pengemudi.

1. Warna Merah : berfungsi untuk memberikan isyarat kepada pengemudi untuk berhenti atau melarang pergerakan.
2. Warna Kuning : berfungsi untuk memberikan peringatan agar berhati-hati.
3. Warna Hijau : berfungsi untuk memberikan hak jalan kepada pengguna jalan.



Gambar 2. 6 Tipikal Pengaturan fase APILL pada Simpang 3

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 273



Gambar 2. 7 Urutan waktu menyala isyarat pada pengaturan APILL 2 fase

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 103

2.7.2 Parameter Pengaturan Lampu Lalu Lintas

Parameter-parameter yang biasa digunakan dalam perencanaan lampu lalu lintas adalah sebagai berikut :

2.7.2.1 Waktu Antar Hijau

Waktu antar hijau adalah waktu yang diperlukan untuk pergantian antara waktu hijau pada suatu fase awal ke suatu fase berikutnya. Waktu antar hijau juga merupakan penjumlahan antara waktu kuning yang dalam desain umumnya diambil antara 3 (tiga) detik, dengan Waktu Merah Semua (W_{MS}) yang dalam desain umumnya diambil selama 2 (dua) detik.

Waktu Merah Semua (W_{MS}) ini dipergunakan untuk membersihkan *(Clearance Time)* daerah persimpangan sebelum pergerakan fase selanjutnya. Waktu Merah Semua per fase dipilih yang terbesar dari dua hitungan, yaitu kendaraan berangkat dan pejalan kaki. Hitung W_{MS} menggunakan persamaan 2.3.

$$W_{MS} = Max \begin{cases} \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}} \\ \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \end{cases} \quad \text{.....(2.3)}$$

Keterangan :

L_{KSR}, L_{KDT}, L_{PK} = Jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat, kendaraan yang datang, dan pejalan kaki (m).

P_{KSR} = Panjang kendaraan yang berangkat (m).

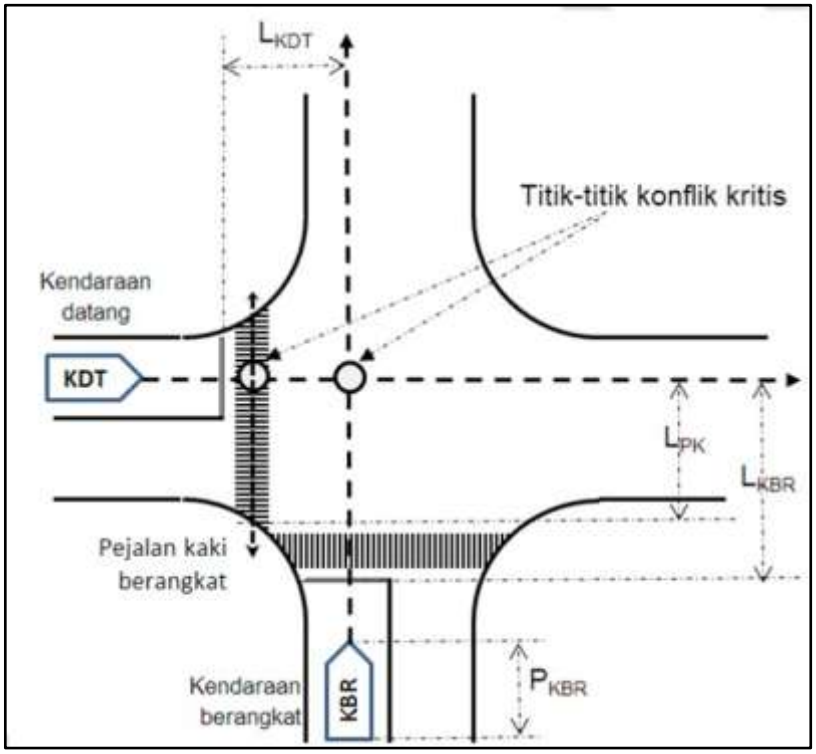
V_{KSR}, V_{KDT}, V_{PK} = Kecepatan untuk masing-masing kendaraan berangkat, kendaraan datang, dan pejalan kaki (m/det).

Nilai-nilai yang dipilih untuk V_{KDT}, V_{KSR}, dan P_{KSR} tergantung dari komposisi lalu lintas dan kondisi kecepatan di lokasi. Untuk Indonesia, nilai-nilai tersebut ditentukan sebagai berikut :

V_{KDT} = 10 m/det (kendaraan bermotor)

V_{KSR} = 10 m/det (kendaraan bermotor)
= 3 m/det (kendaraan tak bermotor)
= 1,2 m/det (pejalan kaki)

P_{KSR} = 5 m (MP atau KS)
= 2 m (SM atau KTB)



Gambar 2. 8 Titik konflik kritis dan jarak untuk keberangakatan dan kedatangan
Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 111

Apabila periode W_{MS} untuk masing-masing akhir fase telah ditetapkan, maka waktu hijau hilang total (W_{HH}) untuk simpang APILL untuk setiap siklus dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu-waktu antar hijau menggunakan persamaan 2.4.

$$W_{HH} = \sum(W_{MS} + W_K) \quad \text{..... (2.4)}$$

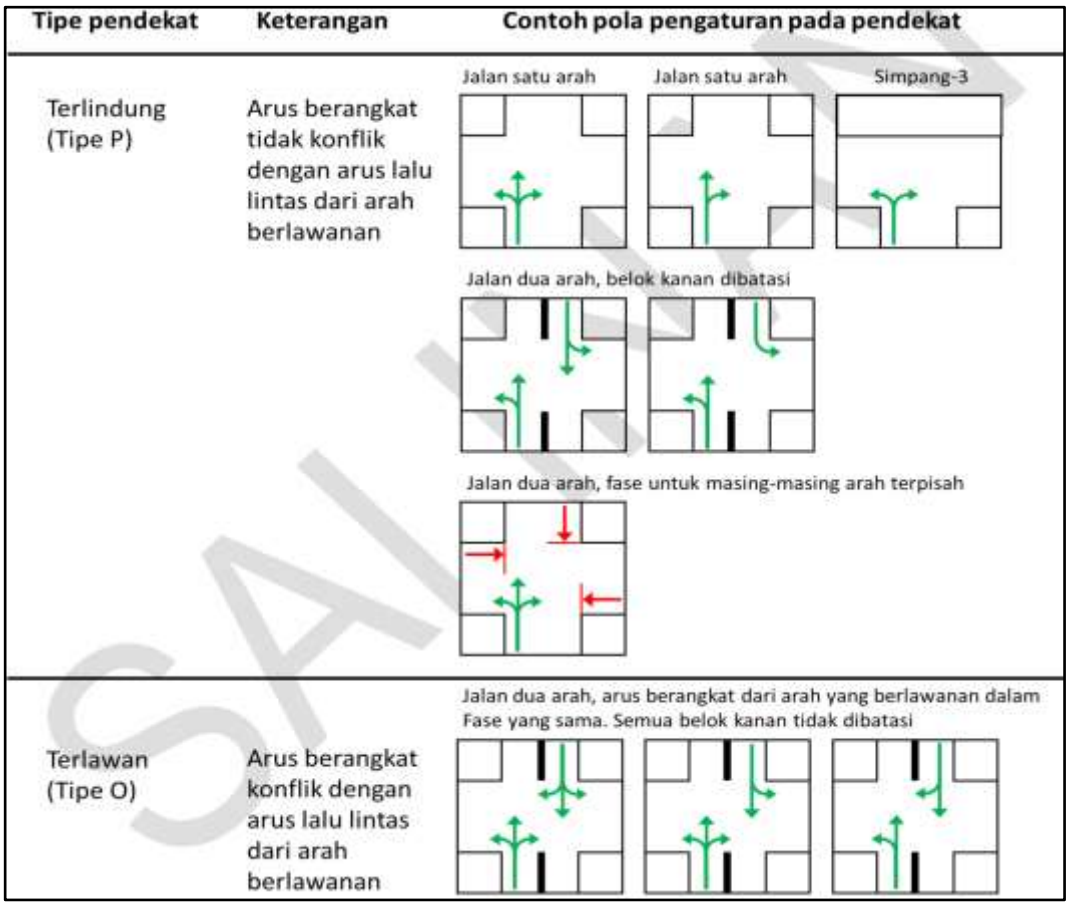
Keterangan :

W_{MS} = Waktu merah semua (detik)

W_K = Waktu kuning (detik)

2.8 Tipe Pendekat

Tipe pendekat arus lalu lintas yang berangkat pada fase yang berbeda harus dilakukan dengan analisis kapasitas yang terpisah. Hal ini berlaku juga pada perbedaan tipe pendekat. Dalam persimpangan terdapat 2 (dua) tipe pendekat, yaitu Tipe Pendekat Terlindung (P) dan Tipe Pendekat Terlawan (O). Pada gambar dibawah ini memberikan ilustrasi penentuan tipe pendekat.



Gambar 2. 9 Penentuan Tipe Pendekat

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 106

2.9 Lebar Pendekat Efektif (L_E)

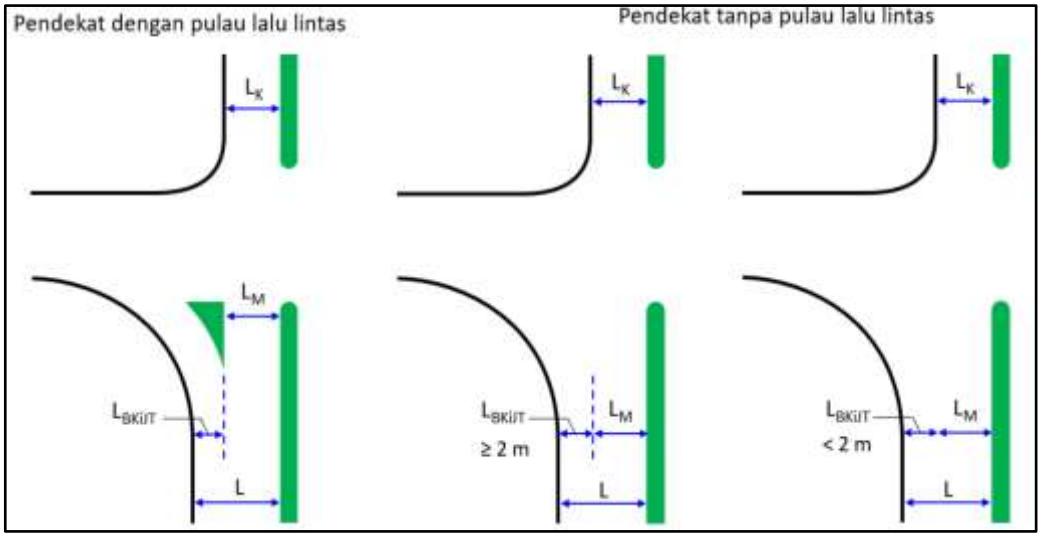
Menurut PKJI 2023, dalam penentuan untuk Lebar Pendekat Efektif (L_E) didasarkan pada beberapa parameter yaitu lebar ruas pendekatan awal (L), Lebar Masuk (L_M), dan Lebar Keluar (L_K).

Untuk menenetukan Lebar Masuk (L_M) terdapat beberapa kondisi :

a) Arus belok kiri untuk pendekat dengan pulau lalu lintas mempunyai lebar lajur tersendiri, sehingga Lebar Masuk (L_M) adalah lebar antara tepi pulau lalu lintas dengan median.

b) Arus belok kiri jalan terus untuk pendekat tanpa pulau lalu lintas bisa membentuk lajur sendiri atau bisa bergabung dengan arus lurus, tergantung dari ketersediaan ruang kendaraan yang berbelok kiri. Apabila L_{BkiJT} lebih dari 2 m maka arus belok kiri dapat membentuk antrian

sendiri, sehingga $L_M = L - L_{BkiJT}$. Tetapi jika L_{BkiJT} kurang dari 2 m maka arus belok kiri akan menyatu dengan arus lalu lintas yang lurus.



Gambar 2. 10 Lebar pendekat dengan dan tanpa pulau lalu lintas

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 107

2.10 Arus Jenuh (J)

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesi 2023, Arus jenuh adalah hasil perkalian antara Arus Jenuh Dasar (J_0) dengan faktor-faktor koreksi untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. J_0 adalah J pada kondisi arus lalu lintas dan geometri. Untuk menghitung arus jenuh digunakan persamaan 2.5.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{Bki} \times F_{Bka} \quad \text{..... (2.5)}$$

Keterangan :

F_{HS} = Faktor koreksi akibat hambatan samping lingkungan jalan

F_{UK} = Faktor koreksi ukuran kota

F_G = Faktor koreksi akibat kelandaian memanjang pendekat

F_P = Faktor koreksi akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama

2.10.1 Arus Jenuh Dasar (J_0)

1. Arus Jenuh Dasar (J_0) untuk pendekat terlindung (Tipe P) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

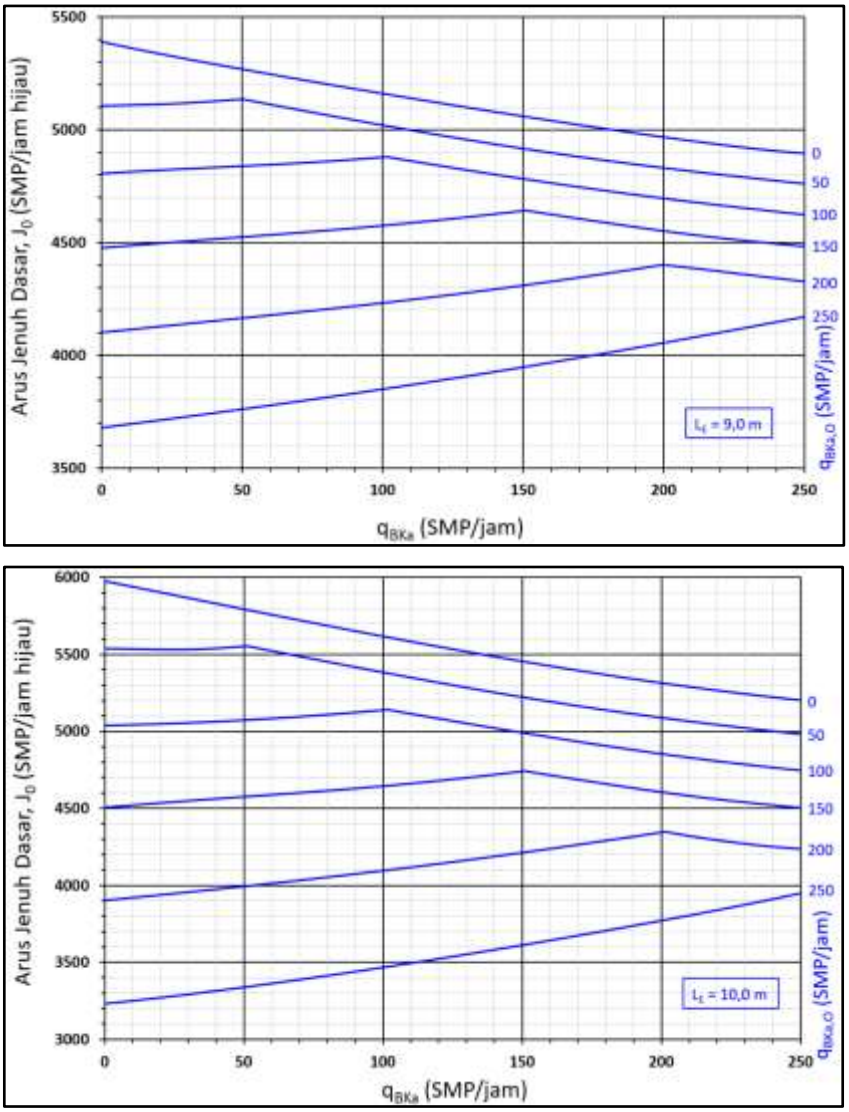
$$J_0 = 600 \times L_E \quad \text{..... (2.7)}$$

Keterangan :

J_0 = Arus jenuh dasar (SMP/jam)

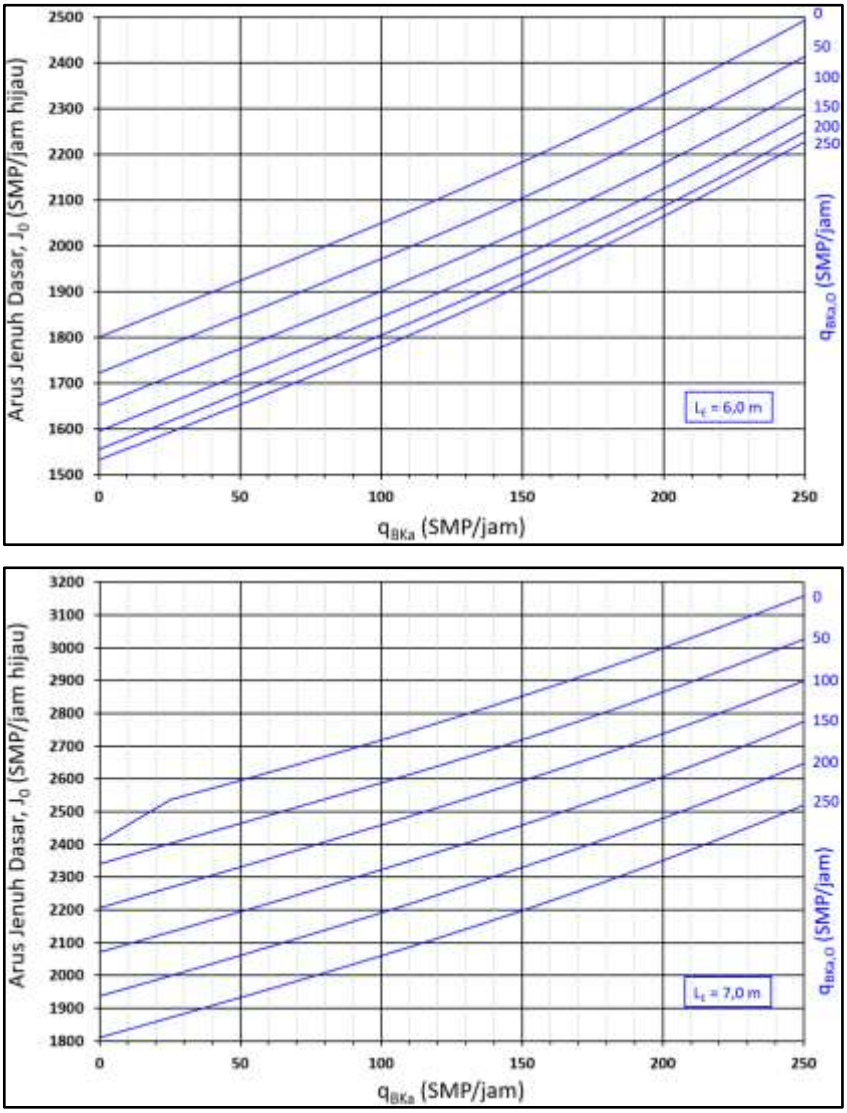
$L_{E`}$ = Lebar efektif pendekat (m)

2. Arus Jenuh Dasar (J_0) untuk pendekat terlawan (Tipe O) :
   - Tidak dilengkapi lajur belok kanan terpisah sebagai fungsi L_E, q_{Bka}, dan $q_{Bka,O}$.
   - Dilengkapi dengan lajur kanan terpisah sebagai fungsi L_E, q_{Bka}, dan $q_{BkaO.}$



Gambar 2. 11 Arus Jenuh Dasar (J_0) untuk pendekat Tak Terlindung (Tipe O) tanpa lajur belok kanan terpisah

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 260



Gambar 2. 12 Arus Jenuh Dasar (J_0) untuk pendekat Tak Terlindung (Tipe O) yang dilengkapi lajur belok kanan terpisah

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 261

2.11 Faktor Penyesuaian

Faktor-faktor penyesuaian untuk nilai Arus Jenuh Dasar (J_0) pada ke-2 (kedua) tipe pendekat P dan O adalah sebagai berikut :

1. **Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})**

   Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK}) dilihat berdasarkan populasi penduduknya. *(Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 133)*

   Nilai F_{UK} berdasarkan populasi penduduk dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 6 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Ukuran Kota	Populasi Penduduk, Juta Jiwa	F_{UK}
Sangat Kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat Besar	> 3,0	1,05

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 134

2. Faktor Koreksi Akibat Hambatan Samping (F_{HS})

Faktor Koreksi Akibat Hambatan Samping (F_{HS}) merupakan fungsi dari jenis lingkungan jalan, hambatan samping, dan rasio kendaraan tak bermotor. Jika hambatan samping tidak diketahui, maka anggap hambatan samping tinggi agar tidak menilai kapasitas terlalu besar.

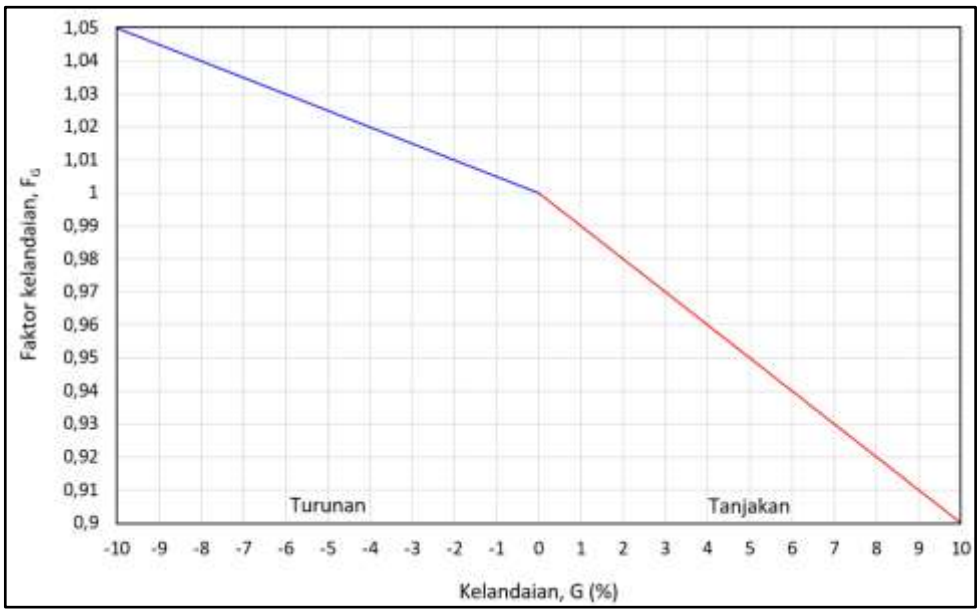
Tabel 2. 7 Faktor koreksi untuk tipe lingkungan, hambatan samping, dan kendaraan tak bermotor (F_{HS})

Tipe Lingkungan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥0,25
Komersial (KOM)	Tinggi	Terlawan	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
Permukiman (KIM)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	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 (AT)	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 : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 270

3. Faktor Koreksi Akibat Kelandaian Jalur Pendekat (F_G)

Faktor Koreksi Akibat Kelandaian Jalur Pendekat (F_G) berfungsi sebagai kelandaian (G), dan dapat ditentukan menggunakan gambar dibawah ini.



Gambar 2. 13 Faktor Koreksi Untuk Kelandaian (F_G)

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 265

4. **Faktor Koreksi Akibat Gangguan Kendaraan Parkir pada Jalur Pendekat (F_P)**

   Faktor Koreksi Akibat Gangguan Kendaraan Parkir pada Jalur Pendekat (F_P) berfungsi sebagai jarak dari garis henti sampai ke kendaraan yang diparkir pertama pada lajur pendekat. Faktor ini berlaku juga untuk kasus-kasus dengan panjang lajur belok kiri terbatas. Faktor ini tidak perlu diaplikasikan jika lebar efektif ditentukan oleh lebar keluar.

   F_P dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

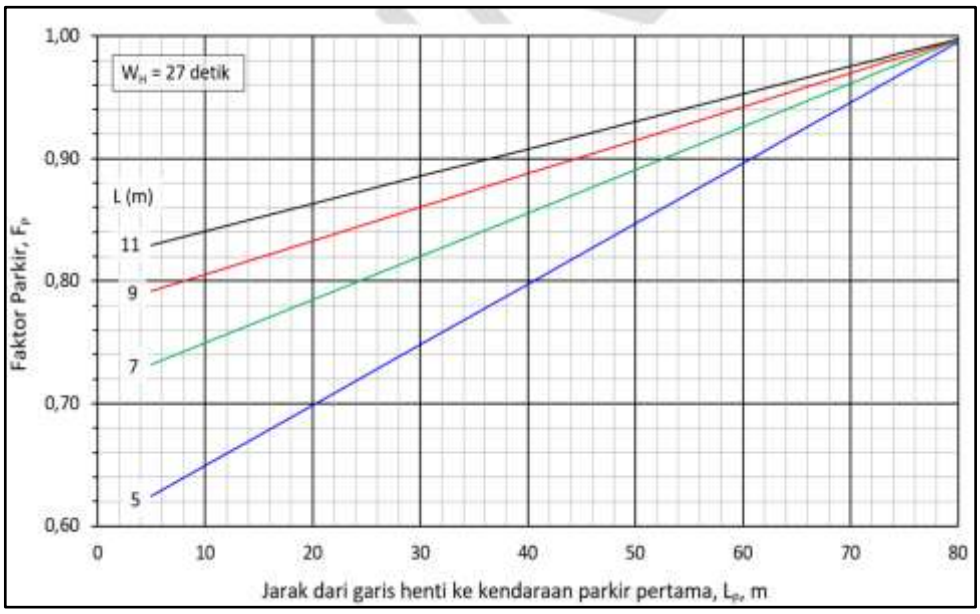
$$F_P = \frac{\left[\frac{L_P}{3} - \frac{(L-2)\times(\frac{L_P}{3} - W_H)}{L}\right]}{W_H} \quad \text{..... (2.8)}$$

   Keterangan :

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

   L = Lebar pendekat (m)

   W_H = Waktu hijau (detik)



Gambar 2. 14 Faktor Koreksi untuk Pengaruh Parkir (F_P)

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 265

5. **Faktor Koreksi Akibat Arus Lalu Lintas Belok Kiri (F_{Bki}) untuk Pendekat Tipe P**

   Faktor Koreksi Belok Kiri (F_{Bki}) ditentukan sebagai fungsi dari rasio belok kiri R_{Bki}. Perhitungan ini berlaku untuk pendekat tipe P tanpa B_{KiJT}, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk dan dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

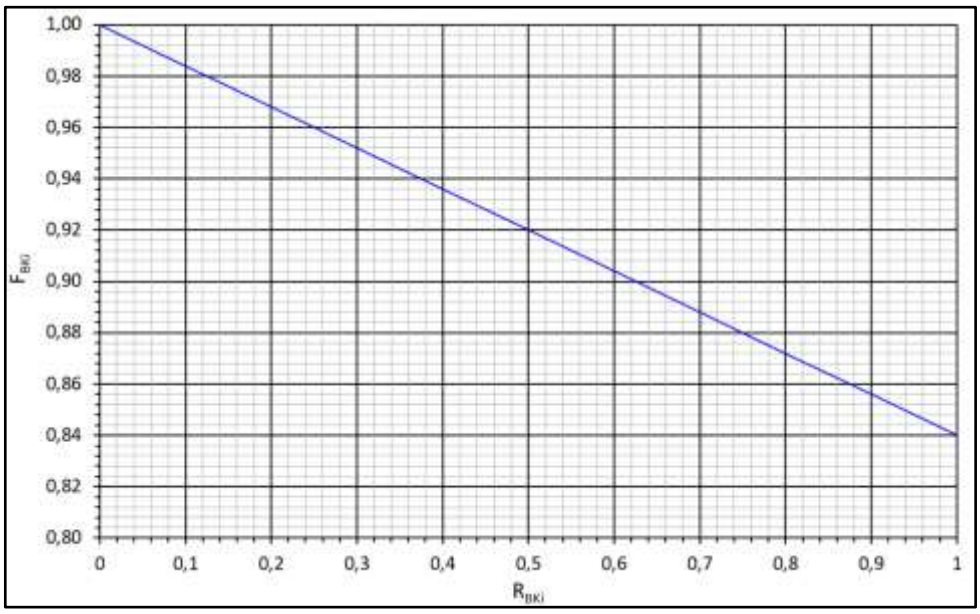
   $F_{BKi} = 1{,}00 + R_{BKi} \times 0{,}16$ ..... (2.9)

   Keterangan :

   F_{Bki} = Faktor koreksi belok kiri

   R_{Bki} = Rasio belok kiri

   Faktor Penyesuaian Belok Kiri juga dapat diperoleh nilainya menggunakan gambar dibawah ini.



Gambar 2. 15 Faktor Koreksi untuk Belok Kiri (F_{BKi}) untuk Pendekat Tipe P tanpa B_{KiJT}, dan L_E

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 266

6. **Faktor Koreksi Akibat Arus Lalu Lintas Belok Kanan (F_{Bka}) untuk Pendekat Tipe P**

   Faktor Koreksi Belok Kanan (F_{Bka}) berfungsi sebagai rasio kendaraan belok kanan R_{Bka}. Perhitungan ini berlaku untuk Pendekat Tipe P, tanpa median, tipe jalan dua arah, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. F_{Bka} dapat ditentukan menggunakan persamaan dibawah ini.

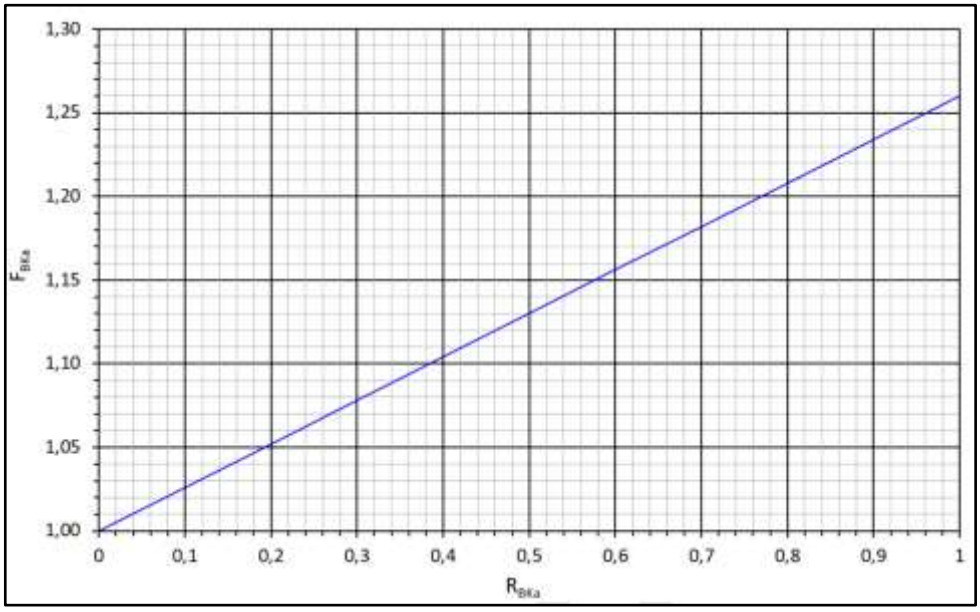
   $F_{BKa} = 1{,}00 + R_{BKa} \times 0{,}26$ ..... (2.10)

   Keterangan :

   F_{Bka} = Faktor koreksi belok kanan

   R_{Bka} = Rasio belok kanan

   Faktor Penyesuaian Belok Kanan juga dapat diperoleh nilainya menggunakan gambar dibawah ini.



Gambar 2. 16 Faktor Koreksi untuk Belok Kanan (F_{BKa}) untuk Pendekat Tipe P dengan jalan dua arah, dan L_E

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 266

2.12 Rasio Arus Terhadap Arus Jenuh ($R_{q/J}$)

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, dalam menganalisis rasio arus terhadap arus jenuh ($R_{q/J}$), perlu diperhatikan :

- Jika arus B_{KiJT} harus dipisahkan dari analisis, maka hanya arus lurus dan belok kanan yang dapat dihitung sebagai nilai q.
- Jika $L_E = L_K$, maka hanya arus lurus saja yang dapat dihitung dalam nilai q.
- Jika pendekat mempunyai 2 (dua) fase, yaitu Arus Terlawan (O) dan Arus Terlindung (P), maka arus gabungan dihitung dengan pembobotan seperti proses perhitungan arus jenuh.

  $R_{q/J}$ dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

  $R_{q/J} = \frac{q}{J}$ ..... (2.11)

2.13 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

2.13.1 Waktu Siklus (s)

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Penentuan Waktu Siklus (s) untuk sistem kendali tetap dapat dihitung mengguanakn

rumus *Webster* (1996). Rumus ini bertujuan untuk meminimumkan tundaan total.

$$s = \frac{(1{,}5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum R_{q/J\ kritis})} \quad \text{..... (2.12)}$$

Keterangan :

s = Waktu siklus (detik)

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

$R_{q/J}$ = Rasio arus (yaitu arus dibagi arus jenus, q/J)

Namun, jika nilai s terlalu besar maka akan menyebabkan meningkatnya tundaan rata-rata. Waktu Siklus yang besar terjadi jika nilai $\Sigma R_{q/J\ Kritis}$ mendekati satu, atau jika lebih dari satu, maka simpang tersebut akan melampaui jenuh dan rumus *Webster* (1996) akan menghasilkan nilai s tidak realistik karena sangat besar atau negatif.

Dapat dilihat Waktu Siklus (s) yang disarankan untuk tipe pengaturan fase yang berbeda.

Tabel 2. 8 Waktu Siklus (s) yang layak

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

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 269

2.13.2 Waktu Hijau (W_H)

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Pada umumnya pembagian waktu hijau pada kinerja suatu simpang bersinyal lebih peka terhadap kesalahan daripada panjangnya waktu siklus. W_H dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J\ kritis}}{\sum i (R_{q/J\ kritis})i} \quad \text{..... (2.13)}$$

Keterangan :

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

i = Indeks untuk fase ke i.

2.14 Kapasitas dan Derajat Kejenuhan

2.14.1 Kapasitas (C)

Kapasitas adalah jumlah maksimum arus kendaraan yang dapat melewati persimpangan jalan *(intersection)*. Untuk menghitung kapasitas masing-masing pendekat dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

$$C = \mathrm{J} \times \frac{\mathrm{W}_H}{\mathrm{s}} \quad \text{..... (2.14)}$$

Keterangan :

C = Kapasitas simpang APILL (SMP/jam)

J = Arus jenuh (SMP/jam)

W_H = Total waktu hijau (detik)

s = Waktu siklus (detik)

2.14.2 Derajat Kejenuhan (D_J)

Derajat Kejenuhan (D_J) diartikan sebagai rasio arus dimana D_J dihitung dengan membagi kapasitas segmen jalan dan volume lalu lintas. Berdasarkan PKJI 2023, D_J dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$D_J = \frac{\mathrm{q}}{\mathrm{C}} \quad \text{..... (2.15)}$$

Keterangan :

D_J = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas segmen jalan (SMP/jam)

q = Volume lalu lintas (SMP/jam)

2.15 Panjang Antrian (P_A)

Berdasarkan PKJI 2023, Hal. 114, Jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) pada awal isyarat lampu hijau (N_q) dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti (SMP) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) ditambah jumlah kendaraan (SMP) yang datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah (N_{q2}).

Panjang Antrian dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

Keterangan :

N_q = Jumlah rata-rata antrian pada awal sinyal hijau

N_{q1} = Jumlah SMP yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

N_{q2} = Jumlah SMP yang datang selama waktu merah

Dari nilai Derajat Kejenuhan dapat digunakan untuk menghitung jumlah antrian (N_{q1}) yang merupakan sisa dari fase terdahulu yang dihitung dengan persamaan berikut :

a) Untuk $D_J > 0,5$

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

Keterangan :

N_{q1} = Jumlah SMP yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

D_J = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas (SMP/jam)

b) Untuk $D_J \leq 0,5$

Jumlah antrian yang datang selama fase merah (N_{q2}), dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

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

Keterangan :

N_{q2} = Jumlah SMP yang datang selama fase merah

D_J = Derajat kejenuhan

R_H = Rasio hijau

s = Waktu siklus (detik)

Panjang Antrian (P_A) didapatkan dari perkalian N_q dengan luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang, yaitu 20 m^2, dibagi lebar masuk.

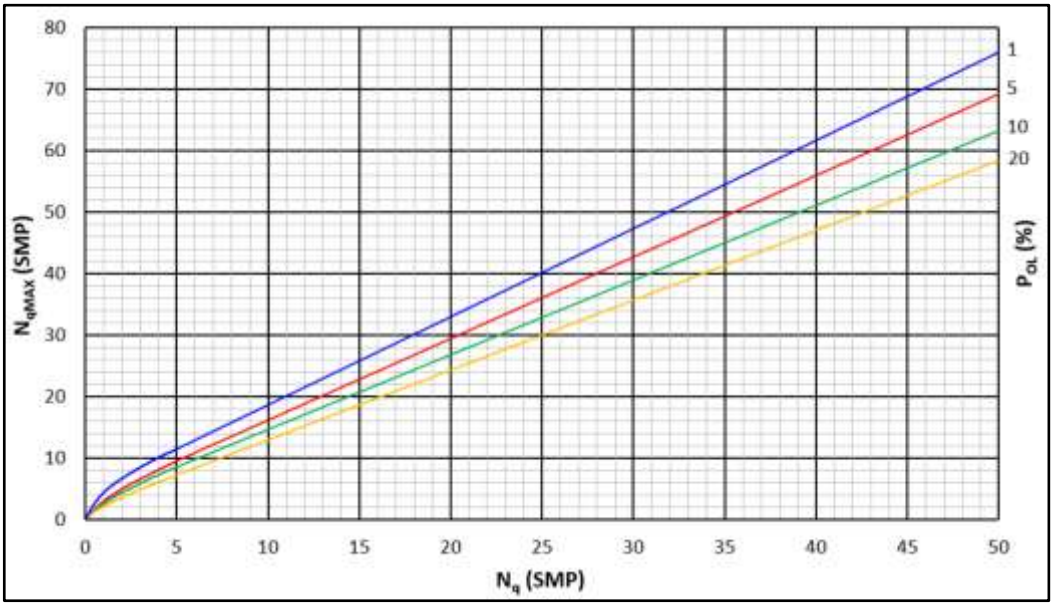
$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M} \quad \text{..... (2.19)}$$

Keterangan :

P_A = Panjang antrian

N_q = Jumlah antrian

L_M = Lebar jalur masuk



Gambar 2. 17 Jumlah Antrian Maksimum akibat Overloading

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 126

2.16 Rasio Kendaraan Terhenti (R_{KH})

Rasio Kendaraan Terhenti (R_{KH}) yaitu rasio kendaraan pada pendekat yang harus terhenti akibat isyarat merah sebelum melewati suatu simpang APILL terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat tersebut. (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023)

R_{KH} dapat dihitung menggunakans persamaan berikut :

$$R_{KH} = 0{,}9 \times \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \quad \text{..... (2.20)}$$

Keterangan :

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

s = Waktu siklus (detik)

q = Arus lalu lintas dari pendekat yang ditinjau (SMP/jam)

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

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \quad \text{..... (2.21)}$$

Keterangan :

q = Arus lalu lintas dari pendekat yang ditinjau (SMP/jam)

R_{KH} = Angka henti

2.17 Tundaan (T)

Berdasarkan PKJI 2023, Tundaan pada suatu simpang dapat terjadi karena 2 (dua) hal, yaitu :

1) Tundaan Lalu Lintas (T_{LL})
2) Tundaan Geometri (T_G)

Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat i dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi} \quad \text{..... (2.22)}$$

Keterangan :

T_i = Tundaan rata-rata (det/SMP)

T_{LLi} = Tundaan lalu lintas rata-rata (det/SMP)

T_{Gi} = Tundaan geometri rata-rata (det/SMP)

Tundaan Lalu Lintas (T_{LL}) rata-rata pada suatu pendekat i dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$T_{LL} = s \times \frac{0{,}5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_J)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{C} \quad \text{..... (2.23)}$$

Keterangan :

T_{LL} = Tundaan lalu lintas rata-rata (det/SMP)

s = Waktu siklus yang disesuaikan (detik)

D_J = Derajat kejenuhan

R_H = Rasio hijau (g/c)

N_{q1} = Jumlah SMP yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

C = Kapasitas (SMP/jam)

Tundaan Geometri (T_G) rata-rata pada suatu pendekat i dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad \text{..... (2.24)}$$

Keterangan :

T_{LL} = Tundaan geometri rata-rata (det/SMP)

R_{KH} = Rasio kendaraan terhenti

P_B = Rasio kendaraan membelok

2.18 Kelas Hambatan Samping (K_{HS})

Berdasarkan PKJI 2023, Dalam hal kualitas lalu lintas, Kelas Hambatan Samping (K_{HS}) ditentukan tinggi, sedang atau rendah. Hambatan lateral disebabkan oleh empat jenis kejadian yang masing-masing mempunyai dampak berbeda terhadap kinerja.

Tabel 2. 9 Pembobotan Hambatan Samping

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

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, Hal. 85

2.19 Tingkat Pelayanan Simpang

2.19.1 Tingkat Pelayanan Simpang Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015

Tingkat pelayanan simpang adalah ukuran yang menggambarkan kualitas operasional lalu lintas di suatu persimpangan, mencerminkan kenyamanan dan efisiensi pergerakan kendaraan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015, tingkat pelayanan pada simpang memiliki klasifikasi sebagai berikut :

a. Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan

1. Tingkat Pelayanan A

   Dengan kondisi tundaan kurang dari 5 detik perkendaraan.

2. Tingkat Pelayanan B

   Dengan kondisi tundaan lebih dari 5 detik sampai 15 detik perkendaraan.

3. Tingkat Pelayanan C

   Dengan kondisi tundaan lebih dari 15 detik sampai 25 detik perkendaraan.

4. Tingkat Pelayanan D

   Dengan kondisi tundaan lebih dari 25 detik sampai 40 detik perkendaraan.

5. Tingkat Pelayanan E

   Dengan kondisi tundaan lebih dari 40 detik sampai 60 detik perkendaraan.

6. Tingkat Pelayanan F

   Dengan kondisi tundaan lebih dari 60 detik perkendaraan.

Penjelasan diatas dapat dirangkum pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 10 Tingkat Pelayanan Simpang

Tingkat Pelayanan	Tundaan rata-rata (det./kend.)
A	≤ 5
B	> 5 – 15
C	> 15 – 25
D	> 25 – 40
E	> 40 – 60
F	≥ 60

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015

b. Penetapan Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan

- Tingkat pelayanan yang diinginkan pada ruas jalan pada sistem jaringan jalan primer sesuai fungsi, meliputi :
  1. Jalan arteri primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B
  2. Jalan kolektor primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B
  3. Jalan lokal primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C
  4. Jalan tol, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B
- Tingkat pelayanan yang diinginkan pada ruas jalan pada sistem jaringan jalan sekunder sesuai fungsinya, meliputi :
  1. Jalan arteri sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C
  2. Jalan kolektor sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C
  3. Jalan lokal sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya D

4. Jalan lingkungan, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya D

2.19.2 Tingkat Pelayanan Simpang Berdasarkan *Highway Manual Capacity (HCM)* 2000 untuk Sidra Intersection

Tingkat pelayanan simpang merupakan ukuran yang digunakan untuk menggambarkan kualitas operasional lalu lintas pada suatu persimpangan. Penilaian ini didasarkan pada tingkat tundaan rata-rata kendaraan *(control delay)* yang terjadi akibat pengaruh pengendalian lalu lintas.

a. Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan

1. Tingkat Pelayanan A
   Dengan kondisi tundaan kurang dari 10 detik perkendaraan.
2. Tingkat Pelayanan B
   Dengan kondisi tundaan lebih dari 10 detik sampai 20 detik perkendaraan.
3. Tingkat Pelayanan C
   Dengan kondisi tundaan lebih dari 20 detik sampai 35 detik perkendaraan.
4. Tingkat Pelayanan D
   Dengan kondisi tundaan lebih dari 35 detik sampai 55 detik perkendaraan.
5. Tingkat Pelayanan E
   Dengan kondisi tundaan lebih dari 55 detik sampai 80 detik perkendaraan.
6. Tingkat Pelayanan F
   Dengan kondisi tundaan lebih dari 80 detik perkendaraan.

Penjelasan diatas dapat dirangkum pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 11 Tingkat Pelayanan Simpang

Tingkat Pelayanan	Tundaan rata-rata (det./kend.)
A	≤ 10
B	> 10– 20
C	> 20 – 35
D	> 35 – 55
E	> 55 – 80
F	≥ 80

Sumber : Highway Capacity Manual 2000, Hal. 351

2.20 *Software* Sidra Intersection 8.0

Sidra yang merupakan singkatan dari *Signalised & Unsignalised Intersection Design and Reasearch Aid*, adalah *software* yang digunakan sebagai alat bantu dalam merancang dan mengevaluasi suatu persimpangan dan jaringan persimpangan. Sidra dikembangkan oleh Dr. Rahmi Akcelik & Associates Pty Ltd sejak tahun 1980-an di Australia.

Akcelik 1998, mengembangkan metode untuk menganalisis simpang bersinyal tunggal dengan menekankan pada pergerakan lalu lintas yang sering dikenal dengan *critival movement,* yang artinya pengaturan sinyal lampu lalu lintas didasarkan pada pergerakan kendaraan yang paling kritis.

Sidra Intersection menggunakan model analisis lalu lintas secara detail melalui analisis lajur per lajur *(lane-by-lane analyze)* yang merupakan suatu metode analisis kinerja dan memperhatikan masing-masing lajur dan digabungkan dengan metode perkiraan untuk memberikan perkiraan kapasitas dan tampilan kinerja lainnya. *(Frans dkk, 2018)*

Sidra merupakan alat analisis berbasis jalur yang canggih untuk merancang dan mengevaluasi persimpangan dan jaringan persimpangan. Prinsip operasinya berlandaskan teori arus lalu lintas. *Software* ini mengolah data masukan seperti, volume lalu lintas, komposisi kendaraan, dan geometri persimpangan, untuk menghasilkan hasil perkiraan performa, di antaranya waktu tundaan, kapasitas, dan tingkat pelayanan.

Data-data input yang diperlukan program Sidra adalah sebagai berikut :

- Jenis dan geometri persimpangan

  Data ini mencakup jumlah lengan simpang, jenis simpang, lebar pendekat serta ketersediaan median.
- Data pergerakan kendaraan arus lalu lintas *(Movement Description)*

  Data pergerakan lalu lintas meliputi pembagian arus kendaraan berdasarkan arah pergerakan pada masing-masing pendekat.
- Data volume lalu lintas

  Data ini merupakan data yang diambil pada periode jam puncak, dan diinput sesuai dengan kondisi di lapangan.
- Data geometri lajur

  Data ini mencakup jumlah lajur pada setiap pendekat.
- Tundaan

  Data ini meliputi urutan serta kombinasi pergerakan lalu lintas yang dilayani dalam satu siklus sinyal. Data ini juga mencakup hubungan konflik antar pergerakan,
- Waktu siklus

  Data ini meliputi waktu siklus *(cycle time)* yang mencakup waktu hijau, waktu kuning, dan waktu antar hijau *(all-red)*. Waktu siklus digunakan untuk menentukan kapasitas efektif simpang serta mempengaruhi tundaan dan panjang antrian.
- Tingkat pelayanan simpang

  Tingkat pelayanan simpang merupakan indikator yang digunakan untuk menentukan kinerja simpang berdasarkan besarnya tundaan yang dialami kendaraan, yang diklasifikasikan ke dalam tingkat A hingga F. untuk menunjukkan kondisi pelayanan dari sangat baik hingga sangat buruk.

Sidra dapat digunakan untuk :

- Memperoleh estimasi nilai kapasitas serta karakteristik kinerja persimpangan, yang mencakup parameter tundaan, panjang antrian, , serta tingkat konsumsi bahan bakar, dan biaya operasional kendaraan untuk berbagai tipe bentuk persimpangan.

- Melakukan proses analisis desain yang komprehensif terhadap suatu persimpangan.
- Mengakomodasi analisis untuk persimpangan dengan konfigurasi lebih dari 4-8 lengan persimpangan.
- Menganalisis dampak operasional yang ditimbulkan oleh keberadaan kendaraan berat pada kinerja simpang.
- Menganalisis permasalahan kompleks terkait jalur terbagi *(shared lanes)*, arus belok berlawanan *(opposing turns).*
- Menetapkan waktu sinyal yang optimal untuk setiap variasi geometri persimpangan, mulai dari konfigurasi yang sederhana hingga susunan fase yang kompleks.
- Menganalisis kondisi lalu lintas dengan tingkat kepadatan yang tinggi.

2.20.1 Model Sidra Intersection

SIDRA merupakan *software* analisis lalu lintas yang menerapkan pendekatan pemodelan mikroskopis. Perangkat lunak dirancang secara khusus untuk pemodelan, dan perencangan pada simpang. SIDRA mengaplikasikan suatu metodologi yang menggunakan pendekatan analitis terperinci berdasarkan sinyal individu, sehingga memungkinkan dilakukannya simpang bersinyal, bundaran, serta simpang yang diatur dengan rambu beri jalan dan berhenti *(stop and give-way signs).*

Kapabilitas perangkat lunak ini dalam menganlisis beragam konfigurasi geometri yang kompleks seperti, simpang yang lebih dari 4 (empat) lengan, fasilitas jalur khusus belokan, serta pengaruh aktivitas pejalan kaki dan proporsi kendaraan berat.

2.20.2 Kemampuan *Software* Sidra Intersection

Menurut *Akcelik & Associates (2021)*, Sidra menyediakan kemampuan visualisasi melalui tampilan geometri persimpangan yang komprehensif dalam bentuk 2D. Perangkat lunak ini memampukan pengguna untuk memvisualisasikan desain persimpangan secara jelas, mencakup penempatan jalur, dimensi lalu lintas dan fasilitas pejalan kaki. Selain itu, perangkat lunak ini menghasilkan grafik kinerja seperti

diagram aliran lalu lintas dan grafik waktu sinyal, dengan kemampuan untuk menampilkan hasil analisis secara visual melalui skema warna yang berbeda pada masing-masing pendekat untuk memudahkan interpretasi hasil evaluasi kinerja simpang.

2.20.3 Batasan Jangkauan *Software* Sidra Intersection

Sebagai perangkat lunak analitis yang bersifat spesialis, Sidra memiliki keterbatasan lingkup penerapan yang perlu diperhatikan.

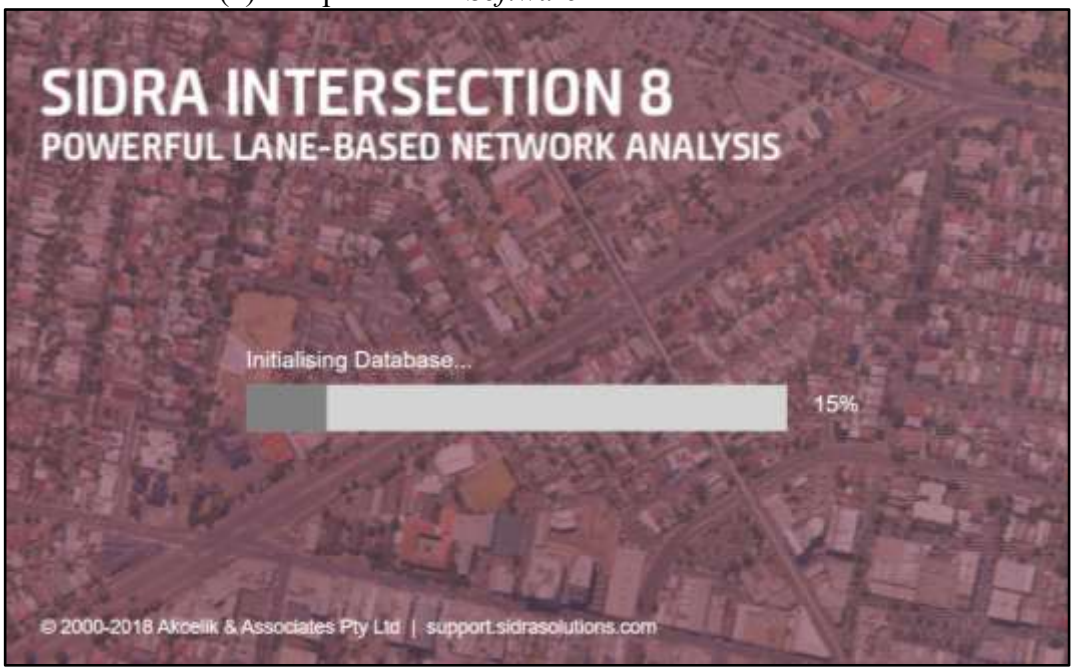
1) Dari perspektif cakupan analisis, Sidra dikembangkan khusus untuk mengevaluasi kinerja pada konteks simpang terisolasi *(isolated intersection)* atau jaringan kecil yang sederhana seperti 2-3 simpang yang terhubung secara berurutan. Sidra tidak dirancang untuk memodelkan jaringan jalan yang luas dan kompleks secara makroskopis, sehingga penerapannya pada kawasan dengan banyak simpang yang saling terkait menjadi terbatas.
2) Ditinjau dari metodologi pemodelan, Sidra menggunakan pendekatan analitis-agregat berbasis kinerja *(performance based)* yang menghasilkan output berupa nilai rata-rata seperti tundaan rata-rata dan antrian rata-rata. Berbeda dengan perangkat lunak simuasi mikroskopis, Sidra tidak mensimulasikan perilaku dinamis dan stokastik dari setiap kendaraan secara individual dalam ruang dan waktu. Keterbatasan metoldoogis ini berimplikasi pada ketidakmampuan perangkat lunak dalam merepresentasikan interaksi kendaraan yang komplek dan *real time*.
3) Meskipun memiliki kemampuan untuk mengakomodasi pengaruh pejalan kaki dan kendaraan berat, fokus utama Sidra tetap pada analisis arus kendaraan bermotor pada suatu simpang. Pemodelan untuk fasilitias non-motoris seperti jalur sepeda yang terintegrasi dan sistem transportasi umum seperti halte bus yang

memengaruhi arus lalu lintas secara signifikan, hanya dapat akomodasi tingkat detail yang terbatas.

2.20.4 Fitur-Fitur *Software* Sidra Intersection

Untuk memvisualisasikan kinerja simpang secara komprehensif, dilakukan pemodelan menggunakan *Software* Sidra Intersection. Berikut ini adalah fitur-fitur yang tersedia di *Software* Sidra Intersection :

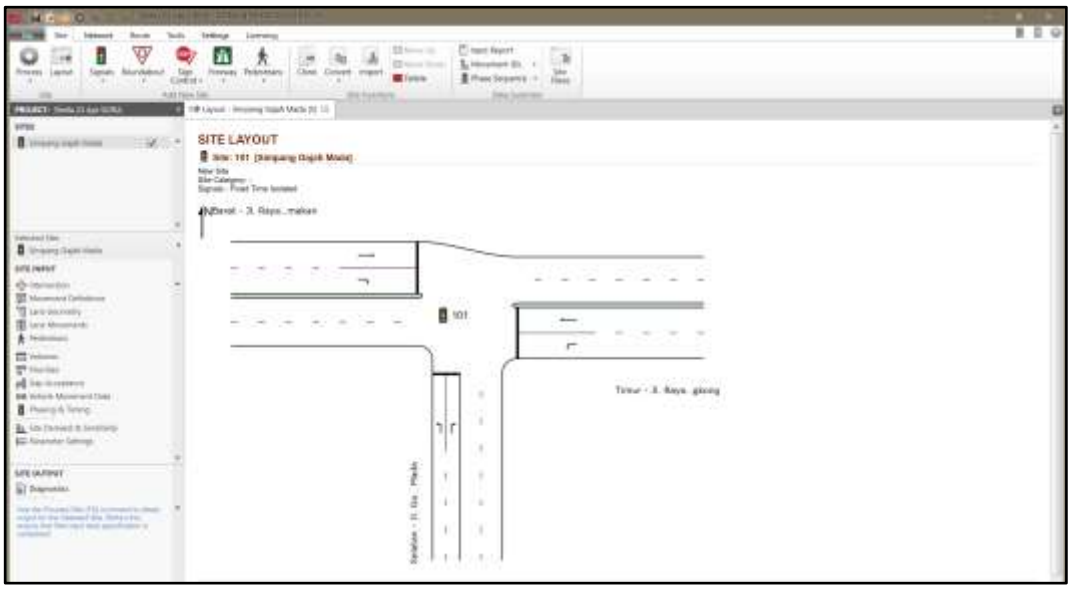
(1) Tampilan Awal *Software*



Gambar 2. 18 Tampilan Awal *Software* Sidra Intersection
Sumber : Dokumen Penyusun

(2) Layout *Software*

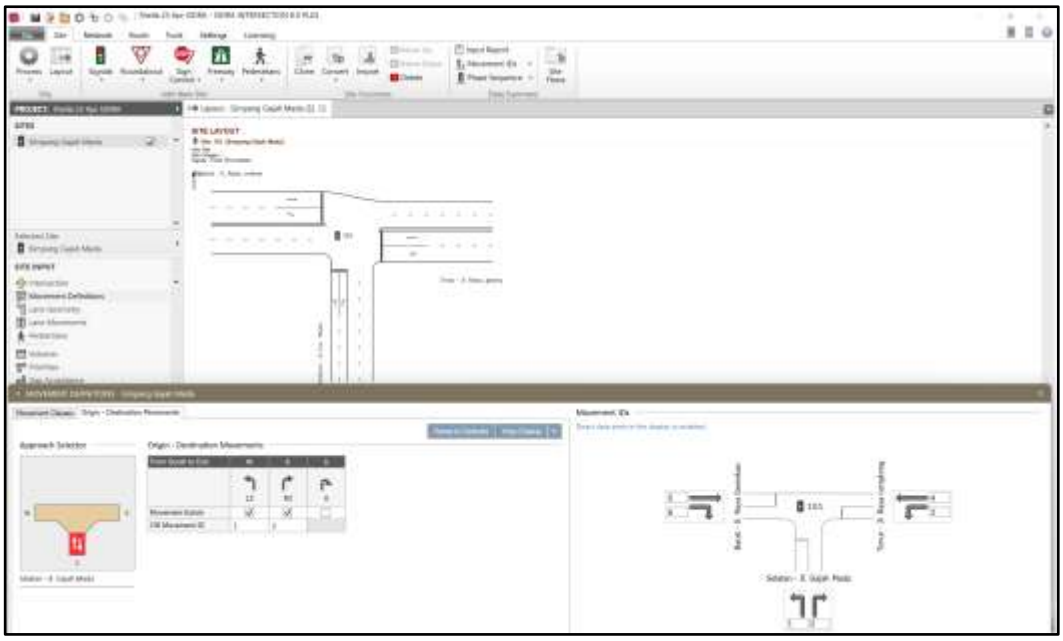
Pada gambar dibawah ini adalah suatu proses sistematis untuk memodelkan kondisi sebuah persimpangan. Proses ini bertujuan untuk menganalisis kinerja lalu lintas dengan memasukkan data geometri, data volume lalu lintas, dan pengaturan sinyal, sehingga dapat dihasilkan evaluasi serta rekomendasi perbaikan yang berbasis data.



Gambar 2. 19 Layout Simpang
Sumber : Dokumen Penyusun

(3) Pergerakan Kendaraan Arus Lalu Lintas

Pergerakan kendaraan arus lalu lintas merupakan representasi dari seluruh arus lalu lintas yang bergerak memasuki, bermanuver di dalam area, serta keluar dari persimpangan. Identifikasi setiap pergerakan dilakukan dengan menentukan asal *(Origin)* dan tujuan *(Destination)*.



Gambar 2. 20 Pergerakan Kendaraan Arus Lalu Lintas
Sumber : Dokumen Penyusun

(4) Input Volume Lalu Lintas

Proses penginputan data volume merupakan proses fundamental untuk mendefinisikan besaran arus lalu lintas yang melintasi suatu persimpangan dalam interval waktu tertentu. Data volume berfungsi sebagai variabel input primer yang menjadi landasan perhitungan kinerja simpang, seperti kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, dan panjang antrian.

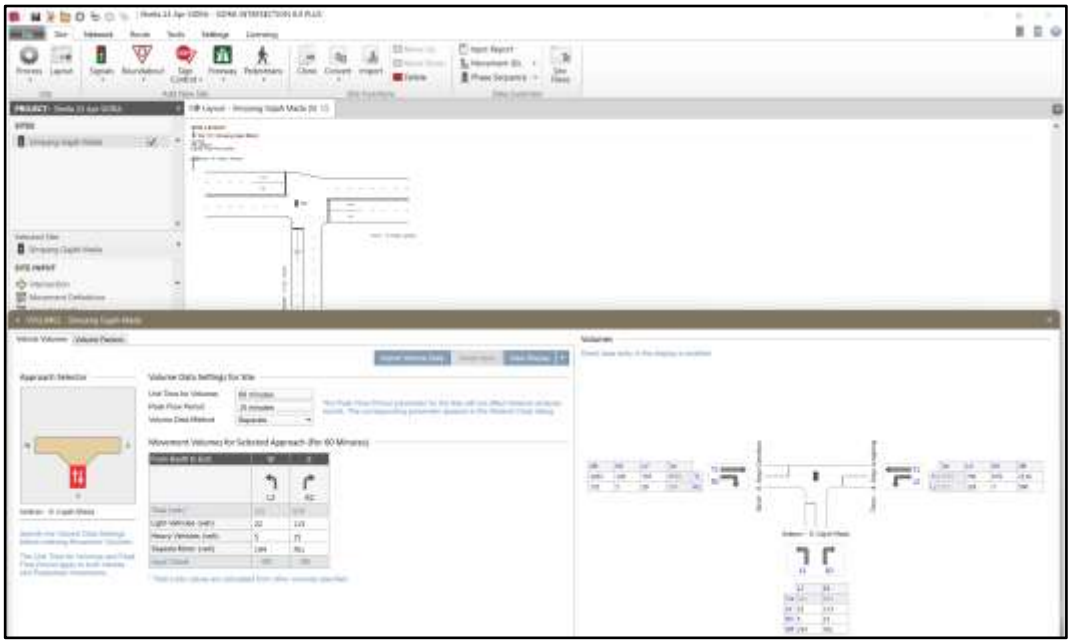
Adapun langkah-langkah dalam menginput data volume, sebagai berikut :

(a) Pemilihan pendekat

(b) Penginputan data volume pada setiap lengan

(c) Pemeriksaan dan verifikasi data

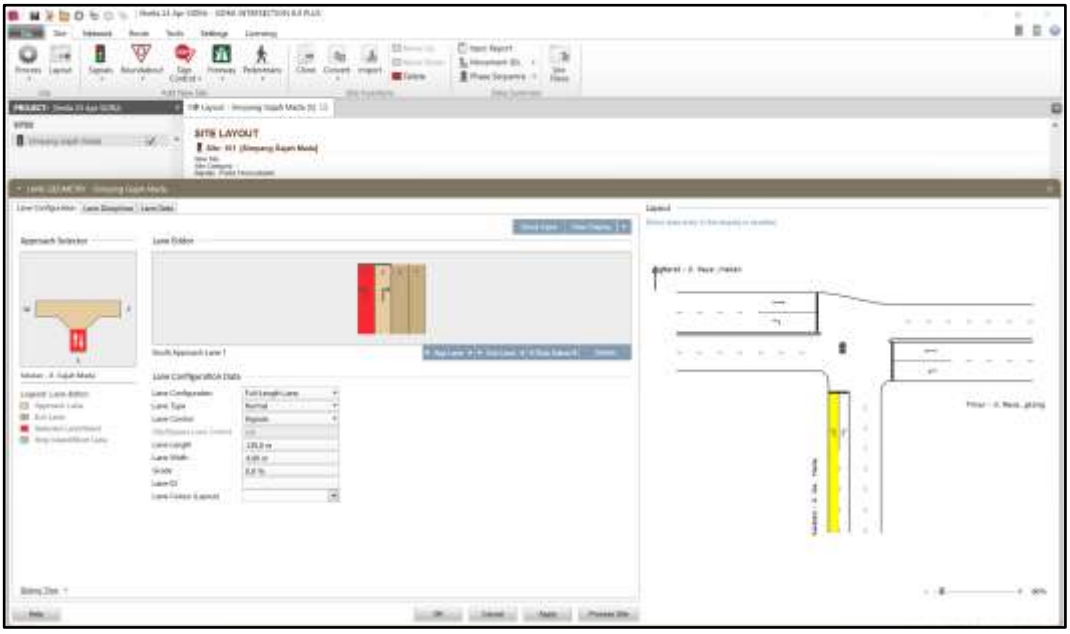
(d) Penyelesaian proses penginputan



Gambar 2. 21 Contoh Menginput Volume
Sumber : Dokumen Penyusun

(5) Geometri Lajur

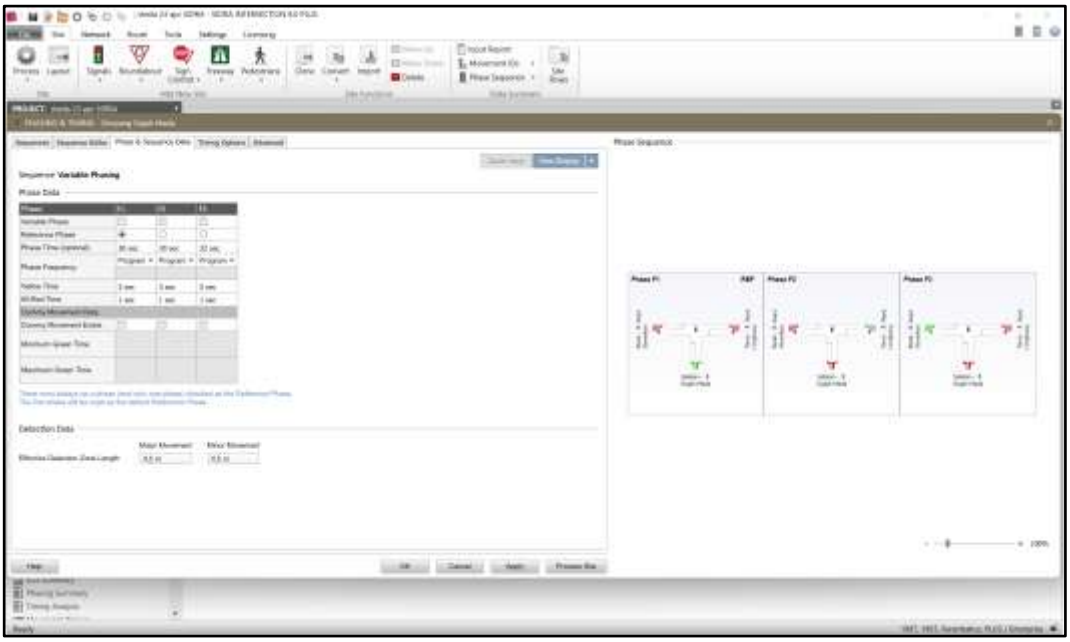
Geometri lajur ditentukan dengan memasukkan data kondisi fisik pendekat ke dalam *software*, yang meliputi jumlah lajur, lebar lajur, serta pembagian pergerakan kendaraan.



Gambar 2. 22 Data Kendaraan Arus Lalu Lintas
Sumber : Dokumen Penyusun

(6) Waktu Siklus

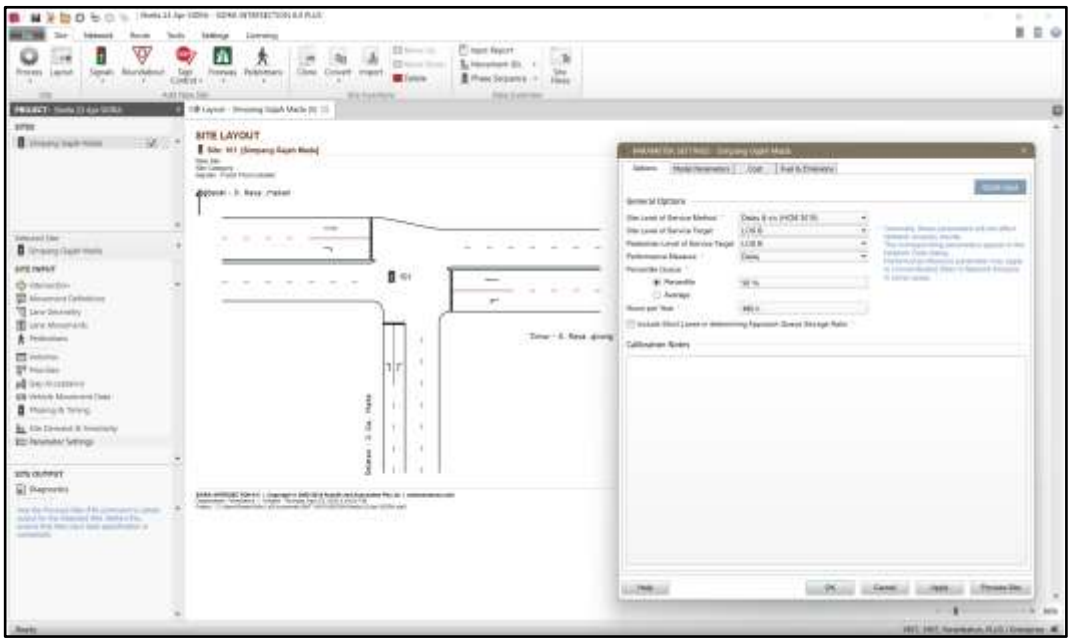
Waktu siklus ditentukan berdasarkan pengaturan fase sinyal yang mencakup waktu hijau, waktu kuningm dan *all-red*.



Gambar 2. 23 Waktu siklus
Sumber : Dokumen Penyusun

(7) Tingkat Pelayanan Simpang

Penentuan tingkat pelayanan simpang dilakukan dengan memasukan data input ke dalam *software*, kemudian di analisis untuk memperoleh nilai tundaan rata-rata kendaraan untuk menentukan tingkat pelayanannya.



Gambar 2. 24 Menentukan Tingkat Pelayanan
Sumber : Dokumen Penyusun

2.21 Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

Biaya Operasional Kendaraan (BOK) merupakan biaya total yang digunakan untuk pengoperasian kendaraan pada suatu kondisi lalu lintas dengan satuan Rupiah/Kilometer (Pd. T-15-2005-B). Biaya Operasional Kendaraan meliputi Konsumsi Bahan Bakar Minyak (KBBM), dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BiBBM). Dalam penelitian ini, Biaya Operasional Kendaraan yang dihitung yaitu mencakup biaya konsumsi bahan bakar.

Berikut adalah langkah-langkah untuk menghitung Biaya Operasional Kendaraan (BOK) :

(a) Konsumsi Bahan Bakar Minyak (KBBM)

Konsumsi Bahan Bakar Minyak (KBBM) 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 Jl. Gajah Mada – Jl. Raya Lengkong – Jl. Raya Gemekan pada penelitian ini yaitu menggunakan formulasi yang diajukan oleh (LAPI-ITB, dalam Sinambela, 2021) untuk menghitung konsumsi bahan bakar berdasarkan 3 (tiga) kondisi kendaraan :

- $F_1 = A + BV + CV^2$ ..... (2.25)
- $F_2 = EV^2$ ..... (2.26)
- $F_3 = D$ ..... (2.27)

Keterangan :

F1 = Konsumsi bahan bakar saat kecepatan konstan (liter/100 SMP-km)

F2 = Konsumsi bahan bakar saat akselerasi/deselerasi (liter/SMP)

F3 = Konsumsi bahan bakar saat idle (liter/SMP-jam)

Dimana :

A = 17 × 10-1

B = -455 × 10-3

C = 490 × 10-5

D = 140 × 10-2

Formulasi yang digunakan 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 kednaraan 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 pendekat. Untuk menghitung konsumsi bahan bakar dalam kondisi *idle* menggunakan persamaan dibawah ini.

$F = 140 \times 10^{-2} \times Q_i \times T$ .....(2.28)

Keterangan :

F = Konsumsi bahan bakar minyak (liter/jam)

140×10^{-2} = Konstanta saat kendaraan dalam keadaan *idle*

Q_i = Jumlah kendaraan jenis i (SMP/jam)

T = Tundaan (jam)

(b) Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BiBBM)

Berdasarkan Pd T-15-2005-B, Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BiBBM) dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$BiBBM_J = KBBM_i \times HBBM_j$ ..... (2.29)

Keterangan :

$BiBBM_J$ = Biaya konsumsi bahan bakar minyak jenis kendaraan i (rupiah/jam)

F = Konsumsi bahan bakar minyak jenis kendaraan i (liter/jam)

$HBMM_J$ = Harga bahan bakar jenis BBM_J (rupiah/liter)

i = Jenis kendaraan

j = Jenis bahan bakar minyak solar atau premium

2.21.1 Analisis Konsumsi Bahan Bakar

Dalam penelitian tentang konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang, menghitung konsumsi bahan bakar dengan menggunakan pendekatan formulasi diajukan oleh LAPI-ITB yang telah dikonversikan ke dalam Satuan Mobil Penumpang. *(Isnaeni, 2003* dalam *Sinambela et al., 2021)*

Konsumsi BBM untuk kendaraan dengan kondisi *idle* dihitung dengan rumus :

$F = 140 \times 10^{-2}$ (liter/SMP-jam) ..... (2.30)

$F = 140 \times 10^{-2}/3600$ (liter/SMP-det)

$F = 3{,}889 \times 10^{-4}$ (liter/SMP-det)

2.21.2 Hubungan Tundaan Dengan Biaya Kemacetan Simpang

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. *(Gito Sugiyanto, 2011)*

Biaya kemacetan adalah biaya perjalanan akibat tundaan lalu lintas maupun tambahan volume kendaraan yang mendekati atau melebihi kapasitas pelayanan jalan. *(Nash, 1997*, dalam *Cahyani, 2000)*

Dalam penelitian ini hubungan antara tundaan dengan biaya kemacetan simpang akan dianalisis menggunakan Metode Analisis Regresi Linear Sederhana.

2.21.3 Analisis Regresi Linear Sederhana

Analisis Regresi Linear Sederhana 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 3 (tiga) jenis regresi, salah satunya yaitu 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 (dua) variabel yaitu satu Variabel Independen (X) dan satu Variabel Dependen (Y).

Analisa regresi linear sederhana dihitung menggunakan persamaan :

$Y = a + bX$ ..... (2.31)

Keterangan :

Y = Variabel dependen/terikat/tidak bebas

X = Variabel independen/tidak terikat/bebas

a = Konstanta *(intercept)*

b = Koefisien regresi/kecondongan garis *(slope)*

Untuk mendapatkan nilai a dan b dapat digunakan persamaan berikut :

$$a = \frac{(\sum Y \sum X^2 - (\sum X (\sum XY))}{n\sum X^2 - \sum X^2} \quad \text{..... (2.32)}$$

$$b = \frac{n(\sum XY - (\sum X) - (\sum Y)}{n\sum X^2 - \sum X^2} \quad \text{..... (2.33)}$$

Dimana :

Y = Nilai variabel tidak bebas sesungguhnya

Y = Nilai estimasi variabel tidak bebas

X = Nilai variabel bebas

n = Jumlah data

(b) Langkah-Langkah Analisis Regresi

1) Menentukan Persamaan Regresi

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

Berikut untuk menghitung garis regresi dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$b = \frac{n(\sum XiYi - (\sum Xi)(\sum Yi)}{n\sum Xi^2 - \sum Xi^2} \quad \text{..... (2.34)}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \text{..... (2.35)}$$

Keterangan :

Y = Nilai variabel tidak bebas

X = Nilai variabel bebas

n = Jumlah data

$\bar{y}$ = Nilai rata-rata variabel tidak bebas

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata variabel bebas

2) Uji Nyata Regresi (Uji-F)

Uji Nyata Regresi (Uji-F) dilakukan dengan langkah-langkah :

- Formula hipotesis

  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)

- Taraf Signifikan (α)

  α digunakan untuk menentukan nilai $F_{tabel} = F_{\alpha;1;n-2}$

- Kriteria Pengujian :

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

  - F_{tabel}

Tabel 2. 12 Titik Persentasi Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)								
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241
2	18,51	19	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19.38
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8.81
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6.00
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4.77
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4.10
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3.68
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3.39
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3.18
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3.02
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80

Sumber : *https://junaidichaniago.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/04/tabel-f-0-05.pdf*

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

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

  $$JK_{reg}(a) = \frac{(\sum y)^2}{n} \quad \text{..... (2.36)}$$

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

  $$JK_{reg}(a) = b((\sum XY) - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}) \quad \text{..... (2.37)}$$

  (c) Menghitung jumlah kuadrat residu JK_{res}

  $$JK_{res} = \sum Y^2 - (JK_{reg\ a(a/b)} + JK_{reg\ (a)} \quad \text{...(2.38)}$$

  (d) Menghitung rata-rata jumlah kuadrat residu RJK_{res}

  $$RJK_{res} = \frac{JK_{res}}{n-2} \quad \text{..... (2.39)}$$

(e) F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{JK_{reg\ a\ (\frac{b}{a})}}{RJK_{res}} \quad \text{..... (2.40)}$$

- Pengambilan Kesimpulan, apakah model tepat atau tidak

3) Uji Parsial (Uji-t)

Langkah-langkah dalam melakukan uji parsial :

- Formula 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 Signifikan (α)

  α digunakan untuk menentukan nilai tabel = $t_0 = \frac{ta}{2}$; n-2

- Kriteria Pengujian

  H_0 ditolak jika $t_0 < \frac{ta}{2}$; n-2 atau $t_0 > \frac{ta}{2}$; n-2

- Uji Statistik

  Menghitung nilai koefisien korelasi

  Koefisien korelasi (r) berfungsi sebagai indikator untuk mengetahui bagaimana keterkaitan hubungan antarvariabel, baik antara variabel tidak bebas (Y) dengan setiap variabel bebas (X_1, X_2, X_3,…), maupun antarvariabel bebas itu sendiri (X_1 dengan X_2, X_1 dengan X_3, dst.)

  Nilai koefisien korelasi antara dua variabel berkisar antara 0 (nol) hingga 1 (satu). Apabila nilai r = 0, maka kedua variabel tersebut tidak menunjukkan adanya keterkaitan. Sedangkan jika nilai r = 1, maka kedua variabel tersebut memiliki keterkaitan yang mutlak.

  Untuk mengetahui kekuatan hubungan antara variabel X dan variabel Y, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 13 Interpolasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad \text{..... (2.41)}$$

menentukan $t_{hitung} = t0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ ..... (2.42)

Keterangan :

r = Nilai koefisien antara X dan Y

n = Jumlah data

- Pengambilan Keputusan

4) Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi digunakan untuk menentukan besarnya kontribusi variabel X dalam model regresi mampu menjelaskan variasi dari variabel Y.

Nilai koefisien determinasi yang kecil berarti kemampuan variabel independen (X) dalam menjelaskan variabel (Y) sangat terbatas, dan semakin tinggi nilai koefisien determinasi maka semakin baik model regresi yang diperoleh.

Langkah-langkah menghitung koefisien determinasi (R^2)

- Menghitung Jumlah Kuadrat xy (Jk_{xy})

$$JK_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)\sum y)}{n} \quad \text{..... (2.43)}$$

- Menghitung Jumlah Kuadrat x (JK_x)

$$\sum x^2 - \frac{(\sum x)}{n} \quad \text{..... (2.44)}$$

- Menghitung Jumlah Kuadrat y

$$\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \quad \text{..... (2.41)}$$

- Menghitung Koefisien Determinasi (R^2)

$$R^2 - \frac{JK_{xy}}{(JK_x)(JK_y)} \quad \text{..... (2.42)}$$

Dengan :

Nilai koefisien determinasi mempunyai rentang $0 \leq R^2 \leq 1$, biasanya diubah menjadi persentase.