

# TURNITIN (2).docx

*anonymous marking enabled*

---

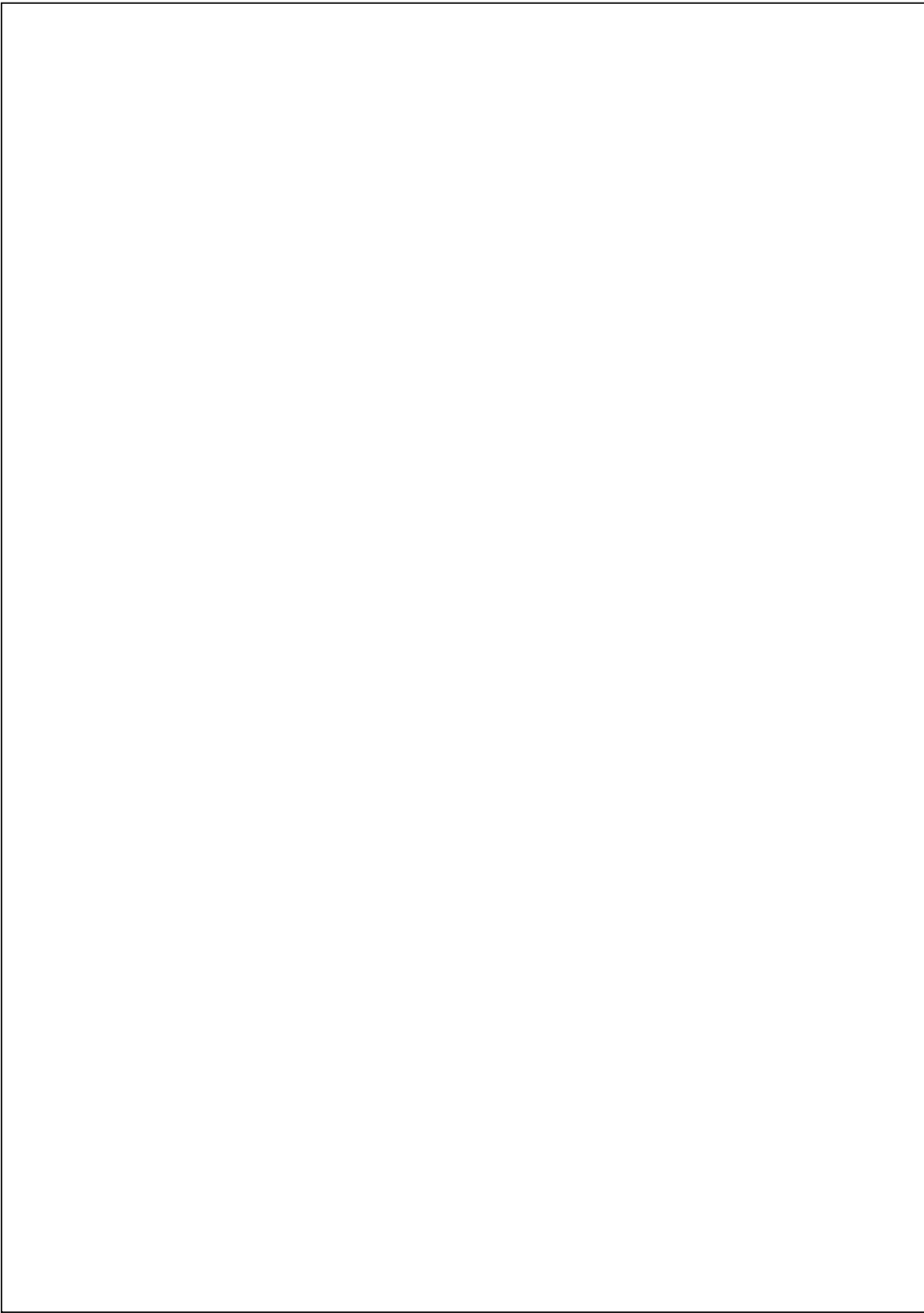
**Submission date:** 23-Jul-2025 09:38AM (UTC-0500)

**Submission ID:** 2719475959

**File name:** TURNITIN\_2\_.docx (4.75M)

**Word count:** 19552

**Character count:** 113452



**PENDAHULUAN****1.1 Latar Belakang**

Kota Malang dikenal karena alamnya serta iklim yang mendukung, sehingga hal ini menjadikannya salah satu destinasi wisata di Jawa Timur. Badan Pusat Statistik mencatat sebanyak 67.148 wisatawan mancanegara dan 3.089.759 orang wisatawan domestik berkunjung ke Kota Malang sepanjang tahun 2024. Kota ini juga merupakan kota pendidikan dimana banyak universitas ternama seperti Universitas Brawijaya dan Universitas Negeri Malang yang menjadi tujuan utama bagi calon mahasiswa dari berbagai penjuru Indonesia (Anindya Prihandita dkk., 2020). Tingginya jumlah pendatang berdampak langsung pada meningkatnya mobilitas dan aktivitas di berbagai sektor, khususnya di kawasan pendidikan dan kawasan wisata. Peningkatan mobilitas ini berkontribusi pada bertambahnya jumlah kendaraan yang digunakan sehingga memunculkan berbagai konflik lalu lintas seperti kemacetan (Damayanti dan Rachmatullah Putra, 2023). Salah satu titik konflik atau kemacetan sering terjadi pada persimpangan.

Persimpangan merupakan titik temu berbagai arus kendaraan yang berasal dari dua atau lebih ruas jalan (PKJI, 2023). Tipe pengaturan pada simpang dapat berupa meliputi simpang tanpa lampu lalu lintas (Non-Apill), simpang dengan lampu lalu lintas (Apill), bundaran, serta simpang tidak sebidang dimana kriteria pengaturan tersebut dilihat berdasarkan jumlah arus minor dan arus mayor (Haragdongan, 2019). Persimpangan berfungsi sebagai titik temu kendaraan dari dua atau lebih ruas jalan, dimana pergerakan kendaraan berlangsung secara bersamaan dan berpotensi menimbulkan konflik lalu lintas (Kustanrika, 2015). Persimpangan jalan merupakan area kritis dalam jaringan jalan dimana konflik lalu lintas pada simpang menyebabkan terjadinya kemacetan dan kecelakaan (Prasetyo dkk., 2023). Konflik pada persimpangan dapat diminimalkan dengan

pengaturan sinyal yang tepat, desain geometrik yang baik, serta penerapan manajemen lalu lintas yang efektif (Massang dkk., 2022).

Simpang 4 Gatot Subroto adalah salah satu persimpangan yang ada di Kota Malang dengan arus lalu lintas yang cukup tinggi karena menjadi salah satu jalur utama bagi kendaraan menuju luar kota Malang. Simpang ini adalah titik pertemuan antara Jalan Jenderal Sudirman di lengan utara, Jalan Untung Suropati Selatan pada lengan timur, Jalan Gatot Subroto di lengan selatan, serta jalan Trunojoyo di lengan barat. Persimpangan ini berada di bawah perlintasan kereta api dan dekat dengan jembatan Brantas. Berbagai jenis kendaraan melintasi persimpangan ini, termasuk kendaraan berat seperti truk dan bus terutama pada ruas jalan Jenderal Sudirman-Gatot Subroto yang merupakan jalan antar kota yang menghubungkan kota Malang dengan daerah di Kabupaten Malang. Selain itu, tata guna lahan di sekitar simpang ini juga turut mempengaruhi kepadatan lalu lintas. Terdapat sejumlah destinasi wisata populer seperti kampung warna-warni Jodipan dan bundaran Tugu yang menjadi daya tarik wisatawan, serta adanya stasiun Malang kota baru dimana simpang ini merupakan salah satu akses untuk menuju stasiun tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan Tim PKL Kota Malang 2025 menggunakan PKJI 2023 simpang ini memiliki derajat kejenuhan sebesar 1,17, yang menunjukkan bahwa volume kendaraan yang melintasi simpang melebihi kapasitas yang tersedia. Nilai peluang antrean maximum pada simpang ini sebesar 113,65 m dengan nilai tundaan simpang sebesar 18 detik. Selain itu, pengamatan di lapangan juga menunjukkan tingginya tingkat konflik antar kendaraan, khususnya antara kendaraan hendak belok kanan dari Jalan Trunojoyo menuju Jalan Gatot Subroto serta kendaraan belok kanan dari Jalan Jenderal Sudirman menuju Jalan Gatot Subroto. Konflik pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang mengakibatkan antrian yang cukup panjang terutama pada lengan selatan dimana kurang lebih mencapai 500 m atau sampai simpang Laksamana Martadinata. Panjangnya antrian ini tidak hanya mengganggu kelancaran lalu lintas, tetapi juga berpotensi membahayakan struktur Jembatan Brantas.

Menurut PUPR, 2015 tentang pedoman persyaratan umum perencanaan jembatan, jembatan dibangun untuk menyangga beban dinamis. Kemacetan yang kerap terjadi pada simpang ini mengakibatkan banyaknya kendaraan yang berhenti di tengah jembatan dalam waktu yang lama. Apabila terjadi antrian yang panjang pada jembatan dan dalam waktu yang lama maka akan berdampak pada semakin besarnya beban yang harus disangga oleh jembatan bahkan bisa saja melewati beban maksimal yang mampu disangga oleh jembatan sehingga akan berpotensi membuat jembatan cepat rusak dan membahayakan kendaraan yang diam di jembatan tersebut. Pengaturan panjang antrian yang ada pada jembatan menjadi hal yang penting untuk menjamin faktor keselamatan karena dapat menghindari potensi penumpukan kendaraan. Berdasarkan penelitian (Hartono dkk., 2021), menunjukkan bahwa rekayasa simpang menjadi simpang ber-apill mampu meningkatkan kinerja simpang sekaligus mengurangi tundaan lalu lintas yang terjadi pada badan jembatan dan mampu mengurai kemacetan pada simpang.

Selain dengan penambahan Apill pada simpang tidak bersinyal, salah satu opsi untuk meningkatkan kinerja lalu lintas pada persimpangan adalah dengan perancangan ulang desain simpang. Redesain ini dapat berupa perubahan geometri, penambahan pulau jalan seperti perancangan bundaran atau penataan melalui kanalisasi seperti penambahan pulau kanal untuk belok kiri langsung, pemisah lajur berdasarkan arah, atau penambahan pulau lalu lintas untuk memperjelas alur kendaraan sebagai solusi untuk mengurangi konflik lalu lintas dan meningkatkan efisiensi pergerakan kendaraan. Sejumlah penelitian mendukung pendekatan ini, seperti studi yang dilakukan oleh (Bangun dkk., 2024) perubahan geometri pada simpang seperti menambahkan jumlah lajur selebar 3 m, serta memasang pembatas portabel pada saat jam sibuk untuk mengalihkan arus lalu lintas dapat menjadi solusi untuk mengurai kemacetan, selain itu studi yang dilakukan oleh (Alala By Pass dkk., 2018) pemasangan median pada jalan untuk memisahkan arah pada jalur mampu meningkatkan kinerja lalu lintas pada simpang.

Permasalahan yang ada pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang dapat diatasi dengan menggunakan metode analisis yang tepat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Hidayat dkk., 2023), PKJI 2023 merupakan salah satu metode yang baik digunakan untuk menentukan waktu siklus dalam meningkatkan kinerja persimpangan. Selain menerapkan pengaturan Apill pada simpang 4 Gatot Subroto Malang maka diperlukan permodelan terkait penerapan tersebut. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Sulaeman dkk., 2023), vissim merupakan salah satu metode yang baik untuk digunakan dalam menentukan perencanaan yang paling efektif sehingga menghasilkan kinerja terbaik. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Ahmad dkk., 2023) penggunaan metode PKJI 2023 efektif digunakan untuk menganalisis perencanaan waktu siklus. Sementara itu, untuk mensimulasikan hasil perencanaan terkait panjang antrian dan tundaan serta untuk melihat konflik yang muncul setelah dilakukan perencanaan, metode yang efektif digunakan adalah menggunakan PTV Vissim. Maka sehubungan dengan masalah serta metode yang akan digunakan penulis menetapkan simpang ini menjadi kasus pengajuan kertas kerja wajib dengan judul “ Analisis Desain Rekayasa Simpang Bersinyal : Studi Kasus Simpang 4 Gatot Subroto Malang”

## 1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan permasalahan pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang.

1. Bagaimana kondisi eksisting Simpang 4 Gatot Subroto Malang ?
2. Bagaimana desain rekayasa yang dapat diterapkan sebagai upaya optimalisasi kinerja lalu lintas Simpang 4 Gatot Subroto Malang ?
3. Bagaimana kinerja hasil simulasi perubahan desain rekayasa Simpang 4 Gatot Subroto Malang?
4. Bagaimana layout desain rekayasa persimpangan di Simpang 4 Gatot Subroto Malang ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kondisi eksisting Simpang 4 Gatot Subroto Malang.
2. Mengetahui desain rekayasa yang sesuai untuk meningkatkan kinerja lalu lintas di Simpang 4 Gatot Subroto Malang.
3. Mengetahui kinerja setelah dilakukan perubahan desain rekayasa simpang Simpang 4 Gatot Subroto Malang.
4. Mengetahui layout desain rekayasa persimpangan di Simpang 4 Gatot Subroto Malang.

#### 1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari dilaksanakannya penelitian ini diantaranya :

1. Penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dimana penulis dapat mengembangkan ilmu pengetahuan yang didapat dalam pengoptimalan simpang tidak bersinyal.
2. Penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi warga setempat agar arus lalu lintas pada wilayah tersebut dapat berjalan dengan lebih baik dimana akan mendukung kelancaran aktivitas ekonomi pada kawasan Simpang 4 Gatot Subroto.
3. Penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pemerintah setempat dimana dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk menindak lanjuti mengenai rekayasa simpang yang digunakan untuk mengatasi permasalahan yang ada pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang

#### 1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dilaksanakan pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang dengan batasan untuk membatasi penelitian yang dilakukan, antara lain :

1. Lokasi penelitian adalah pada Simpang 4 Gatot Subroto kota Malang.
2. Data diperoleh dari hasil survei yang dilakukan pada hari kerja normal dan akhir pekan pada lokasi penelitian pada kondisi lalu lintas selama 24 jam.
3. Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 untuk menentukan waktu siklus yang optimal.
4. Vissim digunakan untuk mencari indikator kinerja berupa panjang antrian dan tundaan.

- 20
5. Indikator yang digunakan dalam validasi adalah dengan uji statistik Geoffrey E. Havers (GEH) serta yang digunakan untuk kalibrasi adalah *driving behavior*.

## BAB II

### GAMBARAN UMUM

#### 2.1 Kondisi Wilayah

Kota Malang merupakan salah satu kota di daerah Jawa Timur dengan luas wilayah 111.077 km<sup>2</sup> dan terdiri atas 5 kecamatan yaitu kecamatan Klojen, Lowokwaru, Kedungkandang, Sukun, dan Blimbing (Badan Pusat Statistik, 2024). Secara astronomis kota ini terletak pada 112.06<sup>0</sup> – 112.07<sup>0</sup> Bujur Timur, 7.06<sup>0</sup> – 8.02<sup>0</sup> Lintang Selatan. Kota ini merupakan salah satu bagian dari wilayah metropolitan atau biasa dikenal dengan sebutan “Malang Raya”, yang mencakup Kota Malang, Kabupaten Malang, dan Kota Batu (Sutikno, 2025). Sebagai kawasan metropolitan banyak aktivitas dilakukan di kota ini seperti kegiatan perekonomian, pariwisata, serta pendidikan. Kota ini memiliki pola jaringan jalan berbentuk grid, yang mencerminkan tingginya aksesibilitas serta banyaknya persimpangan dikarenakan jalan yang saling terhubung. Kondisi ini memberikan berbagai alternatif rute perjalanan, sehingga arus lalu lintas tersebar merata di seluruh kota. Pola jaringan jalan ini mengakibatkan persebaran lalu lintas yang merata kemudian terpusat pada Central Bussines District (CBD).

Kota Malang terdiri atas 12 jalan Nasional, 7 Jalan Provinsi, dan 256 Jalan Kota, dimana menurut fungsinya terdiri atas Arteri, Kolektor, dan Lokal. Jalan yang terdapat di Kota Malang secara keseluruhan dalam kondisi baik. Disamping itu, fasilitas perlengkapan jalan masih kurang memadai untuk beberapa ruas jalan, terutama yang jauh dari CBD. Moda transportasi darat yang terdapat di Kota Malang terdiri atas sepeda motor, mobil pribadi, bus, kereta dan sepeda, selain itu terdapat angkot yang merupakan angkutan umum massal yang mendukung mobilitas masyarakat.

Pergerakan lalu lintas di kota Malang menunjukkan variasi yang berbeda terutama pada jam sibuk pagi dan sore hari. Pada jam sibuk pagi berkisar antara pukul 06.00-08.00 terjadi peningkatan volume akibat aktivitas masyarakat yang tinggi seperti berangkat kerja dan sekolah, serta jam sibuk sore yang berkisar antara pukul 16.00-19.00, lonjakan arus lalu lintas terjadi akibat

aktivitas masyarakat pulang sekolah maupun kantor. Kondisi ini sering kali mengakibatkan terjadinya kemacetan terutama pada ruas jalan utama.

## 2.2 Kondisi Objek

Penelitian ini dilakukan pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang. Berikut merupakan visualisasi tampak atas dari simpang tersebut.



(Sumber : google earth)

**Gambar 1.** Tampak Atas Simpang 4 Gatot Subroto Malang



(Sumber : dokumentasi pribadi)

**Gambar 2.** Visualisasi Simpang

Kondisi wilayah kajian yaitu di Simpang 4 Gatot Subroto Malang dimana simpang dengan arus yang tinggi dan sering terjadi konflik pada tengah simpang yang mengakibatkan kemacetan sehingga mengakibatkan panjang antrian yang cukup panjang terutama pada lengan selatan. Dapat dilihat bahwa simpang ini memiliki 4 lengan kaki simpang dimana salah satu lengan, yaitu pada lengan selatan merupakan jembatan. Pada simpang ini terdapat

perlintasan tidak sebidang dengan tiang penyangga perlintasan konstruksi terletak pada tengah-tengah area simpang. Keberadaan tiang penyangga tersebut turut dimanfaatkan dimana pada lengan barat digunakan sebagai pembatas lajur belok kiri langsung. Adapun penjabaran dari tiap tiap pendekat adalah sebagai berikut.

#### 1. Pendekat Utara (Jalan Jenderal Sudirman)

Menurut Kementerian PUPR 1688/KPTS/M/2022 tentang penetapan ruas jalan menurut statusnya sebagai jalan nasional, jalan Jendral sudirman termasuk ke dalam jalan Arteri Primer.



(Sumber : dokumentasi pribadi)

**Gambar 3.** Visualisasi Pendekat Utara

Tata guna lahan di pada daerah ini merupakan daerah pemukiman . Hal ini terlihat dari daerahnya yang merupakan kawasan militer yaitu Kodam V/ Brawijaya menyebabkan banyak terdapat perumahan di daerah ini. Melihat dari tata guna lahan yang ada pada daerah tersebut maka ruas jalan jenderal sudirman memiliki tipe hambatan samping yang tergolong rendah. Dikarenakan merupakan jalan arteri primer serta merupakan salah satu akses keluar kota Malang, banyak kendaraan besar melintas di jalan ini. Tundaan kerap terjadi terhadap kendaraan masuk simpang yang hendak belok kanan menuju jalan trunojoyo.

#### 2. Pendekat Timur (Jalan Untung Suropati Selatan)

32  
Menurut keputusan Walikota Malang No 188.45/294/35.73.112/2023 tentang Penetapan Ruas-Ruas Jalan Berdasarkan Fungsinya, Jalan Untung Suropati Selatan termasuk ke dalam jalan Lokal Sekunder.



(Sumber : dokumentasi pribadi)

**Gambar 4.** Visualisasi Pendekat Timur

Tata guna lahan di pada daerah ini merupakan daerah pemukiman dan terdapat beberapa pedagang di sisi jalan. Hal ini terlihat dari daerahnya yang masih merupakan kawasan militer yaitu Kodam V/ Brawijaya menyebabkan banyak terdapat perumahan di daerah ini . Melihat dari tata guna lahan yang ada pada daerah tersebut maka ruas jalan Untung Suropati Selatan memiliki tipe hambatan samping yang tergolong sedang.

### 3. Pendekat Selatan (Jalan Gatot Subroto)

31  
Menurut Kementerian PUPR 1688/KPTS/M/2022 tentang penetapan ruas jalan menurut statusnya sebagai jalan nasional, jalan Gatot Subroto termasuk ke dalam jalan Arteri Primer.



(Sumber : dokumentasi pribadi)

**Gambar 5.** Visualisasi Pendekat Selatan

Tata guna lahan di pada daerah ini tergolong sebagai kawasan komersial. Hal ini terlihat dari daerahnya yang merupakan kawasan pasar besar serta banyaknya pertokoan dan pedagang yang berjualan di sisi jalan. Jalan ini adalah lengan selatan dari Simpang 4 Gatot Subroto Malang dimana merupakan jembatan brantas sehingga tidak terdapat hambatan samping di sekitarnya. Melihat dari tata guna lahan yang ada pada daerah tersebut maka ruas jalan Gatot Subroto yang merupakan pendekat simpang memiliki tipe hambatan samping yang tergolong rendah. Dikarenakan merupakan jalan arteri primer serta merupakan salah satu akses keluar kota Malang, banyak kendaraan besar melintas di jalan ini. Tundaan kerap terjadi terhadap kendaraan masuk simpang yang hendak lurus menuju jalan Jenderal Sudirman, dimana terhalang oleh kendaraan yang hendak belok kanan dari Jalan Trunojoyo dan Jalan Jenderal Sudirman.

#### 4. Pendekat Barat (Jalan Trunojoyo)

Menurut Keputusan Walikota Malang No 188.45/294/35.73.112/2023 tentang Penetapan Ruas-Ruas Jalan Berdasarkan Fungsinya, Jalan Trunojoyo termasuk ke dalam jalan Arteri Sekunder.



(Sumber : dokumentasi pribadi)

**Gambar 6.** Visualisasi Pendekat Barat

Tata guna lahan di pada daerah ini tergolong sebagai kawasan komersial. Hal ini terlihat dari banyaknya pertokoan yang ada di sepanjang jalan ini seperti kios dan warung makan di sekitarnya. Selain itu arus lalu lintas di pendekat simpang turut terganggu oleh kendaraan yang masuk dan keluar SPBU. Melihat dari tata guna lahan yang ada pada daerah tersebut maka ruas jalan Trunojoyo memiliki tipe hambatan samping yang tergolong tinggi.

## BAB III

### KAJIAN PUSTAKA

#### 3.1 Transportasi

Transportasi merupakan elemen penting dalam membangun suatu wilayah, dikarenakan sangat berperan dalam mendukung mobilitas manusia, barang, dan jasa. Menurut UU NO 22 Tahun, 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, transportasi adalah perpindahan orang dan/atau barang dari satu tempat ke tempat lain menggunakan kendaraan di ruang lalu lintas jalan. Transportasi merupakan bentuk interaksi antara manusia, barang, sarana, dan, prasarana yang saling terhubung untuk mendukung mobilitas orang maupun barang dari satu lokasi ke lokasi lain. Transportasi yang berjalan efisien dapat memperkuat konektivitas antar wilayah, dan mampu meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Transportasi terbagi atas tiga komponen yaitu transportasi darat, laut, dan udara. Keberadaan sistem transportasi yang beragam dapat meningkatkan aksesibilitas masyarakat serta mempercepat pertumbuhan wilayah. Namun demikian di sisi lain, perkembangan transportasi juga dapat menimbulkan berbagai tantangan seperti kemacetan, pencemaran udara, serta dampak lingkungan yang membutuhkan perhatian secara serius (Trihanah dkk., 2024).

#### 3.2 Kemacetan

Kemacetan merupakan kondisi dimana volume kendaraan yang melintas melebihi kapasitas jalan, sehingga mengakibatkan terhambatnya pergerakan kendaraan. Kemacetan lalu lintas kerap terjadi di kawasan yang padat penduduk dengan aktivitas ekonomi dan pemanfaatan lahan yang intensif. Hal ini disebabkan oleh tingginya jumlah kendaraan yang digunakan, terlebih penggunaan kendaraan pribadi yang dominan digunakan dibandingkan dengan kendaraan umum (Wangsa dkk., 2021). Banyak dampak yang ditimbulkan dari kemacetan diantaranya adalah dampak terhadap lingkungan yang mampu menyebabkan polusi udara, dampak

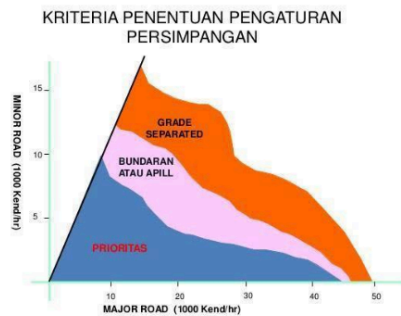
terhadap ekonomi yaitu penggunaan bahan bakar dan waktu, serta akan menimbulkan stres pengemudi (Rafsanjani Muarif dkk., 2018)

### 3.3 Persimpangan

Persimpangan merupakan simpul dalam jaringan transportasi yang terbentuk dari pertemuan dua atau lebih ruas jalan, dimana terjadinya perpotongan atau penggabungan arus lalu lintas (Indriyani, 2021). Persimpangan merupakan titik dimana terjadinya perubahan pergerakan pada kendaraan, dapat berupa persilangan, ataupun perpecahan sehingga konflik antara berbagai arus lalu lintas sering terjadi sehingga diperlukan desain yang sesuai untuk meningkatkan keselamatan dan kelancaran lalu lintas (Indriyani, 2021). Berdasarkan bentuk pengendaliannya persimpangan diklasifikasikan menjadi persimpangan sebidang yang dimana terdapat persimpangan yang diatur dengan Apill dan Non-Apill, serta persimpangan tidak sebidang yang terdiri atas *flyover*, dan *underpass*.

### 3.4 Penentuan Tipe Pengendalian Simpang

Tipe pengendalian simpang pada simpang tidak bersinyal dapat ditentukan berdasarkan grafik kriteria penentuan pengendalian persimpangan dimana ditinjau berdasarkan arus jalur mayor dan minor. Kriteria penentuan pengaturan persimpangan dapat dilihat melalui grafik berikut.



(Sumber : Australian Road Research Board)

Gambar 7. Kriteria Penentuan Pengaturan Persimpangan

Menurut grafik pengaturan persimpangan, terdapat hirarki pengaturan yang dimulai dari pengaturan simpang prioritas, bundaran atau Apill, dan persimpangan tidak sebidang untuk menangani volume tinggi atau persilangan antara jalan utama dengan rel kereta api (Haragdongan, 2019). Berikut penjelasan terkait hirarki pengendalian persimpangan berdasarkan volume lalu lintas.

1. Pengaturan simpang prioritas diperlukan apabila arus minor kurang dari 10.000 kend/hari dan arus mayor kurang dari 45.000 kend/hari
2. Pengaturan lalu lintas dengan bundaran atau Apill diperlukan apabila arus minor lebih dari 10.000 kend/hari dan kurang dari 12.000 kend/hari sedangkan arus mayor kurang dari 45.000 kend/hari.
3. Pengaturan simpang tidak sebidang diperlukan apabila arus minor lebih dari 12.000 kend/hari dan arus mayor lebih dari 47.000 kend/hari.

### 3.5 PKJI (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia)

PKJI merupakan panduan yang digunakan untuk menganalisis kapasitas dan kinerja lalu lintas di Indonesia. Pedoman ini digunakan sebagai dasar untuk menganalisis serta acuan teknis dalam melakukan perencanaan dan evaluasi kapasitas jalan Indonesia bagi penyelenggara lalu lintas (PKJI, 2023). Terdapat beberapa aspek yang dianalisis adalah sebagai berikut :

#### 3.5.1. Penentuan Tipe Fase Pada Simpang 4

Penentuan fase simpang ditinjau berdasarkan rasio arus belok kanan dari simpang tersebut. Pengaturan arus belok kanan yang terpisah diterapkan apabila arus tersebut melebihi 200 smp/jam. Pengaturan fase pada simpang 4 terdiri atas pengaturan 2 fase, 3 fase, dan 4 fase. Berikut tipe pengaturan fase pada simpang 4.



pada fase kedua di pendekat utara dan selatan, kemudian pada fase ketiga di lengan selatan terjadi pemutusan hijau lebih awal. Tipe ini untuk meningkatkan kapasitas belok kanan dari pendekat utara.

3. Tipe 43B

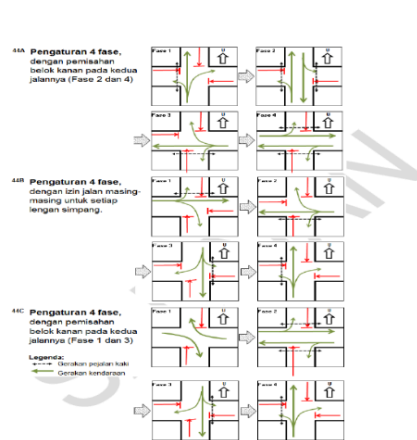
Tipe fase ini merupakan simpang dengan 4 lengan yang memiliki pengaturan 3 fase atau 3 kali pelepasan kendaraan dimana pada fase 1 lengan timur dan barat bergerak secara bersamaan, kemudian secara berturut turut pada fase 2 dan 3 terdapat pengaturan hijau sendiri-sendiri pada pendekat selatan dan utara. Tipe ini untuk meningkatkan kapasitas pendekat utara dan selatan.

4. Tipe 43C

Tipe fase ini merupakan simpang dengan 4 lengan yang memiliki pengaturan 3 fase atau 3 kali pelepasan kendaraan dimana pada fase 1 lengan timur dan barat bergerak secara bersamaan, pada fase 2 lengan utara memulai hijau lebih awal kemudian pada fase 3 lengan utara dan selatan bergerak bersamaan. Tipe ini untuk meningkatkan kapasitas belok kanan dari pendekat utara.

5. Tipe 43D

Tipe fase ini merupakan simpang dengan 4 lengan yang memiliki pengaturan 3 fase atau 3 kali pelepasan kendaraan. Fase pada simpang ini memisahkan belok kanan dari arah utara dan selatan. Pada fase 1 lengan timur dan barat bergerak bersamaan, pada fase 2 lengan utara dan selatan untuk kendaraan belok kanan, kemudian pada fase 3 lengan utara dan selatan untuk kendaraan lurus dan belok kiri.



(Sumber : PKJI, 2023)

Gambar 9. Pengaturan Apill Simpang 4 dengan 4 Fase

Tipe pengaturan Apill pada simpang 4 dengan 4 fase yaitu sebagai berikut.

1. Tipe 44A

Tipe fase ini merupakan simpang dengan 4 lengan yang memiliki pengaturan 4 fase atau 4 kali pelepasan kendaraan dengan pemisahan belok kanan pada kedua jalannya yang terdapat pada fase 2 dan 4.

2. Tipe 44B

Tipe fase ini merupakan simpang dengan 4 lengan yang memiliki pengaturan 4 fase atau 4 kali pelepasan kendaraan. Semua lengan dari simpang ini tergolong kedalam tipe terlindung dikarenakan pengaturan fasenya terpisah pada tiap lengan simpang atau setiap lengan memiliki izin jalan masing-masing.

3. Tipe 44C

Tipe fase ini merupakan simpang dengan 4 lengan yang memiliki pengaturan 4 fase atau 4 kali pelepasan kendaraan

dengan memisahkan belok kanan pada kedua jalannya yaitu pada fase 1 dan fase 3.

### 3.5.2. Analisis Simpang Apill

#### 1. Kapasitas Simpang Apill

Perhitungan kapasitas pada simpang Apill didasarkan pada jumlah waktu hijau dalam satu siklus dan waktu siklus pada simpang tersebut. Persamaan yang dapat digunakan dalam perhitungan kapasitas simpang Apill adalah sebagai berikut :

$$C = J \times \frac{W_H}{S} \quad (3.1)$$

Sumber : PKJI,2023

Keterangan :

C = kapasitas simpang Apill, dalam SMP/jam

J = arus jenuh, dalam SMP/jam

$W_H$  = total waktu hijau dalam satu siklus, dalam detik

S = waktu siklus, dalam detik

#### 2. Penentuan Arus Jenuh

$$\bar{J} = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKl} \times F_{BKk} \quad (3.2)$$

Sumber : PKJI,2023

$J_0$  = Arus jenuh dasar

$F_{HS}$  = Faktor penyesuaian hambatan samping

$F_{UK}$  = Faktor penyesuaian ukuran kota

$F_G$  = Faktor penyesuaian kelandaian

$F_P$  = Faktor penyesuaian akibat parkir

$F_{BKl}$  = Faktor penyesuaian belok kiri

$F_{BKk}$  = Faktor penyesuaian belok kanan

##### a. Arus Jenuh Dasar

###### 1) Tipe terlindung

$$\bar{J}_0 = 600 \times L_F \quad (3.3)$$

Sumber : Bina Marga ,2023

Keterangan :

$J_0$  = Arus jenuh dasar

$L_E$  = Lebar efektif pendekat

b. Faktor Penyesuaian Hambatan Samping

Faktor penyesuaian hambatan samping ( $F_{HS}$ ) disesuaikan dengan tipe lingkungan serta kelas hambatan samping dilihat melalui tabel berikut.

Tabel 3. 1 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping

Tipe Lingkungan	Hambatan Samping	Tipe Fase	F <sub>HS</sub> untuk nilai R <sub>KTB</sub>					
			0,00	0,05	1,0	0,15	0,20	≥ 0,25
Komersial	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	0,95	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	0,86	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	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

(Bina Marga, 2023)

c. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Faktor koreksi ukuran kota ( $F_{UK}$ ) merupakan salah satu variabel dalam perhitungan kinerja dimana didasari oleh jumlah penduduk dari kota tersebut. Berikut merupakan tabel faktor koreksi ukuran kota :

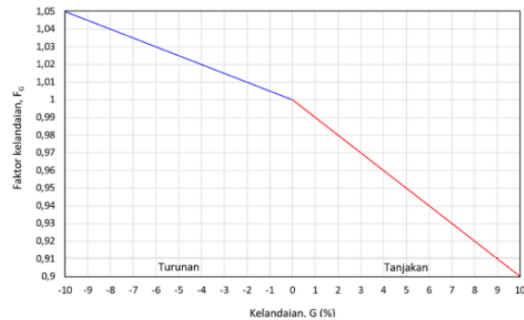
Tabel 3. 2 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Ukuran Kota	Populasi penduduk, juta jiwa	F <sub>UK</sub>
Sangat Kecil	<0,1	0,82
Kecil	0,1-0,5	0,88
Sedang	0,5-1,0	0,98
Besar	1,0-3,0	1,00
Sangat Besar	>3,0	1,05

(Bina Marga, 2023)

d. Faktor Koreksi Penyesuaian Kelandaian

Faktor koreksi kelandaian ( $F_G$ ) berpengaruh terhadap kinerja dari suatu persimpangan. Semakin besar kelandaian maka tundaan dan panjang antrian akan meningkat pada suatu simpang. Faktor penyesuaian kelandaian dapat dilihat melalui grafik berikut.



(Sumber: Bina Marga, 2023)

Gambar 10. Grafik Faktor Koreksi Kelandaian

e. Faktor Koreksi Jarak Parkir

Faktor penyesuaian untuk jarak parkir ( $F_p$ ) ditetapkan dengan mengacu pada jarak antara garis henti dengan lokasi kendaraan pertama yang parkir pada pendekat. Faktor koreksi jarak parkir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$F_p = \frac{\left[ \frac{L_p}{3} - \frac{(L-2) \times \left( \frac{L_p}{3} - W_H \right)}{L} \right]}{W_H} \quad (3.4)$$

(Bina Marga, 2023)

Keterangan :

$L_p$  = Jarak antara garis henti dengan posisi kendaraan pertama yang parkir pada jalur belok kiri atau panjang dan jalur belok kiri yang pendek, dalam meter.

L = Lebar pendekat, dalam meter

$W_H$  = Waktu hijau pada pendekat yang ditinjau (nilai normal 27 (detik)).

f. Faktor Koreksi Belok Kiri

Faktor koreksi belok kiri ( $F_{BKl}$ ) ditetapkan berdasarkan rasio belok kiri pada simpang. Perhitungan ini hanya diterapkan pada pendekat jenis terlindung (P) tanpa  $B_{KlT}$ , Kendaraan yang belok kiri cenderung memperlambat kecepatan sehingga mengurangi arus jenuh pada pendekat tersebut. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung  $F_{BKl}$  adalah sebagai berikut.

$$F_{BKl} = 1 - (R_{BKl} \times 0,16) \quad (3.5)$$

Sumber : Bina Marga,2023

Keterangan :

$R_{BKl}$  = rasio kendaraan belok kiri

g. Faktor Koreksi Belok Kanan

Faktor koreksi belok kiri ( $F_{BKk}$ ) dihitung berdasarkan rasio belok kanan pada simpang. Perhitungan ini hanya digunakan untuk tipe terlindung (P) pada jalan 2 arah tanpa median. Kendaraan yang melakukan manuver belok kanan umumnya mengambil jalur sepanjang garis tengah sebelum mencapai batas berhenti saat menyelesaikan belok yang mengakibatkan arus jenuh meningkat pada pendekat tersebut. Rumus yang dapat digunakan untuk menghitung  $F_{BKk}$  sebagai berikut.

$$F_{BKk} = 1 + (R_{BKk} \times 0,26) \quad (3.6)$$

Sumber : Bina Marga,2023

Keterangan :

$R_{BKk}$  = rasio kendaraan belok kanan

3. Arus Jenuh yang Disesuaikan

Arus jenuh yang disesuaikan digunakan apabila dalam suatu pendekat memiliki fase lebih dari satu, seperti *early cut off*

dan *early start*. Persamaan yang dapat digunakan untuk perhitungan arus jenuh yang disesuaikan adalah sebagai berikut :

$$J_{1+2} = \frac{J_1 \times WH_1 + J_2 \times WH_2}{WH_1 + WH_2} \quad (3.7)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

#### 4. Rasio Arus terhadap Arus Jenuh

Rasio arus masing-masing pendekatan dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut.

$$R_{q/j} = \frac{q}{j} \quad (3.8)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

Keterangan :

$R_{q/j}$  = rasio arus masing-masing pendekatan

$Q$  = arus lalu lintas (smp/jam)

$J$  = arus jenuh

#### 5. Waktu Isyarat Apill

##### a. Waktu Siklus

Waktu siklus merupakan waktu yang diperlukan oleh simpang untuk menjalankan semua fase pada pendekatan. Penentuan waktu siklus dapat menggunakan persamaan atau dengan tabel berikut.

$$s = \frac{(1,5 - W_{HH} + 5)}{(1 - \sum R_{q/j \text{ kritis}})} \quad (3.9)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

Keterangan :

$s$  = waktu siklus

$W_{HH}$  = waktu hijau hilang per siklus

$R_{q/j}$  = rasio arus

$R_{q/j \text{ kritis}}$  = rasio arus yang tertinggi dari semua pendekatan yang berangkat pada fase yang sama

$\sum R_{q/j \text{ kritis}}$  = rasio arus simpang

Tabel 3.3 Penentuan Waktu Siklus

Tipe Pengaturan	s yang layak (detik)
2 fase	40-80
3 fase	50-100
4 fase	80-130

(Bina Marga,2023)

b. Waktu Hijau

Waktu Hijau merupakan waktu pada fase hijau yang diperlukan pada tiap pendekatan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung waktu hijau pada simpang adalah sebagai berikut.

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/jkritis}}{\sum i(R_{q/jkritis})i} \quad (3.10)$$

Sumber : Bina Marga,2023

Keterangan :

s = Waktu siklus

$W_{HH}$  = Waktu hijau hilang per siklus

$R_{q/j}$  = Rasio arus

$R_{q/jkritis}$  = Rasio arus yang tertinggi dari semua pendekatan yang berangkat pada fase yang sama

$\sum R_{q/jkritis}$  = Rasio arus simpang

c. Waktu Merah Semua

Waktu merah semua digunakan untuk memastikan area pada simpang yang dikendalikan telah kosong pada akhir setiap fase. Untuk menentukan waktu merah semua, diperlukan data geometrik berupa jarak dari garis henti menuju titik konflik, baik untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang dari arah lain serta pejalan kaki dengan satuan meter.

$$W_{MS} = Max \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}} \\ \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \end{array} \right. \quad (3.11)$$

Sumber : Bina Marga,2023

Keterangan :

$W_{MS}$  = Waktu merah semua

$L_{KBR}$  = Jarak kendaraan berangkat

$P_{KBR}$  = Panjang kendaraan berangkat

$V_{KBR}$  = Kecepatan kendaraan berangkat

$L_{KDT}$  = Jarak kendaraan datang

$V_{KDT}$  = Kecepatan kendaraan datang

d. Waktu Hijau Hilang

Perhitungan waktu hijau hilang dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$W_{HH} = \sum i(wms + wk) \quad (3.12)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

Keterangan :

$W_{MS}$  = Waktu merah semua

$W_K$  = Waktu Kuning

e. Rasio Arus Simpang

Rasio arus simpang diperoleh dari perbandingan antara arus jenuh pada pendekatan simpang. Persamaan yang dipakai untuk menentukan rasio arus simpang adalah sebagai berikut.

$$R_{AS} = \sum i(R_{q/jkritis}) \quad (3.13)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

f. Rasio Fase

Rasio fase diperoleh dengan membandingkan rasio arus tertinggi dari semua pendekatan yang bergerak dalam fase yang sama pada satu simpang terhadap rasio arus keseluruhan simpang. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung rasio fase sebagai berikut.

$$RF = \frac{R_{q/jkritis}}{R_{AS}} \quad (3.14)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

6. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara arus lalu lintas dengan kapasitas pada setiap pendekatan. Apabila volume sudah mendekati kapasitas pada suatu pendekatan maka semakin

besar nilai derajat kejenuhan. Derajat kejenuhan diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$Dj = \frac{q}{c} \quad (3.15)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

Keterangan:

DJ = derajat kejenuhan.

C = kapasitas segmen jalan, (SMP/jam).

q = volume lalu lintas, dalam (SMP/jam)

#### 7. Panjang Antrean

Rata-rata jumlah kendaraan (smp) pada awal fase hijau (Nq) merupakan akumulasi dari sisa kendaraan yang tersisa pada fase hijau sebelumnya (Nq1) dan kendaraan yang datang serta berhenti dalam antrean selama fase merah (Nq2), sebagaimana diitung menggunakan persamaan berikut.

$$Nq = Nq1 + Nq2 \quad (3.16)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

Jika  $Dj \leq 0,5$  maka  $Nq1 = 0$

Jika  $Dj \geq 0,5$  maka menggunakan rumus berikut

$$Nq1 = 0,25 \times s \times ((Dj - 1) + \sqrt{(Dj - 1)^2 + \frac{8 \times (Dj - 0,5)}{s}}) \quad (3.17)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

$$Nq2 = s \times \frac{(1 - Rh)}{(1 - Rh \times Dj)} \times \frac{q}{3600} \quad (3.18)$$

Sumber : Bina Marga, 2023

Keterangan:

Nq1= jumlah smp yang tertinggi dari fase hijau sebelumnya

Nq2 = jumlah smp yang datang selama fase merah

DJ = derajat kejenuhan

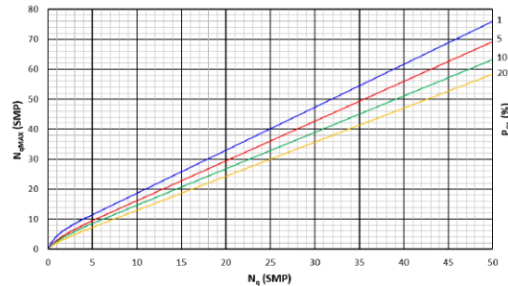
RH = rasio hijau

s = waktu siklus (det)

C = kapasitas (smp/jam)

q = arus lalu-lintas pada pendekat tersebut (smp/det)

Untuk menentukan jumlah kendaraan maksimum ( $N_q \text{ max}$ ) yang mengantre pada suatu pendekat dilihat berdasarkan grafik berikut.



(Sumber : Bina Marga ,2023)

**Gambar 11.** Jumlah Antrean Maksimum

Setelah mendapatkan nilai tersebut kemudian ditentukan nilai Panjang Antrean dimana didapat melalui persamaan berikut.

$$Pa = Nq \times \frac{20}{Lm} \quad (3.19)$$

Sumber : Bina Marga ,2023

Keterangan :

$Nq$  = Jumlah antrean kendaraan (smp)

$Lm$  = Lebar masuk (m)

### 3. 6 Penentuan Tingkat Pelayanan

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No 96 tahun 2015 tentang pedoman pelaksanaan kegiatan manajemen dan rekayasa lalu lintas, tingkat pelayanan pada simpang ditentukan oleh besarnya nilai tundaan pada simpang tersebut. Semakin tinggi nilai tundaan maka semakin buruk tingkat pelayanannya. Kategori tingkat pelayanan untuk simpang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 3. 4 Penentuan Tingkat Pelayanan

Indeks Tingkat Pelayanan (ITP)	Tundaan Per Kendaraan
A	< 5 detik/kend
B	5 – 15 detik/kend
C	15 – 25 detik/kend
D	25 – 40 detik/kend
E	40 – 60 detik/kend
F	> 60 detik/kend

(Peraturan Menteri Perhubungan No 96, 2015)

### 3. 7 Perangkat Lunak Vissim

#### 1. Pengertian Vissim

Vissim (Verkehr in Stadten Simulation Model) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi lalu lintas yang bersifat mikroskopis dimana perangkat ini digunakan untuk menggambarkan perencanaan arus lalu lintas dalam bentuk nyata (Rizqiah, 2021) Perangkat ini mampu menggambarkan arus lalu lintas dengan visual 3D. Parameter yang digunakan untuk membangun permodelan vissim diantaranya adalah :

- a. *Input background*
- b. *Link*
- c. *Vehicle input*
- d. *Vehicle type dan vehicle classes*
- e. *Vehicle route*
- f. *Vehicle competition*
- g. *Desired speed distribution*
- h. *Signal controller*
- i. *Driving behavior*
- j. *Configuration evaluation*
- k. *Node Result*
- l. *Data collection point*

#### 2. Kalibrasi Permodelan

Kalibrasi digunakan untuk menyesuaikan parameter pada permodelan agar hasil simulasi dapat mencerminkan kondisi lalu lintas di lapangan. Proses kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan driving

behavior atau perilaku pengemudi agar sesuai dengan kondisi nyata. Menurut (Rusmandani dan Yunita Senja Pratiwi, 2024) kalibrasi permodelan vissim menggunakan parameter sebagai berikut:

- 1) *Average standstill distance* merupakan jarak antar kendaraan secara berurutan saat berhenti atau saat menunggu di belakang kendaraan lain, seperti pada persimpangan.
- 2) *Additive part of safety distance* merupakan koefisien penambah jarak aman
- 3) *Multiplic part of safety distance*, merupakan koefisien pengali jarak aman saat kendaraan bergerombol.
- 4) *Desired position at free flow*, merupakan jalur jalan kendaraan pada kondisi arus bebas.
- 5) *Overtake on same lane*, merupakan perilaku pengemudi yang ingin menyiap pada lajur kanan maupun kiri.
- 6) *Distance standing*, merupakan jarak antara satu kendaraan dengan kendaraan lain saat dalam kondisi berhenti.
- 7) *Look ahead distance (maximum)*, merupakan jarak pandang maksimal pengemudi ke arah depan sebelum menyalip.
- 8) *Look back distance (maximum)*, merupakan jarak pandang maksimal pengemudi ke arah belakang sebelum menyalip.
- 9) *Num Interaction Object*, merupakan banyak kendaraan atau objek lain yang diperhitungkan oleh kendaraan untuk membuat keputusan seperti pengereman, menyalip, dan perubahan lajur.

**Tabel 3. 5** Parameter Kalibrasi

Parameter	Nilai	
	Sebelum	Sesudah
Following		
Look Ahead Distance (maximum)	250	225
Look Back Distance (maximum)	150	100
Car Following Model		
Average standstill distance	2	0,52
Additive part of safety distance	2	0,57 & 0,29
Lateral		

Parameter	Nilai	
	Sebelum	Sesudah
Desired position at free flow	Middle of line	Any
Overtake on same lane	Off	On right and left
Diamond shaped queuing	No	Yes
Distance standing	0,2	0,54 & 0,32
Distance driving	1	0,7 & 0,34

(Rusmandani, 2024)

### 3. Validasi Permodelan

Validasi permodelan merupakan proses yang dilakukan untuk memastikan bahwa pemodelaan yang dibuat sudah terkalibrasi dan dapat mengukur ketepatan model yang dibuat. Salah satu metode untuk melakukan validasi adalah dengan metode GEH (Geoffery E. Havers) dimana parameter yang digunakan adalah dengan membandingkan volume hasil observasi dengan volume hasil simulasi (Jepriadi, 2022). GEH merupakan rumus statistik modifikasi dari chi-squared, yang menggabungkan perbedaan nilai relatif dan nilai absolut. Persamaan GEH adalah sebagai berikut.

$$GEH = \frac{(q \text{ simulated} - q \text{ observed})^2}{0,5 \times (q \text{ simulated} + q \text{ observed})} \quad (3.20)$$

(Jepriadi, 2022)

Keterangan :

q observed = data observasi

q simulated = data hasil simulasi

Parameter yang digunakan untuk mengukur validitas model berdasarkan perhitungan GEH dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 3. 6** Parameter Validasi

Nilai GEH	Keterangan
< 5	diterima
5 – 10,0	error atau data buruk
> 10,0	ditolak

(Jepriadi, 2022)

### 3. 8 Perencanaan Geometrik Persimpangan

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2021), tentang perencanaan teknis geometrik simpang, persimpangan harus

memperhatikan aspek keselamatan, kelancaran lalu lintas, efisiensi, keekonomisan, serta kenyamanan, selain itu, perencanaan juga perlu mempertimbangkan efisiensi desain, jenis kendaraan yang akan melintasi simpang, pandangan bebas bagi pengguna jalan, sisten drainase, aksesibilitas bagi penyandang disabilitas, serta kesesuaian dengan fungsi dan kelas jalan dalam sistem jaringan jalan. Apabila kondisi geometrik eksisting belum memenuhi kriteria tersebut, maka diperlukan upaya perbaikan geometri simpang guna meningkatkan kinerja lalu lintas dan menjamin keamanan pengguna jalan. Perencanaan geometrik persimpangan dijelaskan sebagai berikut.

### 1. Lajur

Lajur merupakan bagian dari jalur dimana harus memiliki lebar dari lajur tergantung berdasarkan kecepatan rencana dan harus cukup untuk memungkinkan kendaraan melintas dengan aman dan nyaman. Penambahan lajur pada suatu persimpangan merupakan salah satu upaya untuk mengoptimalkan kinerja persimpangan (Bangkit Prakoso dan Tri Sudiby, 2019). Penambahan lajur dapat berupa lajur belok kanan apabila arus jalan mayor melebihi 600 kendaraan/jam dan penambahan lajur belok kiri apabila arus kendaraan belok kiri melebihi 50% dari kapasitas untuk pergerakan arus jalur minor. Radius untuk jalur belok kiri dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$R_1 = \frac{V^2}{127(e + f)} \quad (3.17)$$

(Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

Dimana untuk menentukan nilai dari koefisien tersebut menggunakan tabel berikut.

**Tabel 3. 7** Koefisien Penentuan Radius Lajur Belok Kiri

V(km/jam)	f	e(m/m)				
		0	0,02	0,04	0,06	0,08
		R <sub>1</sub> (m)				
20	0,34	10	9	9	8	8
30	0,28	25	23	22	20	19
40	0,23	55	50	45	43	40

V(km/jam)	f	e(m/m)				
		0	0.02	0.04	0.06	0.08
50	0.19	104	93	85	78	72
60	0.17	167	149	135	123	112
80	0.16	315	280	252	229	210

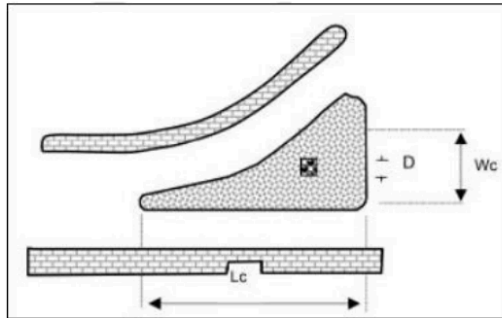
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

## 2. Kanalisasi dan pulau lalu lintas

Kanalisasi merupakan metode pengaturan arus kendaraan dengan pulau lalu lintas. Penempatan kanal ditentukan oleh pola lalu lintas, volume lalu lintas, gerakan pejalan kaki, serta tata letak jalan yang sudah ada. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024 mengenai pedoman teknis perencanaan geometri persimpangan, kanalisasi digunakan untuk :

- a. Mengurangi konflik yang disebabkan oleh arus lalu lintas yang berpotongan pada sudut siku-siku.
- b. Menggabungkan arus lalu lintas pada sudut kecil untuk memastikan kecepatan relatif rendah antara arus yang berlawanan.
- c. Mengendalikan kecepatan lalu lintas yang memasuki satu simpang
- d. Menyediakan tempat perlindungan untuk kendaraan berbelok
- e. Melarang pergerakan berbelok tertentu
- f. Memperbaiki efisiensi dan tata letak dari simpang bersinyal.
- g. Memberikan keamanan bagi pejalan kaki
- h. Memperbaiki dan menegaskan alinyemen dari pergerakan utama
- i. Menyediakan lokasi untuk instalasi sinyal lalu lintas dan rambu pengatur.

Perencanaan kanalisasi dengan menggunakan pulau jalan untuk kendaraan belok dimana menyediakan garis stop, lampu sinyal lalu lintas dan penyeberang jalan harus memiliki panjang minimum 6 m dan lebar 1,2 m.



Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024

**Gambar 12.** Pulau untuk Kanalisasi

7

Keterangan :

$D_{min}$  = lebar bagian dari fasilitas jalan

$Wc_{min}$  = lebar sisi segitiga yang lebih pendek =  $D+1,0$

$Lc_{min}$  = lebar sisi pulau jalan segitiga yang lebih paralel dengan arus lalu lintas (5 m)

### 3.9 Kalibrasi Nilai Arus Jenuh Dasar

Proses kalibrasi terhadap faktor pengali untuk menentukan nilai arus jenuh dasar pada PKJI dilakukan untuk menentukan nilai yang optimum digunakan pada kondisi saat itu. Kalibrasi dilakukan dikarenakan indikator yang digunakan pada PKJI sudah tidak sesuai untuk menggambarkan kondisi yang ada saat ini dimana PKJI mengadopsi dari Highway Capacity Manual (HCM,1985) yang didasarkan pada keadaan arus lalu lintas yang seragam (homogenitas traffic) dan didominasi oleh mobil penumpang (Dani Auliya dan Darma, 2024). Menurut penelitian yang dilaksanakan oleh (Rahayu dkk., 2009) nilai yang digunakan sebagai faktor pengali terhadap arus jenuh dasar dapat bervariasi dikarenakan adanya perbedaan faktor penyesuaian pada setiap kondisi. Oleh karena itu diperlukan perbaikan dengan menentukan nilai pengali yang lebih tepat terhadap lebar efektif dalam perhitungan arus jenuh. Dalam penentuan faktor pengali digunakan metode Chi

Square untuk mengetahui seberapa tingkat kesalahan dari permodelan terhadap observasi. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk perhitungan Chi Square.

$$\chi^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E} \quad (3.21)$$

(Rahayu dkk., 2009)

Keterangan :

O = Frekuensi yang diamati

E = frekuensi yang duharapkan

Proses kalibrasi terhadap nilai tersebut menggunakan solver excel. Solver excel merupakan pemrograman linear maupun non-linier yang digunakan untuk mengoptimalkan fungsi tujuan, atau untuk mencari nilai optimal terhadap suatu permasalahan dengan mempertimbangkan kondisi tertentu (Syaiful Anam dan Ramadhan, 2024). Pemrograman yang dilakukan berupa memaksimalkan atau meminimalkan suatu fungsi tujuan sesuai dengan batasan yang telah ditetapkan. Dalam penerapannya, solver dapat menghasilkan nilai optimal yang sesuai dengan kondisi serta permasalahan yang terjadi, sehingga efektif digunakan dalam kajian optimasi khususnya transportasi. Penggunaan solver dalam bidang transportasi dapat membantu dalam pengambilan keputusan berbasis data, serta peningkatan kualitas layanan transportasi.

### 3.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berfungsi sebagai pembanding antara penelitian yang dilakukan saat ini dengan penelitian terdahulu baik berupa skripsi, jurnal dan sebagainya. Berikut ini adalah tabel penelitian terdahulu beserta perbandingannya yang menjadi acuan dalam melakukan penelitian ini:

**Tabel 3.8** Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis dan Tahun	Ringkasan	Pembeda
1	Perencanaan Simpang Bersinyal Pada Jalan Panglima Sudirman-Jalan Gatot Subroto Kota Malang	Yafi Rahmaniar et al., 2023	Perencanaan simpang bersinyal pada simpang 4 gatot subroto dengan menggunakan metode MKJI 1997 dilakukan untuk mengurangi tundaan dan panjang antrian yang terjadi pada simpang. Dengan pengaturan 2 fase maka dihasilkan derajat kejenuhan sebesar 0,459, tundaan rata-rata 9,86 det/smp, dengan tingkat pelayanan A.	Pada penelitian ini menggunakan metode MKJI 1997 .
2	Analisa Kinerja Simpang Tidak Bersinyal (Studi Kasus: Simpang Tak Bersinyal Lengan Tiga Jl. Hasanuddin, Jl. Santiagi dan Jl Pogidon, Tuminting)	Paendong et al., (2020)	Persimpangan tiga tuminting merupakan salah satu simpang dengan tingkat konflik lalu lintas yang cukup tinggi, sehingga diperlukan pemasangan lampu lalu lintas (traffic light) untuk meningkatkan kelancaran pergerakan kendaraan. Berdasarkan analisis menggunakan metode MKJI 1997, kinerja eksisting simpang menunjukkan derajat kejenuhan 0,86 dengan tingkat pelayanan berada pada level D. Setelah dilakukan simulasi permodelan menggunakan program SUMO (simulation of urban mobility) dengan skenario penerapan lampu lalu lintas, diperoleh nilai tundaan sebesar 7,2 detik dan panjang antrian sebesar 46,85.	Perbedaan terletak pada lokasi penelitian serta metode yang digunakan pada penelitian yaitu MKJI 1997 dan simulasi menggunakan program SUMO ( <i>simulation of urban mobility</i> )

No	Judul Penelitian	Penulis dan Tahun	Ringkasan	Pembeda
3	Efektifitas peningkatan kontrol simpang tidak bersinyal menjadi simpang bersinyal (studi kasus : persimpangan jalan ring road dan jalan mangga)	Massang et al., (2022)	Persimpangan jalan ring road di Kota Manado merupakan simpang tidak bersinyal yang mengalami konflik lalu lintas. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan pengaturan simpang dengan sinyal lalu lintas. Berdasarkan analisis menggunakan metode MKJI 1997, simpang tersebut memiliki kapasitas sebesar 23775, 12 smp/ jam dengan derajat kejenuhan sebesar 0,7952. Hasil simulasi pergerakan lalu lintas eksisting menggunakan perangkat lunak SUMO menunjukkan panjang antrian untuk Jalan Ring Road (Barat): 143 m, Jalan Mangga (Utara): 182,17 m, dan Jalan Ring Road (Timur): 239,83 m Setelah penerapan pengaturan sinyal, hasil simulasi menunjukkan panjang antrian pada jalan Ring Road (Barat): 113 m, jalan Mangga (Utara): 180,25 m, dan jalan Ring Road (Timur): 194,75 m.	Perbedaan terletak pada lokasi penelitian serta metode yang digunakan pada penelitian yaitu MKJI 1997 dan simulasi menggunakan program SUMO ( <i>simulation of urban mobility</i> )
4	Analisis Redesain Pengendalian Simpang Dengan Menggunakan MKJI 1997 dan Program PTV Vissim (Studi Kasus : Jalan P.M. Noor-Jalan D.I	Stepanigari et al., (2021)	Simpang tiga panjahitan merupakan simpang tak bersinyal di kota samarinda yang kerap mengalami kemacetan, maka diperlukan alternatif untuk meningkatkan kinerja simpang yaitu dengan perencanaan Apill. Dengan menggunakan metode MKJI 1997 serta	Perbedaan terletak pada lokasi penelitian serta metode yang digunakan pada penelitian yaitu MKJI 1997

No	Judul Penelitian	Penulis dan Tahun	Ringkasan	Pembeda
	Panjaitan 1 – Jalan D. I. Panjaitan 2		PTV Vissim alternatif penanganan untuk simpang ini adalah dengan pengaturan simpang bersinyal menggunakan 2 dan 3 fase. Selain itu dengan perencanaan bundaran.	
5	Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas Pada Simpang 3 (Tiga) Tak Bersinyal (Studi Kasus: Jembatan Ngujang-Jalan Raya Ngantru Kabupaten Tulungagung)	Hartono et al., (2021)	Pada simpang ini kerap terjadi konflik sehingga menimbulkan tundaan lalu lintas di atas badan jembatan. Berdasarkan analisis menggunakan metode MKJI 1997, diperlukan adanya alternatif pemecahan seperti pemasangan Apill menggunakan 3 fase dengan belok kiri jalan terus (LTOR)	Perbedaan terletak pada lokasi penelitian serta metode yang digunakan pada penelitian yaitu MKJI 1997

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 4.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif deskriptif. Menurut (Haryanti, 2020) metode kuantitatif deskriptif memberikan gambaran atau deskripsi terhadap data yang dikumpulkan, sehingga informasi dapat lebih mudah dipahami. Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan serta menganalisis fenomena yang terjadi di wilayah kajian berdasarkan data numerik, khususnya dalam mengevaluasi kinerja simpang melalui perhitungan dan simulasi menggunakan metode PKJI 2023 serta PTV Vissim. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran yang objektif terkait kondisi lalu lintas serta dampak dari rekayasa lalu lintas yang diterapkan.

#### 4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Simpang 4 Gatot Subroto, Kota Malang, dimana merupakan salah satu simpang utama dengan lalu lintas yang cukup padat. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada permasalahan lalu lintas yang sering terjadi terutama pada jam-jam sibuk, seperti konflik antar kendaraan yang belok kanan pada pendekatan timur dan pendekatan utara yang mengakibatkan kemacetan serta antrian yang cukup panjang sehingga berimbas ke jembatan Brantas. Adapun pelaksanaan penelitian ini dilakukan mulai dari bulan April hingga Juni 2025, yang mencakup pengumpulan data sekunder, survei lalu lintas pada simpang selama 24 jam pada kondisi akhir pekan dan hari kerja, survei kecepatan titik, serta proses simulasi dan analisis data.

#### 4.3 Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini memanfaatkan data sekunder yang diperoleh melalui berbagai sumber literatur, serta data primer yang dikumpulkan melalui

survei secara langsung. Proses pengumpulan data dilakukan dengan dua teknik yaitu:

#### 4.3.1. Data sekunder

Data Sekunder adalah data yang dikumpulkan sebelumnya dari sumber-sumber yang telah tersedia, yang kemudian digunakan sebagai bahan pendukung dalam penelitian. Berikut adalah data sekunder yang didapatkan dan diperlukan pada penelitian sebagai berikut:

##### 1. Peta Jaringan Jalan

Peta jaringan jalan dimanfaatkan untuk menyederhanakan dalam pengelompokan jalan, baik itu dari segi fungsi jalan, status serta panjang dari jalan pada wilayah kajian. Peta jaringan jalan diperoleh dari kementerian PUPR yang berkaitan dengan penetapan ruas jalan menurut statusnya sebagai jalan nasional, Surat Keputusan Gubernur Jatim mengenai status ruas jalan sebagai jalan provinsi, dan Surat Keputusan Walikota Malang terkait penetapan ruas jalan berdasarkan fungsinya.

##### 2. Data Jumlah Penduduk

Data jumlah penduduk digunakan dalam perhitungan kapasitas pada persimpangan. Nilai ini merupakan salah satu faktor koreksi yang digunakan dalam penentuan faktor koreksi ukuran kota. Data jumlah penduduk diperoleh dari BPK Kota Malang pada website.

##### 3. Peta Tata Guna Lahan

Peta tata guna lahan digunakan untuk mengetahui karakteristik guna lahan pada wilayah kajian. Tata guna lahan merupakan salah satu indikator yang digunakan untuk menentukan kriteria hambatan samping dalam perhitungan kinerja. Peta tata guna lahan diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Malang.

#### 4.3.2. Data Primer

Data primer merupakan salah satu data yang dikumpulkan peneliti melalui observasi di lokasi atau objek yang sedang diteliti. Pada penelitian ini pendekatan yang diterapkan untuk mengumpulkan data primer melibatkan pengamatan langsung di area, sehingga memperoleh kondisi eksisting Simpang 4 Gatot Subroto Malang. Survei yang dilakukan adalah sebagai berikut :

##### 1. Survei pendahuluan

Survei Pendahuluan ini dilakukan dengan tujuan untuk melakukan peninjauan atau pengamatan terkait dengan lokasi penelitian, peninjauan dan pemilihan titik lokasi yang dilakukan untuk pelaksanaan di setiap survei yang dibutuhkan, serta pendataan perlengkapan yang dibutuhkan untuk pelaksanaan survei.

##### 2. Survei inventarisasi

Survei Inventarisasi dilakukan dengan mengukur, mencatat, dan memetakan kondisi eksisting simpang secara sistematis. Data yang dikumpulkan dari survei inventarisasi meliputi tipe simpang, data geometrik pada tiap pendekat, radius simpang. Inventarisasi juga mencakup hambatan samping, serta tata guna lahan, serta kelengkapan sarana dan prasarana pada wilayah kajian.

##### 3. Survei volume lalu lintas

Survei volume lalu lintas dilakukan dengan tujuan untuk menghitung dan memperoleh data yang akurat terkait dengan banyaknya kendaraan yang masuk simpang pada tiap pendekat. Pelaksanaan survei ini dilakukan dengan menghitung kendaraan sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan terlebih dahulu pada form survei. Survei yang dilaksanakan untuk mendapatkan volume pada persimpangan adalah dengan menggunakan Classified Turning Movement Counting (CTMC) atau dalam bahasa Indonesia diartikan sebagai gerakan membelok terklasifikasi. Pelaksanaan survei dilakukan dengan mencatat setiap 15 menit dengan periode waktu

24 jam. Pengambilan data dilakukan pada dua kondisi yaitu *weekend* dan *weekday* agar nantinya dapat mengetahui perbandingan kinerja persimpangan jalan pada dua kondisi serta dapat menentukan pengaturan yang paling optimal diterapkan pada dua kondisi tersebut. Target data yang diamati adalah klasifikasi jenis kendaraan berdasarkan pergerakan yang dilakukan kendaraan, baik lurus kiri, dan kanan.

#### 4. Survei kecepatan kendaraan

Survei kecepatan kendaraan dilakukan dengan metode *Spot Speed* atau kecepatan sesaat kendaraan. Survei ini bertujuan untuk mendapatkan frekuensi kumulatif kecepatan yang akan digunakan sebagai data masukan dalam permodelan pada vissim. Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan kendaraan adalah *speedgun*. Pengukuran dilakukan dengan cara dengan cara menembakkan alat tersebut langsung ke kendaraan yang melintas pada titik yang telah ditentukan. Alat tersebut memiliki sensor yang akan mendeteksi kecepatan kendaraan yang melintas. Pengumpulan data ini dilakukan pada dua kondisi yaitu *weekend* dan *weekday* agar nantinya dapat mengetahui kecepatan kendaraan pada dua kondisi tersebut. Survei kecepatan dilaksanakan di tiap pendekat pada simpang dan dilakukan pada jam tidak sibuk atau saat kondisi lalu lintas bebas hambatan sehingga kendaraan dapat bergerak tanpa gangguan (*free flow speed*).

### 4.4 Metode Analisis Data

Data yang telah didapat melalui survei akan diolah dengan metode sebagai berikut :

#### 4.4.1. Inventarisasi Persimpangan

Data inventarisasi yang didapatkan akan disajikan ke dalam bentuk gambar agar dapat memetakan kondisi eksisting dari simpang. Data tersebut akan digambarkan menggunakan aplikasi AutoCad yang mencakup penyajian penampang melintang jalan

seperti lebar jalur, lebar bahu, dan lebar trotoar. Selain itu, disajikan tampak atas wilayah kajian untuk memetakan kondisi tata guna lahan pada wilayah kajian.

#### 4.4.2. Analisis Kecepatan Kendaraan

Kecepatan kendaraan yang digunakan dalam penelitian ini adalah saat keadaan *free flow speed* atau dimana kendaraan bergerak tanpa adanya hambatan. Sampel kendaraan yang digunakan ditentukan menggunakan metode slovin dengan deviasi 10% berdasarkan hasil *CTMC* pada setiap klasifikasi kendaraan. Berikut persamaan metode slovin :

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2} \quad (3.1)$$

(Slovin, 1960)

Data tersebut digunakan sebagai data masukkan dalam pembuatan model simulasi pada perangkat lunak VISSIM. Kecepatan kendaraan yang didapatkan melalui hasil survei dijadikan sebagai dasar untuk mempresentasikan kondisi nyata saat dilaksanakannya simulasi, sehingga hasil simulasi mendekati kondisi di lapangan. Data kecepatan yang digunakan berupa distribusi frekuensi kumulatif, dengan penentuan interval menggunakan rumus 3.2.

$$C = \frac{R}{K} \quad (3.2)$$

(Candra dkk., 2015)

Keterangan

K = Kelas ( $1 + 3,33 \log n$ , n = jumlah data)

R = Range (Data terbesar – Data terkecil)

C = Interval kelas

#### 4.4.3. Analisis Nilai Arus Jenuh Dasar

Nilai arus jenuh dasar menurut PKJI 2023 untuk simpang APILL dengan tipe terlindung adalah lebar efektif pendekat dikali dengan 600 sedangkan untuk tipe terlawan menggunakan grafik

antara lebar pendekat masuk dengan arus belok kanan. Dalam upaya mendapatkan nilai arus jenuh yang lebih mendekati kondisi aktual di lapangan, dilakukan proses kalibrasi nilai arus jenuh dasar dengan menggunakan solver pada excel. Faktor penyesuaian ditentukan berdasarkan indikator panjang antrean hasil pkji dan eksisting yang didapat melalui permodelan vissim. Langkah ini dilakukan dengan mengukur seberapa jauh kesalahan model terhadap nilai aktual dengan menggunakan rumus chi-square berikut:

$$\chi^2 = \sum \frac{(F_0 - F_h)^2}{F_h} \quad (3.3)$$

(Rahayu dkk., 2009)

Keterangan :

F<sub>0</sub> = panjang antrean perhitungan

F<sub>h</sub> = panjang antrean di lapangan

Total dari nilai kesalahan pada setiap lengan tersebut kemudian diminimalkan untuk proses kalibrasi sehingga mendapatkan nilai arus jenuh yang paling sesuai. Batasan nilai arus jenuh dasar yang digunakan dalam solver adalah 600 sesuai dengan faktor pengali pada PKJI. Hasil dari proses ini adalah nilai arus jenuh yang telah disesuaikan dengan kondisi aktual wilayah studi.

#### 4.4.4. Analisis Plan Sempang

Penentuan jumlah plan yang diterapkan pada simpang 4 Gatot Subroto dilakukan berdasarkan volume lalu lintas harian atau Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR) yang didapat melalui survei selama 24 jam pada hari kerja dan akhir pekan kemudian dianalisis terkait rasio arus pada tiap pendekat ( $R_{q/j}$ ) serta nilai derajat kejenuhan dari tiap jam dengan menggunakan waktu siklus dan waktu hijau yang didapat berdasarkan hasil analisis. Besar rasio arus pada tiap pendekat dihitung melalui perbandingan antara rasio arus terhadap arus jenuh. Berdasarkan nilai tersebut serta grafik

LHR dapat diidentifikasi jumlah plan optimal yang akan diterapkan dalam suatu simpang.

Kriteria pembagian plan diidentifikasi berdasarkan rasio arus pada tiap pendekat. Plan tidak sibuk ditandai dengan rasio arus lalu lintas di setiap lengan menyebar secara merata atau rasio arus pada setiap lengan simpang memiliki perbedaan nilai yang tidak terlalu signifikan. Plan sibuk ditandai dengan salah satu lengan mayor memiliki nilai dominan dibandingkan dengan lengan lainnya. Penetapan flashing ditinjau berdasarkan kondisi arus lalu lintas secara umum mengalami penurunan atau nilai rasio arus pada tiap pendekat memiliki nilai yang rendah. Berdasarkan nilai tersebut penentuan awal plan ditinjau berdasarkan sudah terpenuhinya waktu siklus minimum atau waktu hijau minimum pada salah satu pendekat. Sementara itu, penetapan dimulainya periode sibuk ditinjau melalui siklus yang diterapkan pada plan sebelumnya sudah tidak mampu melayani arus lalu lintas pada rentang waktu tersebut. Mengacu pada PKJI 2023, apabila nilai derajat kejenuhan melebihi 0,85 maka diperlukan adanya penanganan seperti penyesuaian waktu siklus baru pada rentang tersebut. Penentuan akhir dari rentang plan ditinjau berdasarkan perpotongan garis lurus pada grafik time series dilihat dari kemiripan volume pada jam tersebut. Penetapan atas dimulai *flashing* dimana siklus dan distribusi waktu hijau pada pendekat berada di bawah batas minimum.

#### 4.4.5. Analisis Waktu Siklus

Penentuan waktu siklus menggunakan metode PKJI 2023.

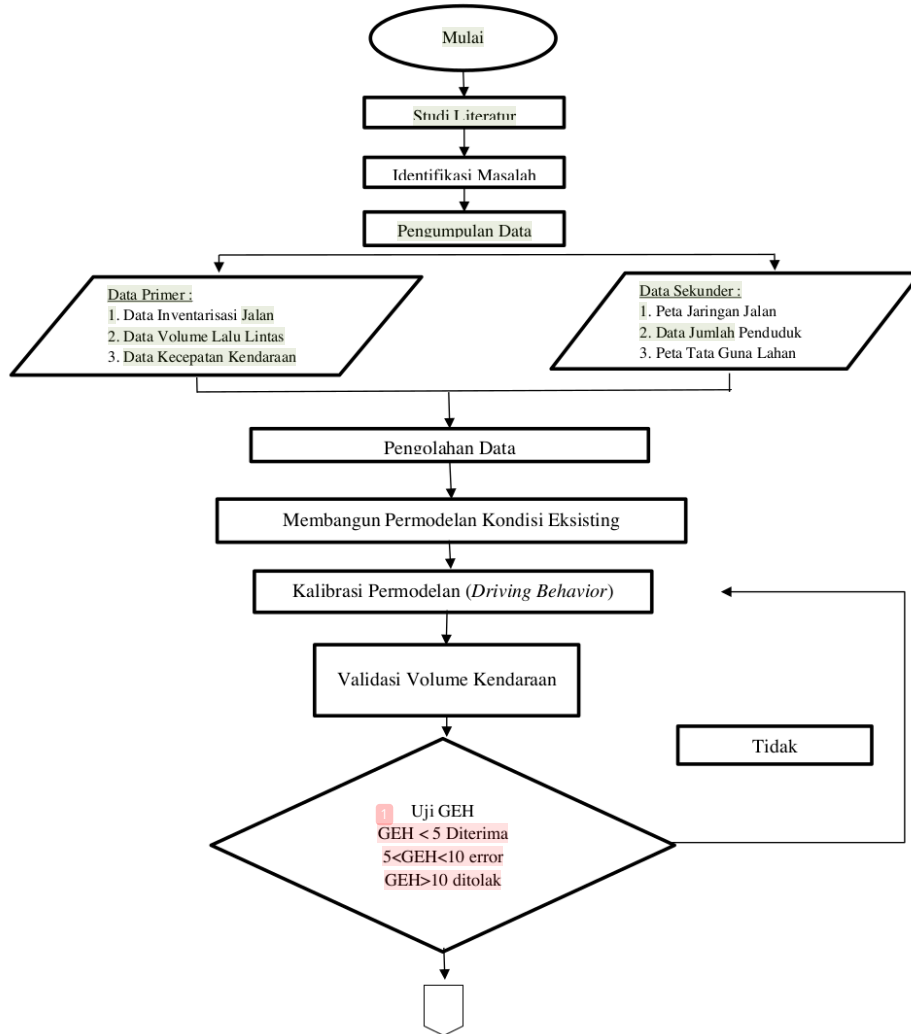
Penentuan waktu siklus yang optimal ditentukan berdasarkan tipe pendekat pada simpang, rasio kendaraan berbelok, arus belok kanan, arus lalu lintas dalam smp/jam, serta lebar efektif. Indikator tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan arus jenuh (J). Setelah didapatkan arus jenuh pada tiap pendekat

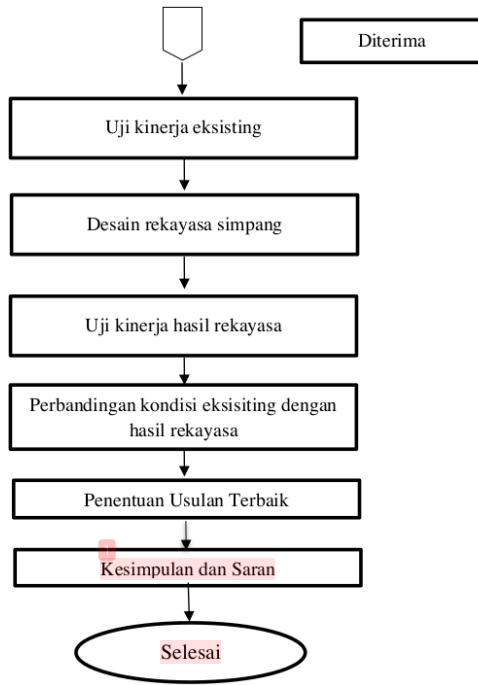
kemudian dihitung terkait rasio arus ( $R_{qij}$ ) dan Rasio fase ( $R_f$ ). Nilai rasio arus dan rasio fase tersebut digunakan untuk menentukan waktu siklus, serta waktu hijau pada fase tiap pendekatan.

#### 4.4.6. Analisis Kinerja Simpang

Analisis kinerja simpang dengan menggunakan perangkat lunak PTV Vissim dimana indikator yang digunakan untuk menilai kinerja pada simpang adalah dengan tundaan dan panjang antrian. Penggunaan Vissim dilakukan untuk memberikan simulasi visual mengenai kondisi eksisting pada simpang sebelum dan sesudah dilaksanakannya rekayasa. Proses permodelan diawali dengan membuat visualisasi simpang dengan menambahkan link, kemudian memasukkan data kendaraan, meliputi komposisi kendaraan, volume kendaraan, serta model kendaraan, data kecepatan, dan rute kendaraan. Setelah seluruh indikator dimasukkan ke dalam model, dilakukan proses kalibrasi terhadap *driving behavior* untuk memastikan model mencerminkan karakteristik arus lalu lintas yang aktual. Selanjutnya, tahap validasi dilakukan uji GEH dengan membandingkan volume sebelum dan sesudah dilaksanakannya rekayasa. Indikator keberhasilan rekayasa adalah adanya penurunan panjang antrean atau waktu tundaan pada lengan selatan (sebagai sumber masalah penelitian ini), terutama pada saat jam puncak. Hal ini dikarenakan perlunya pengaturan khusus terhadap tundaan dan panjang antrean pada lengan tersebut yang merupakan bagian dari jembatan.

34  
4.5 Bagan Alir Penelitian





**Gambar 13.** Bagan Alir Penelitian

#### 1. Mulai

Pada tahap ini penulis memulai penelitian dan menemukan beberapa permasalahan yang dapat diselesaikan.

#### 2. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis membaca studi literatur yang relevan untuk mengidentifikasi permasalahan-permasalahan yang ditemukan untuk meninjau berbagai metode dan pendekatan yang telah digunakan dalam penanganan dari permasalahan serupa.

#### 3. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, penulis mengidentifikasi permasalahan-permasalahan yang didapat, kemudian memilih salah satu permasalahan untuk dirumuskan secara sistematis, dan dianalisis untuk dicari solusi penyelesaiannya.

#### 4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini mencakup pengumpulan data primer dan data sekunder. Data sekunder diperoleh dari instansi atau pihak terkait dengan penelitian ini, yang meliputi data jumlah penduduk, peta jaringan jalan, dan peta tata guna lahan. Sedangkan data primer yang digunakan untuk mendukung penelitian ini mencakup data inventarisasi simpang, volume lalu lintas, dan data kecepatan kendaraan.

#### 5. Pengolahan Data

Setelah mendapatkan data primer dan sekunder, selanjutnya adalah melakukan pengolahan data untuk mengetahui volume puncak pada lalu lintas dalam satu hari di kondisi hari kerja dan akhir pekan sebagai parameter

untuk menentukan kinerja eksisting dan penentuan waktu siklus yang optimal dengan menggunakan PKJI 2023.

#### 6. Membangun Permodelan Kondisi Eksisting

Setelah ditemukan jam puncak dilakukan permodelan kondisi eksisting dengan menggunakan vissim untuk mendapatkan hasil permodelan yang valid serta mengetahui kinerja simpang dengan parameter tundaan dan panjang antrian. Dalam membangun permodelan vissim membutuhkan data-data sebagai berikut.

##### a. Pembangunan Jaringan Jalan

Pembangunan jaringan jalan menggunakan gambar yang didapat dari aplikasi google earth kemudian di export ke vissim dengan menyesuaikan skala. Selanjutnya, visualisasi simpang dibangun dengan menggunakan elemen link, dan konektor dengan menyesuaikan lebar jalan, radius, jumlah lajur hingga jalur.

##### b. Data Masukan Kendaraan

Data masukan kendaraan terdiri dari tipe kendaraan, model kendaraan, distribusi model, dan kelas kendaraan. Data ini didapat dari hasil survei yang telah dilakukan sebelumnya pada kondisi eksisting.

###### 1) Tipe kendaraan

Tipe kendaraan merupakan data jenis kendaraan yang melewati simpang tersebut berdasarkan survei yang telah dilaksanakan.

###### 2) Model Kendaraan

Model kendaraan merupakan bentuk dari kendaraan yang akan ditampilkan dalam permodelan. Pada model ini digunakan 3 jenis kendaraan, yaitu sepeda motor, mobil, truk, dan bus besar.

3) Distribusi Model

Distribusi model merupakan lanjutan dari tipe kendaraan dan model dimana agar kendaraan yang dimasukkan memiliki visualisasi 2D/3D.

4) Kelas kendaraan

Merupakan data lanjutan dari tipe kendaraan yang akan ditampilkan pada model.

5) Rute Kendaraan

Menambahkan rute kendaraan pada tiap pendekat untuk merepresentasikan pergerakan lalu lintas secara realistis dalam model Vissim.

6) Data kecepatan

Data kecepatan atau desired speed merupakan memasukkan data kecepatan titik yang diperoleh melalui hasil survei.

7) Memasukkan kendaraan

Memasukkan jumlah kendaraan yang lewat pada tiap pendekat simpang dimasukkan pada vehicle input.

8) Komposisi kendaraan

Komposisi kendaraan adalah jumlah kendaraan yang masuk ke simpang yang disesuaikan dengan proporsi jenis kendaraan yang melintas pada pendekat tersebut.

7. Kalibrasi Permodelan

Setelah memasukkan data yang dibutuhkan kemudian melakukan kalibrasi permodelan dengan mengatur perilaku pengemudi (driving behavior). Indikator yang digunakan dalam proses kalibrasi adalah pembuntutan (following), perpindahan lajur (lane change), pergerakan lateral (lateral), dan pengaturan signal (signal control).

Perubahan besaran parameter tersebut dilakukan agar hasil simulasi merepresentasikan kondisi sesungguhnya.

#### 8. Validasi Volume Kendaraan

Setelah melakukan kalibrasi kemudian dilakukan proses running dimana dalam penelitian ini dibutuhkan pengaturan pengukuran waktu disesuaikan selama 3600 detik. Pengaturan periode waktu simulasi diatur sebanyak 4200 detik dengan perhitungan dimulai pada detik ke 600 atau 10 menit setelah simulasi dimulai. Result yang ditampilkan pada proses running ini adalah data collection untuk melihat volume kendaraan serta node result untuk melihat kondisi pada simpang berupa tundaan dan panjang antrian. Kemudian dilakukan proses validasi permodelan dengan menggunakan uji GEH dimana jika nilai  $GEH < 5$  hasilnya diterima,  $5 < GEH < 10$  error, dan  $GEH > 10$  ditolak. Apabila ditolak maka diperlukan proses kalibrasi.

#### 9. Uji Kinerja Eksisting

Setelah permodelan dinyatakan valid dengan menggunakan uji GEH dimana nilai  $GEH < 5$  maka dilakukan uji kinerja terhadap kondisi eksisting. Indikator yang digunakan untuk menilai kinerja pada simpang adalah panjang antrean dan tundaan.

#### 10. Rekayasa Simpang

Setelah permodelan yang dirancang valid dan diperoleh terkait kinerja eksisting, maka dilakukan rekayasa terhadap simpang tak bersinyal dengan menggunakan metode PKJI 2023 sehingga memunculkan beberapa rekomendasi. Dari rekomendasi tersebut kemudian akan dilakukan analisis lebih lanjut untuk mendapatkan kinerja.

#### 11. Uji Kinerja Rekayasa

Setelah melakukan rekayasa simpang kemudian dilakukan uji kinerja terhadap hasil rekayasa desain. Indikator yang digunakan untuk menilai kinerja pada simpang adalah panjang antrean dan tundaan.

12. Perbandingan Kondisi Eksisting dengan Hasil Rekayasa

Setelah melakukan memperoleh kinerja pada simpang setelah dilakukan rekayasa, maka dilakukan perbandingan terhadap kinerja eksisting dengan kinerja setelah rekayasa. Perbandingan tersebut akan memperlihatkan apakah rekayasa yang dilakukan mampu mengoptimalkan kinerja persimpangan.

13. Penentuan Usulan Terbaik

Setelah melakukan perbandingan maka ditentukan rekomendasi dengan kinerja terbaik yang mampu diterapkan pada Simpang 4 Gatot Subroto.

14. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini berisi mengenai kesimpulan penelitian serta pemberian saran yang tepat terhadap langkah yang diambil untuk peningkatan kinerja Simpang 4 Gatot Subroto.

4.6 Timeline Kegiatan

Tabel 3.9 Timeline Kegiatan

No	Kegiatan	Jadwal/Bulan															
		April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■															
2	Pemilihan Topik	■	■														
3	Penyusunan Proposal		■	■	■												
4	Seminar Proposal					■	■	■									

No	Kegiatan	Jadwal/Bulan															
		April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	Pengumpulan Data																
6	Analisis Data																
7	Penyusunan Laporan KKW																
8	Pengumpulan Laporan KKW																
9	Sidang Laporan KKW																

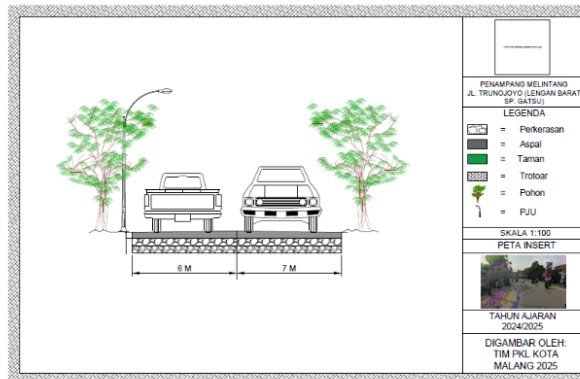
## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Kondisi Eksisting

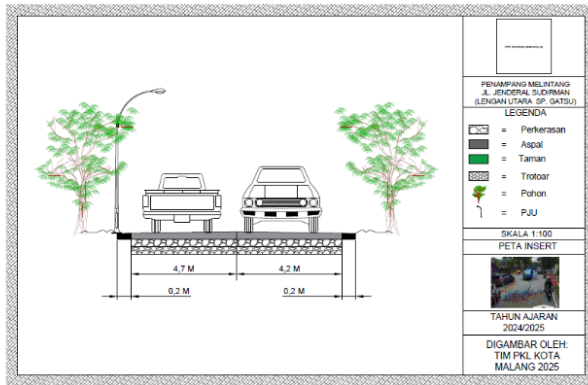
Kondisi eksisting pada simpang 4 Gatot Subroto Malang mencakup data inventarisasi simpang dimana terdiri dari tipe simpang jenis hambatan samping dan lebar tiap pendekat. Selain itu, terdapat data volume dalam satu hari pada kondisi hari kerja dan akhir pekan untuk menggambarkan kondisi arus lalu lintas pada simpang tersebut, serta data kecepatan titik pada tiap pendekat. Berikut merupakan analisis terkait kondisi eksisting pada simpang 4 Gatot Subroto Malang.

#### 5.4.3. Inventarisasi Simpang

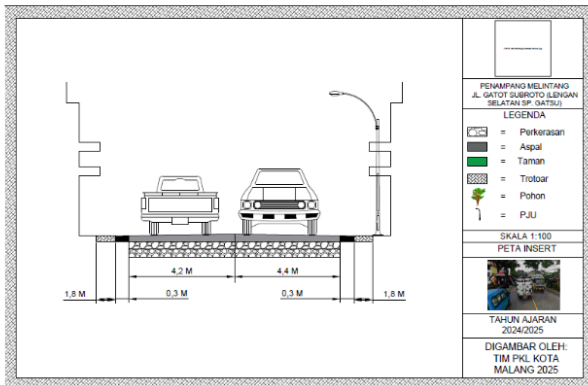
Inventarisasi simpang meliputi lebar tiap pendekat, lebar bahu, beserta tata guna lahan di sekitar wilayah kajian. Data ini didapatkan dari kegiatan Survei Inventarisasi oleh Tim PKL Kota Malang. Berikut merupakan data inventarisasi Simpang 4 Gatot Subroto Malang.



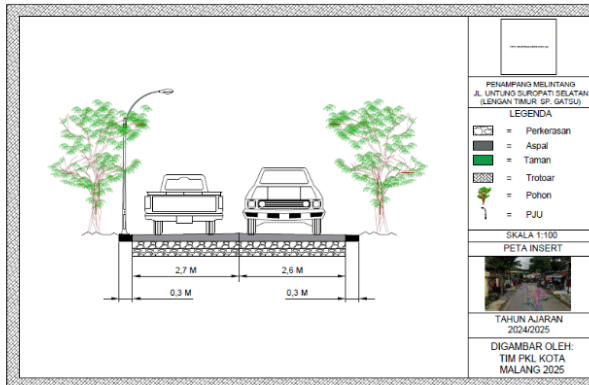
Gambar 14. Penampang Melintang Lengan Barat



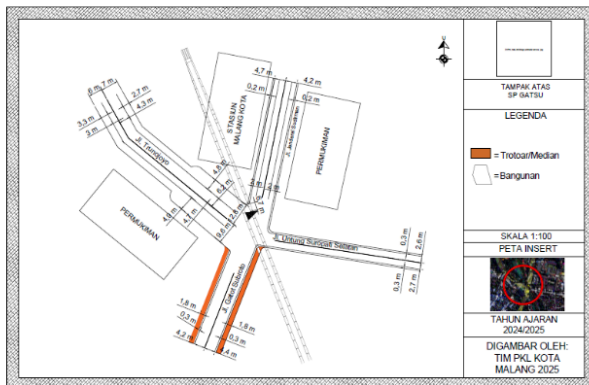
**Gambar 15.** Penampang Melintang Lengan Utara



**Gambar 16.** Penampang Melintang Lengan Selatan



**Gambar 17.** Penampang Melintang Lengan Timur



**Gambar 18.** Tampak Atas Simpang 4 Gatot Subroto Malang

Hasil survei inventarisasi menunjukkan bahwa simpang ini memiliki 4 lengan dengan tipe 444 dimana pada jalur mayor memiliki 4 lajur dan 4 lajur pada pendekat minor dengan terdapat belok kiri jalan terus pada lengan barat. Jalan Jenderal Sudirman dan Jalan Gatot Subroto merupakan lengan mayor dimana masing-masing memiliki lebar efektif pendekat sebesar 8,9 m dan

8,7 m. Sedangkan untuk Jalan trunojoyo dan Jalan Untung Suropati Selatan merupakan lengan minor dimana masing-masing memiliki lebar efektif pendekat sebesar 22,4 m dan 5,3 m. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.1 Inventarisasi Pendekat Simpang, sebagai berikut:

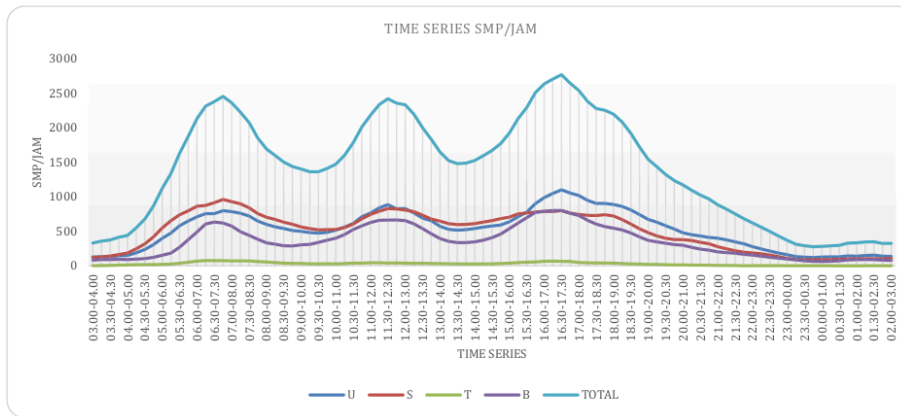
**Tabel 5.1** Inventarisasi Pendekat Simpang

	Jalan Jenderal Sudirman (Utara)	Jalan Gatot Subroto (Selatan)	Jalan Trunojoyo (Barat)	Jalan Untung Suropati Selatan (Timur)
Fungsi Jalan	Arteri Primer	Arteri Primer	Arteri Sekunder	Lokal Sekunder
Tipe Jalan	4/2 TT	2/2 TT	4/2 TT	2/2 TT
Lebar Lajur Masuk	4,2 m	4,2 m	12,8 m	2,7 m
Lebar Lajur Keluar	4,7 m	4,4 m	9,6 m	2,6 m
Lebar Lajur Total	8,9 m	8,6 m	22,4 m	5,3 m

#### 5.4.4. Volume Simpang

Data volume simpang didapatkan dari hasil survei gerakan membelok terklasifikasi yang dilaksanakan selama 24 jam pada 2 kondisi yaitu Hari Kerja dan Akhir pekan dimana dimulai pada pukul 03.00 WIB. Hasil survei gerakan membelok tersebut menghasilkan fluktuasi volume pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang yang akan digunakan sebagai dasar penentuan rekomendasi penanganan dari permasalahan secara tepat.

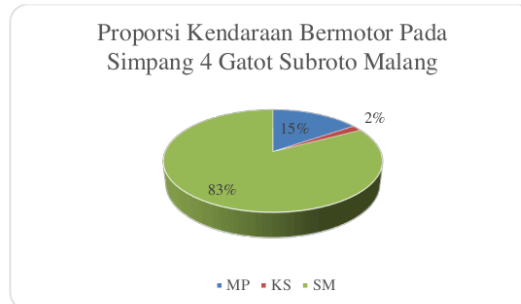
### 1. Hari Kerja (Weekday)



(Sumber: Hasil Analisis)

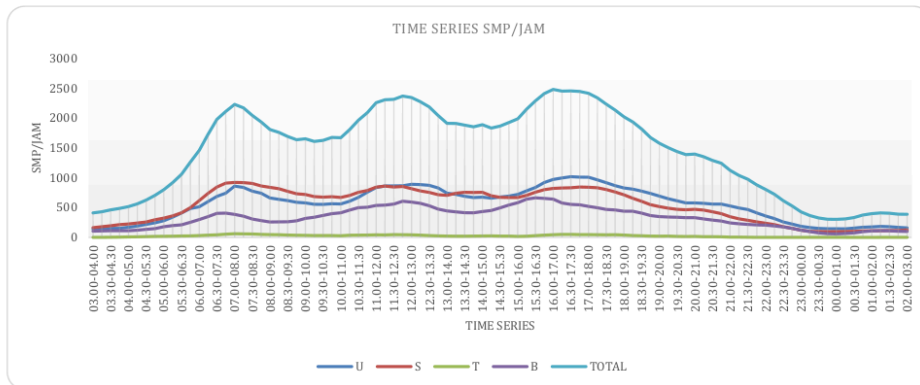
**Gambar 19.** Time Series Hari Kerja

Berdasarkan grafik fluktuasi diatas didapatkan hasil berupa jam sibuk dalam 1 hari pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang pada kondisi hari kerja yaitu pada pukul 16.30-17.30 WIB dengan volume 2767,6 smp/jam. Dari data volume tersebut didapatkan proporsi kendaraan yang melintas didominasi oleh sepeda motor dengan persentase 83% ,mobil penumpang sebesar 15%, kendaraan sedang sebesar 2%.



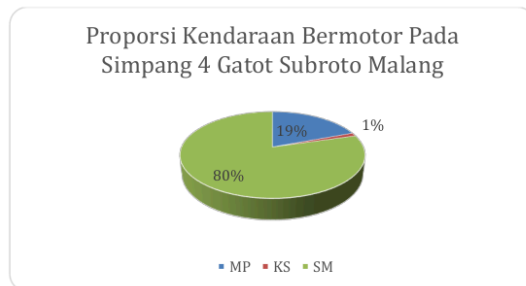
**Gambar 20.** Proporsi Kendaraan Hari Kerja

## 2. Akhir Pekan (Weekend)



**Gambar 21.** Grafik Time Series Akhir Pekan

Berdasarkan grafik time series diatas didapatkan hasil berupa jam sibuk dalam 1 hari pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang pada kondisi akhir pekan yaitu pada pukul 16.00-17.00 WIB dengan volume 2483,8 smp/jam. Dari data volume tersebut didapatkan proporsi kendaraan yang melintas didominasi oleh sepeda motor dengan persentase 80% mobil penumpang sebesar 19% kendaraan sedang sebesar 1%.



**Gambar 22.** Proporsi Kendaraan Akhir Pekan

#### 5.4.5. Kecepatan Titik

Data kecepatan kendaraan pada tiap pendekatan didapatkan dengan melakukan survei kecepatan titik. Survei ini dilakukan di jam tidak sibuk pada hari kerja dan akhir pekan dimana digunakan sebagai data masukan saat melakukan permodelan menggunakan *vissim*. Sampel yang digunakan untuk survei ini diklasifikasikan menurut kendaraan yang melintas yaitu mobil penumpang, kendaraan sedang, dan sepeda motor, dimana penentuannya dilakukan dengan menggunakan rumus slovin sebagai berikut :

##### 1. Akhir Pekan (Weekend)

###### a. Pendekat Utara

###### 1) Sepeda Motor

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk sepeda motor pada pendekatan utara :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$
$$n = \frac{1941}{1+1941(0,1)^2} = 95 \text{ kendaraan}$$

###### 2) Kendaraan Sedang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk kendaraan sedang pada pendekatan utara :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$
$$n = \frac{86}{1+86(0,1)^2} = 46 \text{ kendaraan}$$

###### 3) Mobil Penumpang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk mobil penumpang pada pendekatan utara :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$
$$n = \frac{480}{1+480(0,1)^2} = 82 \text{ kendaraan}$$

Setelah ditemukan sampel pada setiap jenis kendaraan dilakukan penentuan besar interval kelas sebagai dasar pembentukan distribusi frekuensi

kecepatan kendaraan menggunakan rumus 3.2 dengan perhitungan sebagai berikut.

1) Interval Mobil Penumpang

Dalam menentukan interval yang digunakan, diperlukan perhitungan jumlah kelas dan lebar interval dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}K &= 1 + 3,33 \log n \\ &= 1 + 3,33 \log 82 \\ &= 7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R &= \text{Data terbesar} - \text{Data terkecil} \\ &= 49 - 30 \\ &= 20\end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah kelas serta lebar interval, nilai tersebut didistribusikan ke dalam persamaan berikut.

$$\begin{aligned}C &= \frac{R}{K} \\ C &= \frac{20}{7} \\ &= 3\end{aligned}$$

Maka berdasarkan perhitungan, diperoleh lebar interval yang digunakan pada mobil penumpang sebesar 3.

2) Interval Sepeda Motor

Dalam menentukan interval yang digunakan, diperlukan perhitungan jumlah kelas dan lebar interval dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}K &= 1 + 3,33 \log n \\ &= 1 + 3,33 \log 95 \\ &= 8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R &= \text{Data terbesar} - \text{Data terkecil} \\ &= 53 - 34 \\ &= 19\end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah kelas serta lebar interval, nilai tersebut didistribusikan ke dalam persamaan berikut.

$$C = \frac{R}{K}$$
$$C = \frac{19}{8}$$
$$= 3$$

Maka berdasarkan perhitungan, diperoleh lebar interval yang digunakan pada sepeda motor sebesar 3.

### 3) Interval Kendaraan Sedang

Dalam menentukan interval yang digunakan, diperlukan perhitungan jumlah kelas dan lebar interval dengan menggunakan persamaan berikut.

$$K = 1 + 3,33 \log n$$
$$= 1 + 3,33 \log 46$$
$$= 7$$

$$R = \text{Data terbesar} - \text{Data terkecil}$$
$$= 33 - 26$$
$$= 7$$

Setelah didapatkan jumlah kelas serta lebar interval, nilai tersebut didistribusikan ke dalam persamaan berikut.

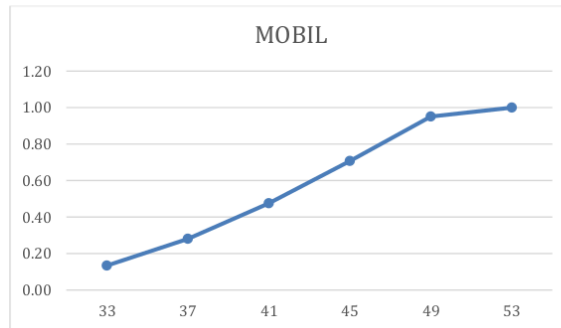
$$C = \frac{R}{K}$$
$$C = \frac{7}{7}$$
$$= 1$$

Maka berdasarkan perhitungan, diperoleh lebar interval yang digunakan pada kendaraan sedang adalah 1.

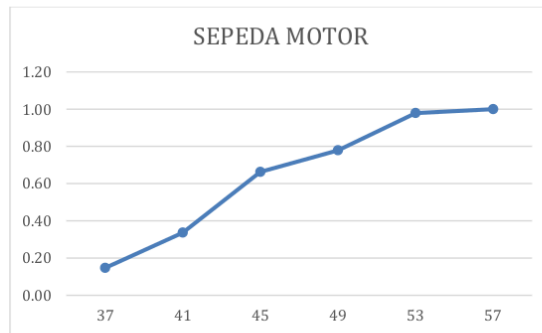
Berdasarkan sampel dan perhitungan interval, berikut tabulasi kumulatif frekuensi tiap jenis kendaraan pada pendekatan utara adalah sebagai berikut :

**Tabel 5. 2** Frekuensi Kumulatif Pendekat Utara

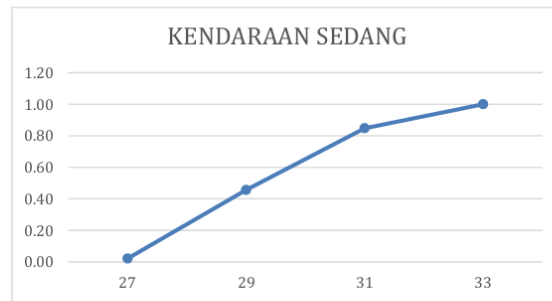
Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval KS	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
30-33	0,13	26-27	0,02	34-37	0,15
34-37	0,28	28-29	0,46	38-41	0,34
38-41	0,48	30-31	0,85	42-45	0,66
42-45	0,71	32-33	1,00	46-49	0,78
46-49	0,95			50-53	0,98
50-53	1,00			54-57	1,00



**Gambar 23.** Frekuensi Kumulatif Mobil Penumpang



**Gambar 24.** Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor



Gambar 25. Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor

b. Pendekat Selatan

1) Sepeda Motor

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk sepeda motor pada pendekat selatan :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{1668}{1+1668(0,1)^2} = 94 \text{ kendaraan}$$

2) Kendaraan Sedang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk kendaraan sedang pada pendekat selatan :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{55}{1+55(0,1)^2} = 35 \text{ kendaraan}$$

3) Mobil Penumpang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk mobil penumpang pada pendekat selatan :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

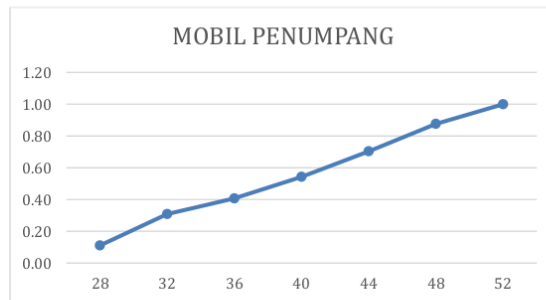
$$n = \frac{435}{1+435(0,1)^2} = 81 \text{ kendaraan}$$

Setelah ditemukan sampel pada setiap jenis kendaraan dilakukan penentuan besar interval kelas sebagai dasar pembentukan distribusi frekuensi

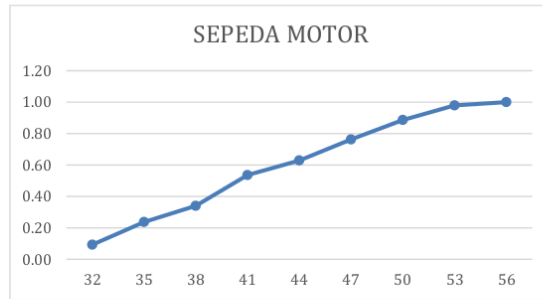
kecepatan kendaraan menggunakan rumus 3.2. Berdasarkan sampel dan perhitungan interval tersebut didapat hasil kumulatif frekuensi tiap jenis kendaraan pada pendekatan selatan adalah sebagai berikut :

**Tabel 5.3** Frekuensi Kumulatif Pendekat Selatan

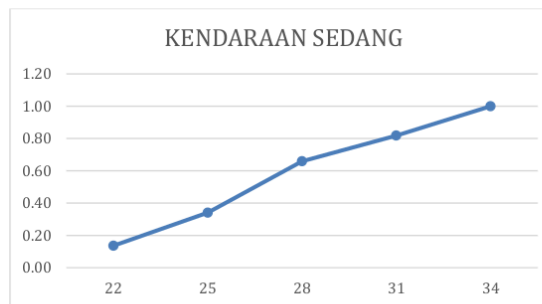
Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval KS	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
25-28	0,11	21-22	0,14	30-32	0,09
29-32	0,31	23-25	0,34	33-35	0,24
33-36	0,41	26-28	0,66	36-38	0,34
37-40	0,54	29-31	0,82	39-41	0,54
41-44	0,70	32-34	1,00	42-44	0,63
45-48	0,88			45-47	0,76
49-52	1,00			48-50	0,89
				51-53	0,98
				54-56	1,00



**Gambar 26.** Frekuensi Kumulatif Mobil Penumpang



Gambar 27. Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor



Gambar 28. Frekuensi Kumulatif Kendaraan Sedang

c. Pendekat Timur

1) Mobil Penumpang

Dalam penentuan sampel pada pendekat timur, dikarenakan hanya terdapat 3 mobil penumpang yang melintas saat jam puncak, sehingga seluruhnya dijadikan sampel untuk pengukuran kecepatan.

2) Sepeda Motor

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk sepeda motor pada pendekat timur :

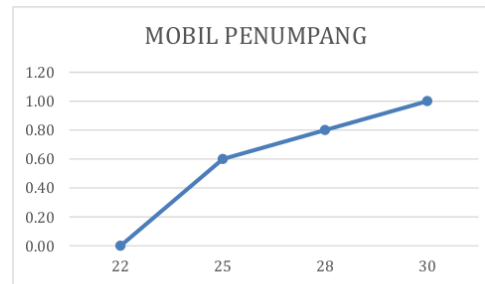
$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{214}{1+214(0,1)^2} = 68 \text{ kendaraan}$$

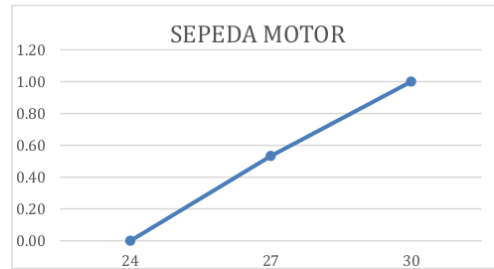
Setelah ditemukan sampel pada setiap jenis kendaraan dilakukan penentuan besar interval kelas sebagai dasar pembentukan distribusi frekuensi kecepatan kendaraan menggunakan rumus 3.2. Berdasarkan sampel dan perhitungan interval tersebut didapat hasil kumulatif frekuensi tiap jenis kendaraan pada pendekatan selatan adalah sebagai berikut :

**Tabel 5. 4.** Frekuensi Kumulatif Pendekat Timur

Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
23-24	0,60	25-26	0,43
25-27	0,60	27-28	0,62
28-30	1,00	29-30	1,00



**Gambar 29.** Frekuensi Kumulatif Mobil Penumpang



**Gambar 30.** Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor

d. Pendekat Barat

1) Mobil Penumpang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk mobil penumpang pada pendekat barat :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{353}{1+353(0,1)^2} = 77 \text{ kendaraan}$$

2) Kendaraan Sedang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk kendaraan sedang pada pendekat barat :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{9}{1+9(0,1)^2} = 8 \text{ kendaraan}$$

3) Sepeda Motor

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk sepeda motor pada pendekat barat :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

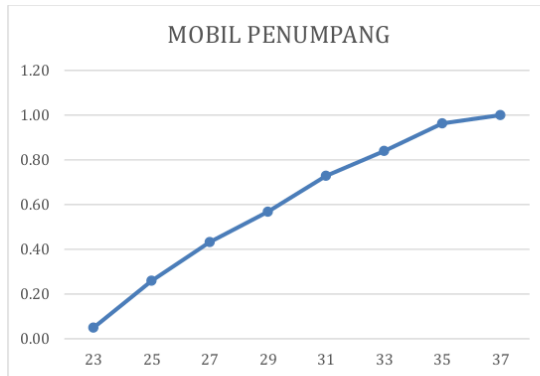
$$n = \frac{1535}{1+1535(0,1)^2} = 93 \text{ kendaraan}$$

Setelah ditemukan sampel pada setiap jenis kendaraan dilakukan penentuan besar interval kelas sebagai dasar pembentukan distribusi frekuensi kecepatan kendaraan menggunakan rumus **3.2**.

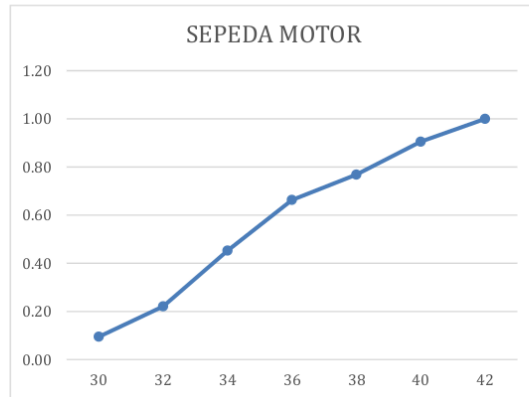
Berdasarkan sampel dan perhitungan interval tersebut didapat hasil kumulatif frekuensi tiap jenis kendaraan pada pendekat selatan adalah sebagai berikut :

**Tabel 5. 5** Frekuensi Kumulatif Pendekat Barat

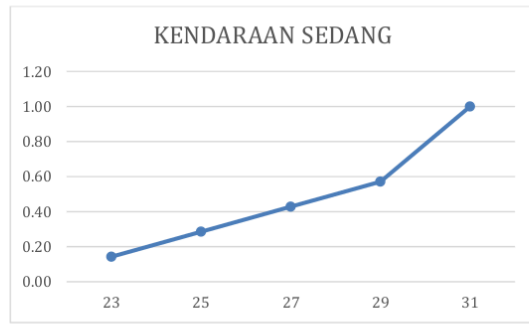
Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval KS	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
22-23	0,05	22-23	0,14	29-30	0,09
24-25	0,26	24-25	0,29	31-32	0,22
26-27	0,43	26-27	0,43	33-34	0,45
28-29	0,57	28-29	0,57	35-36	0,66
30-31	0,73	30-31	1,00	37-38	0,77
32-33	0,84			39-40	0,91
34-35	0,96			41-42	1,00
36-37	1,00				



**Gambar 31.** Frekuensi Kumulatif Mobil Penumpang



Gambar 32. Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor



Gambar 33. Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor

## 2. Hari Kerja (Weekday)

### a. Pendekat Utara

#### 1) Mobil Penumpang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk mobil penumpang pada pendekat utara :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{423}{1+423(0,1)^2} = 80 \text{ kendaraan}$$

#### 2) Kendaraan Sedang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk kendaraan sedang pada pendekatan utara :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{118}{1+118 (0,1)^2} = 54 \text{ kendaraan}$$

3) Sepeda Motor

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk sepeda motor pada pendekatan utara :

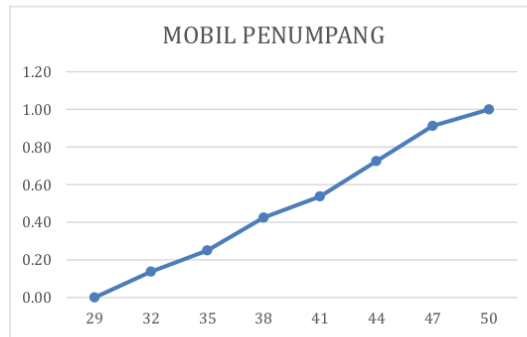
$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{2335}{1+2335 (0,1)^2} = 95 \text{ kendaraan}$$

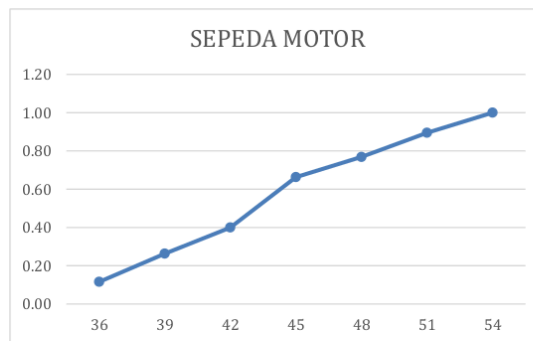
Setelah ditemukan sampel pada setiap jenis kendaraan dilakukan penentuan besar interval kelas sebagai dasar pembentukan distribusi frekuensi kecepatan kendaraan menggunakan rumus **3.2**. Berdasarkan sampel dan perhitungan interval tersebut didapat hasil kumulatif frekuensi tiap jenis kendaraan pada pendekatan selatan adalah sebagai berikut :

**Tabel 5.6** Frekuensi Kumulatif Pendekat Utara

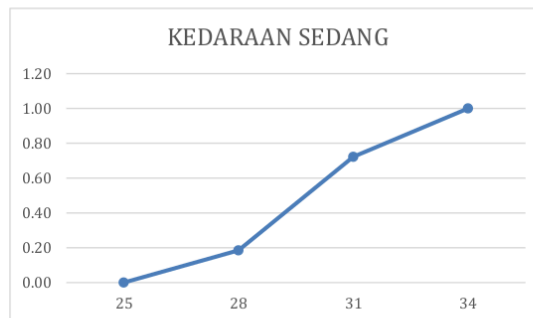
Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval KS	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
30-32	0,09	26-27	0,02	34-36	0,12
33-35	0,20	28-29	0,39	37-39	0,26
36-38	0,36	30-31	0,72	40-42	0,40
39-41	0,49	32-33	0,91	43-45	0,66
42-44	0,68	34-35	1,00	46-48	0,77
45-47	0,86			49-51	0,89
48-50	1,00			52-54	1,00



**Gambar 34.** Frekuensi Kumulatif Mobil Penumpang



**Gambar 35.** Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor



**Gambar 36.** Frekuensi Kumulatif Kendaraan Sedang

b. Pendekat Selatan

1) Mobil Penumpang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk mobil penumpang pada pendekat selatan :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$
$$n = \frac{328}{1+328(0,1)^2} = 82 \text{ kendaraan}$$

2) Kendaraan Sedang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk kendaraan sedang pada pendekat selatan :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$
$$n = \frac{77}{1+77(0,1)^2} = 43 \text{ kendaraan}$$

3) Sepeda Motor

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk sepeda motor pada pendekat selatan :

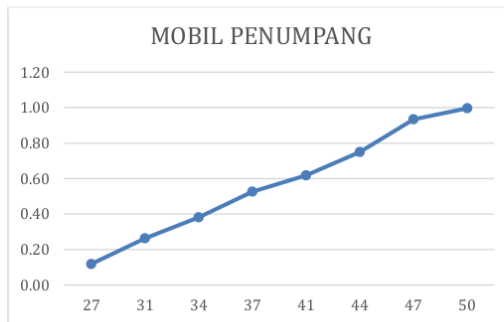
$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$
$$n = \frac{1709}{1+1709(0,1)^2} = 94 \text{ kendaraan}$$

Setelah ditemukan sampel pada setiap jenis kendaraan dilakukan penentuan besar interval kelas sebagai dasar pembentukan distribusi frekuensi kecepatan kendaraan menggunakan rumus **3.2**. Berdasarkan sampel dan perhitungan interval tersebut didapat hasil kumulatif frekuensi tiap jenis kendaraan pada pendekat selatan adalah sebagai berikut :

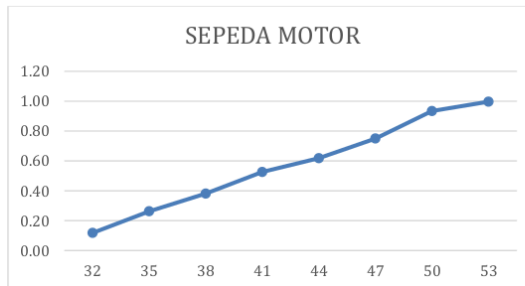
**Tabel 5. 7.** Frekuensi Kumulatif Pendekat Selatan

Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval KS	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
25-27	0,12	22-23	0,14	29	0,00
28-31	0,26	24-25	0,26	32	0,10
32-34	0,38	26-27	0,44	30-32	0,12

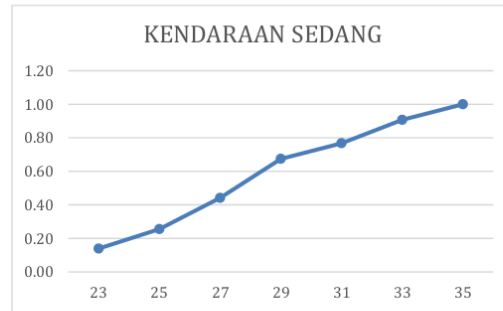
Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval KS	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
35-37	0,53	28-29	0,67	33-35	0,26
38-41	0,62	30-31	0,77	36-38	0,38
42-44	0,75	32-33	0,91	39-41	0,53
45-47	0,93	34-35	1,00	42-44	0,62
48-50	1,00			45-47	0,75
				48-50	0,93
				51-53	1,00



**Gambar 37.** Frekuensi Kumulatif Mobil Penumpang



**Gambar 38.** Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor



Gambar 39. Frekuensi Kumulatif Kendaraan Sedang

c. Pendekat Timur

1) Mobil Penumpang

Dalam penentuan sampel pada pendekat timur, dikarenakan hanya terdapat 6 mobil penumpang yang melintas saat jam puncak, sehingga seluruhnya dijadikan sampel untuk pengukuran kecepatan.

2) Sepeda Motor

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk sepeda motor pada pendekat timur :

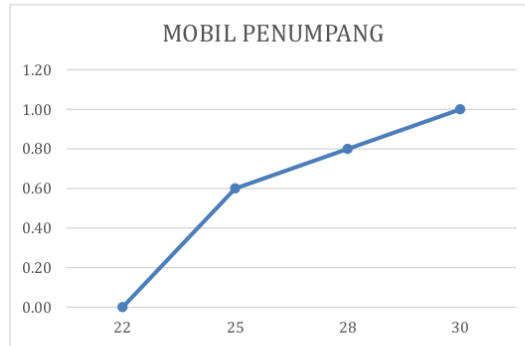
$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{298}{1+298(0,1)^2} = 74 \text{ kendaraan}$$

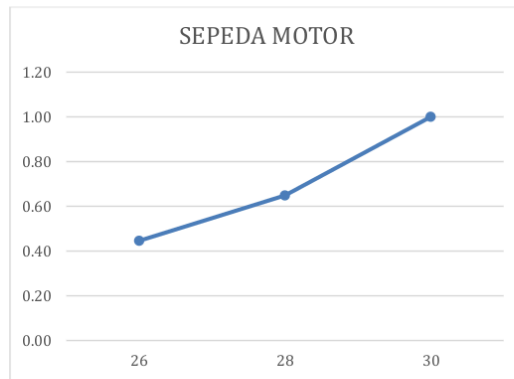
Berdasarkan sampel tersebut didapat hasil kumulatif frekuensi tiap jenis kendaraan pada pendekat timur adalah sebagai berikut :

**Tabel 5. 8** Frekuensi Kumulatif Pendekat Timur

Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
23-24	0,60	25-26	0,45
25-26	0,60	27-28	0,65
27-28	0,80	39-30	1,00
29-30	1,00		



**Gambar 40.** Frekuensi Kumulatif Mobil Penumpang



**Gambar 41.** Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor

d. Pendekat Barat

1) Mobil Penumpang

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk mobil penumpang pada pendekat barat :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$
$$n = \frac{416}{1+416(0,1)^2} = 82 \text{ kendaraan}$$

2) Kendaraan Sedang

Dalam penentuan sampel pada pendekat timur, dikarenakan hanya terdapat 8 kendaraan sedang yang melintas saat jam puncak, sehingga seluruhnya dijadikan sampel untuk pengukuran kecepatan.

3) Sepeda Motor

Berikut merupakan hasil olah data *spot speed* untuk sepeda motor pada pendekat barat :

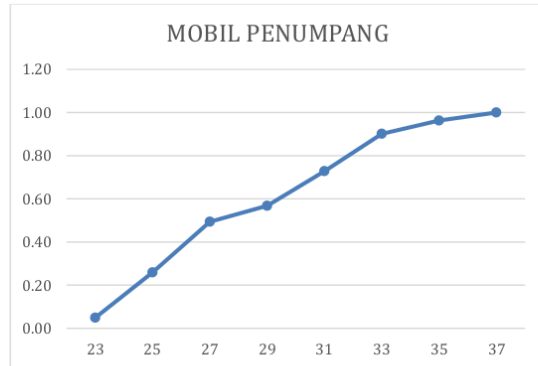
$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$
$$n = \frac{1859}{1+1859(0,1)^2} = 94 \text{ kendaraan}$$

Setelah ditemukan sampel pada setiap jenis kendaraan dilakukan penentuan besar interval kelas sebagai dasar pembentukan distribusi frekuensi kecepatan kendaraan menggunakan rumus **3.2**. Berdasarkan sampel dan perhitungan interval tersebut didapat hasil kumulatif frekuensi tiap jenis kendaraan pada pendekat selatan adalah sebagai berikut :

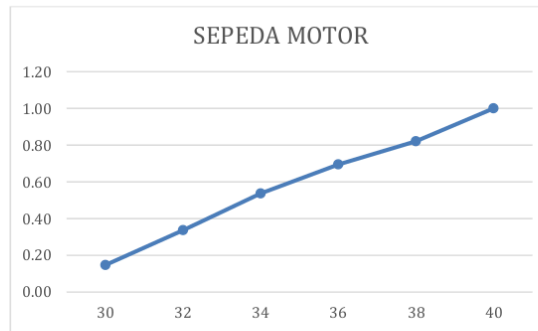
**Tabel 5. 9** Frekuensi Kumulatif Pendekat Barat

Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval KS	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
22-23	0,05	22-23	0,14	29-30	0,00
24-25	0,26	24-25	0,29	31-32	0,22
26-27	0,49	26-27	0,43	33-34	0,54

Interval MP	Frekuensi Kumulatif	Interval KS	Frekuensi Kumulatif	Interval SM	Frekuensi Kumulatif
28-29	0,57	28-29	0,57	35-36	0,77
30-31	0,73	30-311	1,00	37-38	1,00
32-33	0,90			39-40	
34-35	0,96				
36-37	1,00				



**Gambar 42.** Frekuensi Kumulatif Mobil Penumpang



**Gambar 43.** Frekuensi Kumulatif Sepeda Motor



Gambar 44. Frekuensi Kumulatif Kendaraan Sedang

## 5.2 Analisis Data Perencanaan Simpang

Perencanaan desain rekayasa simpang merupakan salah satu upaya untuk mengoptimalkan kinerja simpang. Tahapan yang dilakukan dalam proses perencanaan simpang meliputi penentuan tipe pengendalian simpang yang efektif digunakan sesuai dengan arus lalu lintas pada simpang tersebut, Selanjutnya dilakukan penentuan plan untuk memperoleh waktu siklus dan waktu hijau yang sesuai diterapkan pada plan tersebut. Berikut merupakan tahapan dalam melakukan analisis perencanaan simpang.

### 5.2.1. Penentuan Tipe Pengendalian Simpang

Perencanaan tipe pengendalian simpang menurut grafik *Australian Road Research Board* dilihat berdasarkan lalu lintas harian rata-rata (LHR) dimana apabila arus minor lebih dari 10.000 kend/hari dan kurang dari 12.000 kend/hari sedangkan arus mayor kurang dari 45.000 kend/hari maka diperlukan tipe pengendalian berupa bundaran atau Apill. Berdasarkan hasil analisis maka didapatkan data LHR pada simpang 4 Gatot Subroto Malang adalah sebagai berikut.

**Tabel 5. 10** Total Arus Kendaraan

	Weekend	Weekday
Mayor	64709 kend/hari	63181 kend/hari
Minor	23485 kend/hari	27708 kend/hari

$$LHR \text{ Arus Mayor} = \frac{64709 + 63181}{2} = 63945 \text{ kend/hari}$$

$$LHR \text{ Arus Minor} = \frac{23485 + 27708}{2} = 25596 \text{ kend/hari}$$

Hasil analisis menunjukkan bahwa LHR arus mayor sebesar 63945 kend/hari dan arus mayor sebesar 25596 kend/ hari. Berdasarkan LHR tersebut, tipe pengendalian yang ideal untuk memecah konflik pada simpang 4 Gatot Subroto Malang adalah simpang tidak sebidang. Namun, dikarenakan melihat dari kondisi tata guna lahan dari simpang tersebut yaitu terdapat perlintasan tidak sebidang dan jembatan pada salah satu lengannya maka pengaturan simpang dengan APILL menjadi salah satu alternatif yang layak dipertimbangkan untuk mengurangi konflik serta meningkatkan kinerja simpang.

#### 5.2.2. Penentuan Fase Simpang

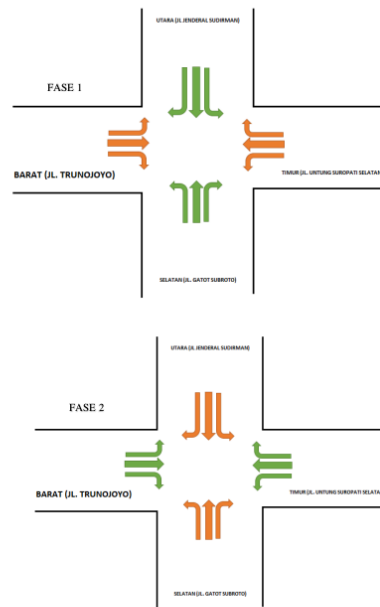
Menurut (PKJI, 2023), pengaturan fase yang paling optimal digunakan untuk memecah konflik primer adalah pengaturan 2 fase dimana memiliki waktu tundaan yang lebih rendah dibandingkan dengan 3 atau 4 fase. Pemilihan tipe fase yang digunakan pada suatu simpang ditentukan oleh besarnya arus belok kanan. Apabila arusnya melebihi 200 smp/jam, maka perlu dilakukannya pemisahan fase untuk menghindari konflik. Berikut merupakan rekapitulasi arus belok kanan tiap pendekat di jam puncak pada simpang 4 Gatot Subroto Malang.

**Tabel 5. 11** Arus Belok Kanan Tiap Pendekat

Pendekat	Hari Kerja	Akhir Pekan
Utara	74 smp/jam	104,4 smp/jam
Selatan	5,8 smp/jam	11,2 smp/jam

Pendekat	Hari Kerja	Akhir Pekan
Timur	3,6 smp/jam	1,2 smp/jam
Barat	369 smp/jam	318,2 smp/jam

Berdasarkan total arus belok kanan, pengaturan 2 fase merupakan opsi yang paling optimal diterapkan pada simpang ini. Hal tersebut didukung oleh rendahnya volume arus lurus dari pendekat timur, yaitu sebesar 7,4 smp/jam pada akhir pekan, dan 7,8 smp/jam pada hari kerja. Kondisi ini mengindikasikan minimnya potensi konflik antara kendaraan belok kanan dari pendekat barat dengan arus lurus dari pendekat timur. Maka dengan pengaturan 2 fase akan meminimalkan waktu tundaan pada simpang sehingga mampu menurunkan panjang antrean.



Gambar 45. Tipe Fase Rekomendasi

### 5.2.3. Permodelan Vissim

Permodelan menggunakan perangkat lunak Vissim bertujuan untuk menggambarkan kondisi lalu lintas yang aktual di lapangan melalui simulasi mikroskopik dimana memperhatikan perilaku berkendara dan interaksi antar kendaraan dalam suatu jaringan jalan tertentu. Perangkat lunak Vissim digunakan untuk menganalisis kinerja eksisting maupun perencanaan pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang. Dalam permodelan dilakukan tahap kalibrasi dan validasi untuk memastikan hasil simulasi sesuai dengan kondisi nyata.

#### 1. Kalibrasi Vissim

Kalibrasi dilakukan dengan metode *trial and error* pada parameter perilaku pengemudi (*driving behaviour*) yang diubah sesuai dengan perkiraan kondisi di lapangan. Berikut merupakan parameter yang disesuaikan pada proses kalibrasi *driving behaviour* pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang .

**Tabel 5. 12.** Driving Behaviour Lengan Utara

PARAMETER	NILAI	
	SEBELUM	SESUDAH
Average standstill distance	2,00	0,45
Additive part of safety distance	2,00	0,5
Multiplic. Part of safety distance	3,00	0,5
Desired position at free flow	Middle of lane	Any
Overtake left	Off	On
Overtake right	Off	On
Distance standing	1,00	0,45
Distance driving	1,00	0,45
Look ahead distance (maximum)	250	100
Look back distance (maximum)	150	100
Num of interaction objects	2	3

**Tabel 5. 13** Driving Behaviour Lengan Selatan

PARAMETER	NILAI	
	SEBELUM	SESUDAH
Average standstill distance	2,00	0,52
Additive part of safety distance	2,00	0,45
Multiplic. Part of safety distance	3,00	0,45

PARAMETER	NILAI	
	SEBELUM	SESUDAH
Desired position at free flow	Middle of lane	Any
Overtake left	Off	On
Overtake right	Off	On
Distance standing	1,00	0,45
Distance driving	1,00	0,45
Look ahead distance (maximum)	250	100
Look back distance (maximum)	150	100
Num of interaction objects	2	4

Tabel 5. 14 Driving Behaviour Lengan Minor

PARAMETER	NILAI	
	SEBELUM	SESUDAH
Average standstill distance	2,00	0,45
Additive part of safety distance	2,00	0,45
Multipl. Part of safety distance	3,00	0,45
Desired position at free flow	Middle of lane	Any
Overtake left	Off	On
Overtake right	Off	On
Distance standing	1,00	0,37
Distance driving	1,00	0,45
Look ahead distance (maximum)	250	200
Look back distance (maximum)	150	100

## 2. Validasi Vissim

Validasi permodelan dilakukan guna memastikan bahwa permodelan yang dibangun telah mempresentasikan kondisi yang sesuai dengan lapangan. Sebelumnya, model telah melalui proses kalibrasi driving behavior. Proses validasi menggunakan uji GEH dengan menggunakan persamaan berikut.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{simulated} - q_{observed})^2}{0,5 \times (q_{simulated} + q_{observed})}} \quad (5.1)$$

Parameter yang digunakan untuk membuktikan bahwa model tersebut valid apabila nilai GEH <0,5. Berikut merupakan contoh perhitungan dan hasil dari uji GEH pada kondisi hari kerja dan akhir pekan.

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

$$GEH = \sqrt{\frac{(2737-2873)^2}{0,5 \times (2737+2873)}} = 2,56$$

**Tabel 5. 15** Hasil Uji GEH Hari Kerja

Pendekat	Arus observasi	Arus simulasi	Geh	Keterangan
Utara	2873	2737	2,567867	Diterima
Selatan	1996	1965	0,696585	Diterima
Timur	304	313	0,512407	Diterima
Barat lurus dan kanan	1366	1358	0,216771	Diterima
Barat kiri	1064	1062	0,061343	Diterima

**Tabel 5. 16** Hasil Uji GEH Akhir Pekan

Pendekat	Arus observasi	Arus simulasi	Geh	Keterangan
Utara	2.366	2386	0,410305	Diterima
Selatan	2.014	2029	0,333622	Diterima
Timur	217	225	0,538138	Diterima
Barat lurus dan kanan	1.044	1058	0,431844	Diterima
Barat kiri	759	742	0,620545	Diterima

#### 5.2.4. Analisis Kinerja Eksisting

Permodelan yang telah dibangun dan dikalibrasi digunakan untuk melakukan analisis terhadap kinerja eksisting, dimana parameter untuk mengukur kinerja eksisting pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang meliputi tundaan dan panjang antrean. Berikut merupakan hasil kinerja eksisting pada jam puncak dalam 1 hari dalam kondisi hari kerja dan akhir pekan.

**Tabel 5. 17.** Kinerja Eksisting Hari Kerja

Jam sibuk	Pendekat	Panjang antrean	Tundaan
16.30-17.30	Utara	142	21
	Selatan	458	74
	Timur	12	3
	Barat	0	3
	Simpang	495	28

Berdasarkan hasil analisis diatas, didapat bahwa pada jam puncak saat hari kerja memiliki rata-rata panjang antrean pada simpang sebesar 495 m dengan tundaan rata-rata simpang sebesar 28 detik. Lengan selatan merupakan lengan dengan kinerja terburuk dimana memiliki nilai panjang antrean sebesar 458 m dengan tundaan 74 detik

**Tabel 5. 18** Kinerja Eksisting Akhir Pekan

Jam sibuk	Pendekat	Panjang antrean	Tundaan
16.30-17.30	Utara	67	4
	Selatan	271	35
	Timur	9	3
	Barat	0	2
	Simpang	319	15

Berdasarkan hasil analisis diatas, didapat bahwa pada jam puncak saat akhir pekan memiliki rata-rata panjang antrean pada simpang sebesar 319 m dengan tundaan rata-rata simpang sebesar 15 detik. Lengan selatan merupakan lengan dengan kinerja terburuk dimana memiliki nilai panjang antrean sebesar 271 m dengan tundaan 35 detik

#### 5.2.5. <sup>52</sup> Penentuan Nilai Arus Jenuh Dasar

Perhitungan nilai arus jenuh didasari oleh nilai arus jenuh dasar, dimana untuk tipe terlindung digunakan nilai 600 sebagai faktor pengali, dan untuk tipe terlawan ditentukan berdasarkan grafik. Kalibrasi ulang terhadap faktor pengali arus jenuh khususnya pada nilai “600” dilakukan untuk memperoleh nilai yang sesuai untuk diterapkan sesuai dengan kondisi wilayah

dimana dalam hal ini dilihat berdasarkan panjang antrean pada wilayah studi.

#### 1. Panjang Antrean PKJI

##### a. Hari Kerja

##### 1) Arus Jenuh Dasar

Sebelum proses kalibrasi, nilai arus jenuh dasar pada tiap pendekatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$J_0 = 600 \times L_e$$

$$J_0 = 600 \times 4,2 = 2520$$

Berikut merupakan tabel rekapitulasi arus jenuh dasar pada tiap pendekatan simpang.

**Tabel 5. 19.** Tabel Arus Jenuh Dasar

	Lebar Pendekat	J <sub>0</sub>
Utara	4,2 m	2520
Selatan	4,2 m	2520
Timur	12, 8 m	7680
Barat	2,7 m	1620

##### 2) Faktor Koreksi

Dalam penentuan arus jenuh maka diperlukan faktor koreksi dimana terdiri atas faktor ukuran kota yang terdapat pada tabel 2.2, faktor koreksi hambatan samping yang terdapat pada tabel 2.1, faktor kelandaian yang terdapat pada Gambar 10, dan faktor parkir. Berikut merupakan rekapitulasi nilai faktor koreksi pada tiap pendekatan.

**Tabel 5. 20.** Tabel Faktor Koreksi

Pendekat	F <sub>uk</sub>	F <sub>hs</sub>	F <sub>G</sub>	F <sub>p</sub>
Utara	0,94	0,98	1	1
Selatan	0,94	0,98	1	1
Barat	0,94	0,97	1	1
Timur	0,94	0,95	1	1

##### 3) Arus Jenuh yang Disesuaikan

Nilai arus jenuh pada tiap pendekat didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a}$$

$$J = 2520 \times 0,98 \times 0,94 \times 1 \times 1$$

$$= 2321,42$$

Dengan menggunakan perhitungan tersebut, berikut merupakan rekapitulasi arus jenuh pada tiap pendekat.

**Tabel 5. 21** Arus Jenuh Tiap Pendekat

Pendekat	Arus Jenuh
Utara	2321,42
Selatan	2321,42
Barat	6713,86
Timur	1477,12

4) Rasio Arus

Rasio arus tiap pendekat ditentukan berdasarkan arus lalu lintas pada tiap pendekat dibagi dengan nilai arus jenuh dasar. Dalam penentuan nilai rasio arus dihitung melalui persamaan berikut.

$$Rq = \frac{q}{j}$$

$$Rq = \frac{1508}{2321} = 0,65$$

Dengan menggunakan perhitungan tersebut, berikut merupakan rekapitulasi rasio arus pada tiap pendekat.

**Tabel 5. 22** Nilai Rasio Arus

Pendekat	Rasio Arus
Utara	0,65
Selatan	0,45
Barat	0,08
Timur	0,09

5) Rasio Arus Simpang

Rasio arus simpang merupakan total dari rasio arus pada fase yang berbeda. Berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk perhitungan rasio arus simpang.

$$R_{AS} = \sum R_{q/jkritis}$$

$$R_{AS} = 0,65 + 0,09 = 0,74$$

6) Rasio Fase

Rasio Fase merupakan perbandingan antara rasio arus yang tertinggi dalam 1 fase yang sama dengan rasio arus simpang. Nilai dari rasio fase dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$RF = \frac{R_{q/jkritis}}{R_{AS}}$$

$$RF 1 = \frac{R_{q/jkritis}}{R_{AS}} = \frac{0,65}{0,74} = 0,88$$

$$RF 2 = \frac{R_{q/jkritis}}{R_{AS}} = \frac{0,9}{0,74} = 0,12$$

7) Waktu Isyarat Apill

a. Waktu Merah Semua

Waktu merah semua dihitung berdasarkan jarak dari garis henti menuju titik konflik, baik untuk kendaraan datang dan kendaraan berangkat.

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan WMS.

$$W_{MS} = \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}}$$

$$W_{MS} = \frac{24+5}{10} - \frac{14}{10} = 1,5$$

Berdasarkan hasil tersebut maka waktu merah semua untuk simpang ini adalah sebesar 2 detik.

b. Waktu Hijau Hilang

Nilai waktu hijau hilang didasarkan oleh nilai waktu merah semua, waktu kuning serta fase pada simpang tersebut. Dimana panjang dari waktu kuning di kota indonesia biasanya ditetapkan 3,0

detik. Nilai WHH dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$W_{HH} = \sum i(wms + wk)i$$

$$W_{HH} = (2 + 3) \times 2 = 10 \text{ detik}$$

Berdasarkan perhitungan maka nilai waktu hijau hilang adalah sebesar 15 detik.

c. Waktu Siklus

Waktu siklus yang diterapkan pada simpang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$s = \frac{(1,5 - W_{HH} + 5)}{(1 - \sum \frac{R_{q/jkritis}}{q})}$$

$$s = \frac{(1,5 - 10 + 5)}{(1 - 0,74)} = 77$$

Melalui hasil persamaan maka didapat waktu siklus yang digunakan sebesar 77 detik.

d. Waktu Hijau

Perhitungan yang digunakan untuk mengetahui waktu hijau tiap fase pada simpang adalah sebagai berikut.

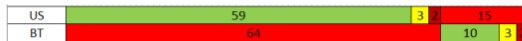
$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/jkritis}}{\sum i(R_{q/jkritis})i}$$

$$W_{Hi} = (77 - 10) \times \frac{0,65}{0,76} = 59 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil perhitungan berikut merupakan hasil distribusi waktu hijau pada tiap pendekatan.

Tabel 5. 23. Distribusi Waktu Hijau

Utara dan Selatan	59
Barat dan Timur	8



Gambar 46. Diagram Fase Jam Puncak

8) Waktu Siklus yang Disesuaikan

Waktu siklus yang disesuaikan merupakan total antara waktu hijau yang paling tinggi dalam tiap fase.

Pada simpang ini waktu siklus yang disesuaikan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$s = \sum R_{\frac{q}{jkr\text{itis}}} + WHH$$

$$S = 59 + 8 + 10 = 77 \text{ Detik}$$

9) Kapasitas

Kapasitas pada simpang dengan pengaturan APILL dihitung berdasarkan distribusi waktu hijau pada tiap pendekat. Berikut merupakan perhitungan kapasitas pada tiap pendekat.

$$C = J x \frac{WH}{S}$$

$$C = 2321 x \frac{59}{77} = 1774$$

Berdasarkan hasil perhitungan maka didapat kapasitas pada setiap lengan sebagai berikut.

**Tabel 5. 24** Kapasitas tiap lengan

Utara	1774
Selatan	1774
Timur	147
Barat	711

23

10) Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara volume lalu lintas dengan kapasitas. Berikut merupakan perhitungan derajat kejenuhan pada tiap pendekat simpang.

$$Dj = \frac{v}{c}$$

$$Dj = \frac{1508}{1774} = 0,85$$

Berikut merupakan rekapitulasi nilai derajat kejenuhan pada tiap pendekat.

**Tabel 5. 25** Derajat Kejenuhan

Utara	0,85
Selatan	0,85
Timur	0,85
Barat	0,85

11) Rasio Hijau

Rasio hijau dihitung berdasarkan perbandingan antara kapasitas dengan waktu hijau. Dalam menentukan nilai dari rasio hijau adalah dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R_H = \frac{W_{Hi}}{c}$$
$$R_H = \frac{59}{1774} = 0,033$$

Berikut merupakan hasil rekapitulasi waktu hijau pada masing masing pendekat.

Tabel 5. 26. Rasio Fase Tiap Pendekat

Utara	0,033
Selatan	0,033
Timur	0,052
Barat	0,011

12) Jumlah Kendaraan Mengantre (NQ)

Jumlah kendaraan yang mengantre dalam satu periode jam sibuk merupakan akumulasi dari kendaraan yang tersisa pada waktu hijau sebelumnya dengan kendaraan yang datang selama fase merah dalam satuan mobil penumpang (smp) dimana termasuk ke dalam data kategorik untuk menyertakan berbagai jenis kendaraan dalam satuan yang sama. Dalam melakukan kalibrasi terhadap nilai arus jenuh dasar menggunakan jumlah kendaraan maksimum yang mengantre dimana dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

Jika  $D_j > 0,5$ , maka

$$Nq1 = 0,25 \times s \times ((D_j - 1) + \sqrt{(D_j - 1)^2 + \frac{8 \times (D_j - 0,5)}{s}})$$

$$Nq1 = 0,25 \times 77 \times ((0,85 - 1) + \sqrt{(0,85 - 1)^2 + \frac{8 \times (0,85 - 0,5)}{77}})$$

$$= 1,78 \text{ smp}$$

$$Nq 2 = s x \frac{(1-Rh)}{(1-Rh x Df)} x \frac{q}{3600}$$

$$Nq 2 = 77 x \frac{(1-0,033)}{(1-0,033 x 0,85)} x \frac{1508}{3600} = 32,049 \text{ smp}$$

Setelah mendapat nilai Nq1 dan Nq 2 maka dapat dihitung total panjang antrian pada suatu pendekan dengan persamaan sebagai berikut.

$$Nq = Nq1 + Nq 2$$

$$Nq = 1,788 + 32,049 = 33,837 \text{ smp}$$

Untuk menentukan jumlah kendaraan maksimal yang mengantre menggunakan grafik yang terdapat pada Gambar 11. Berdasarkan nilai tersebut berikut merupakan rekapitulasi nilai antrian pada tiap pendekat.

**Tabel 5. 27** Jumlah Kendaraan Mengantre PKJI Hari Kerja

	Nq1 (smp)	Nq2 (smp)	Nq (smp)	Nqmax
Utara	1,788	32,049	33,837	135,35
Selatan	2,287	22,048	24,335	97,34
Timur	1,788	2,652	4,440	17,76
Barat	1,788	12,894	14,681	29,36

b. Akhir Pekan

Penentuan jumlah kendaraan yang mengantre pada hari kerja menggunakan persamaan 3.1 hingga 3.19. Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh kemudian diperoleh hasil rekapitulasi jumlah kendaraan yang mengantre pada tiap pendekat sebagai berikut :

**Tabel 5. 28** Jumlah Kendaraan Mengantre PKJI Akhir Pekan

	Nq1 (smp)	Nq2 (smp)	Nq (smp)	Nqmax
Utara	1,054	19,563	20,617	61,85
Selatan	0,484	16,665	17,148	51,44
Timur	0,257	1,326	1,584	11,08
Barat	1,054	7,851	8,906	26,72

## 2. Jumlah Kendaraan Mengantre Vissim

Jumlah Kendaraan yang mengantre pada vissim (Qstop) merupakan hasil dari simulasi setelah diperoleh waktu siklus dan waktu hijau berdasarkan perhitungan PKJI. Nilai waktu siklus dan waktu hijau tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan vissim lalu menghasilkan nilai panjang antrean serta jumlah dari kendaraan yang mengantre pada kondisi tersebut diasumsikan mempresentasikan kondisi aktual di lapangan. Berikut merupakan jumlah kendaraan yang mengantre setelah dilakukan simulasi.

**Tabel 5. 29** Jumlah Kendaraan Mengantre pada Vissim Hari Kerja

	PA
Utara	72
Selatan	109
Timur	25
Barat	30

**Tabel 5. 30** Jumlah Kendaraan Mengantre pada Vissim Akhir Pekan

	PA
Utara	80
Selatan	68
Timur	35
Barat	40

## 3. Kalibrasi Nilai Arus Jenuh Dasar dengan Solver

Proses kalibrasi nilai arus jenuh dasar dilakukan dengan membandingkan panjang antrean hasil perhitungan dan panjang antrean eksisting yang didapat melalui kinerja vissim. Kemudian dilakukan uji chi-square untuk mengetahui tingkat kesalahan permodelan terhadap kondisi eksisting dengan menggunakan rumus berikut.

$$X^2 = \sum \frac{(F_0 - F_h)^2}{F_h}$$
$$\frac{(72 - 135,35)^2}{72} = 55,73$$

Dengan menggunakan rumus tersebut maka didapatkan nilai dari tingkat kesalahan tingkat permodelan sebagai berikut :

**Tabel 5. 31** Nilai Tingkat Kesalahan Permodelan Hari Kerja

	PKJI	VISSIM	Uji Chi-Square
Utara	135,35	72	55,733
Selatan	97,34	109	1,248
Timur	17,76	25	2,097
Barat	29,36	30	0,014
Total			67,9744

**Tabel 5. 32** Nilai Tingkat Kesalahan Permodelan Akhir Pekan

	PKJI	VISSIM	Uji Chi-Square
Utara	61,85	80	4,117
Selatan	51,44	68	4,030
Timur	11,08	35	16,341
Barat	26,72	40	4,411
Total			28,900

Nilai total tersebut merupakan nilai dari indikator kinerja untuk pengambilan keputusan kemudian dilakukan solver pada excel dengan nilai 600 yang merupakan nilai batas. Setelah melakukan solver didapat faktor pengali untuk nilai arus jenuh dasar pada kondisi hari kerja sebesar 681 dan kondisi akhir pekan sebesar 517.

#### 5.2.5. Analisis Perencanaan Plan

Perencanaan plan dalam 1 hari pada simpang 4 Gatot Subroto Malang bertujuan untuk mengetahui pola karakteristik lalu lintas harian, yang dianalisis berdasarkan hasil pengamatan selama 24 jam, dimulai pada pukul 03.00 WIB. Pola ini akan mempengaruhi perbedaan kebutuhan waktu siklus yang untuk melayani berbagai kondisi lalu lintas yang terjadi dalam 1 hari. Pembagian periode dalam 1 hari didasarkan pada kondisi dimana waktu siklus awal yang diterapkan pada suatu periode tertentu sudah tidak mampu memberikan kinerja yang optimal pada periode selanjutnya. Hal ini ditunjukkan oleh nilai derajat kejenuhan yang melebihi 0,85, khususnya pada periode sibuk. Nilai tersebut mengindikasikan

bahwa diperlukannya perencanaan siklus baru agar dapat melayani arus lalu lintas pada periode tersebut. Setiap plan dirancang dengan waktu siklus yang disesuaikan secara spesifik terhadap kondisi lalu lintas pada jam tersebut agar memperoleh waktu siklus optimal untuk menjaga kinerja simpang tetap dalam batas efisiensi operasional. Pada simpang 4 Gatot Subroto Malang diperlukan adanya perbedaan kebutuhan waktu siklus dalam 2 kondisi agar mampu memberikan pelayanan yang optimal baik dalam kondisi akhir pekan dan hari kerja.

#### 1. Hari Kerja

Penentuan periode waktu untuk perencanaan simpang APILL pada kondisi ini dianalisis dengan pendekatan PKJI 2023 menggunakan 2 fase agar mengetahui garis batas dimulainya setiap plan atau periode waktu operasional. Analisis yang dilakukan terkait waktu siklus yang dibutuhkan serta nilai derajat kejenuhan pada setiap periode menggunakan persamaan 3.1 hingga 3.15, dimana dimulai dari penentuan nilai arus jenuh dasar dengan faktor pengali sebesar 681 untuk kondisi hari kerja kemudian didapatkan arus jenuh dasar pada tiap pendekat. Berdasarkan nilai tersebut, selanjutnya dihitung kapasitas serta nilai derajat kejenuhan pada masing masing pendekat. Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan dalam penentuan plan pada hari kerja.

**Tabel 5.33** Penentuan Batas Plan 1 dan Plan 2

WAKTU	VOLUME				TOTAL	WAKTU SIKLUS	WAKTU HIJAU		DJ			
	U	S	T	B			US	BT	U	S	B	T
03.00-04.00	154,5	158,9	4,4	82	399,8	22	11	6	0,20	0,20	0,20	0,04
03.15-04.15	158,3	178,1	8	89	433,4	23	11	5	0,21	0,21	0,21	0,05
03.30-04.30	166,7	198,4	12,8	84,8	462,7	23	11	5	0,22	0,22	0,22	0,05
03.45-04.45	189,8	225,1	19,8	89,6	524,3	22	11	6	0,24	0,28	0,20	0,05
04.00-05.00	205,5	274,6	26,2	90	596,3	31	11	10	0,29	0,29	0,29	0,04
04.15-05.15	254,4	337,5	33	94,8	719,7	31	11	10	0,36	0,35	0,36	0,04

WAKTU	VOLUME				TOTAL	WAKTU SIKLUS	WAKTU HIJAU		DJ			
	U	S	T	B			US	BT	U	S	B	T
04.30-05.30	306,1	437,5	34,2	115	892,8	31	11	10	0,43	0,46	0,38	0,05
04.45-05.45	382,4	584,9	34,8	134,9	1137	31	11	10	0,54	0,61	0,38	0,06
05.00-06.00	493,8	757,1	42,4	172,3	1465,6	31	11	10	0,69	0,79	0,47	0,07
05.15-06.15	497,8	801,5	49,6	200,9	1549,8	31	11	10	0,70	0,84	0,55	0,08
05.30-06.30	752,7	1077	76	251,2	2157,16	31	11	10	0,79	1,13	0,84	0,10

Berdasarkan tabel diatas dilihat bahwa awal dimulainya plan 1 atau peralihan dari flashing menjadi pengaturan APILL dimulai pada pukul 04.00 WIB, hal ini ditandai dengan terpenuhnya waktu hijau minimum pada satu fase. Waktu siklus yang ada pada jam tersebut diterapkan ke jam berikutnya kemudian dapat dilihat bahwa pada pukul 05.30-06.30 sudah menunjukan kinerja yang tidak optimal pada lengan selatan dimana nilai derajat kejenuhan melebihi 0,85, maka jam tersebut merupakan awal dimulainya plan 2 atau jam sibuk pagi. Untuk akhir dari plan 2 ditentukan berdasarkan perpotongan garis lurus pada grafik time series dilihat dari kemiripan volume pada jam tersebut yaitu sebesar 2157,16 smp/jam pada pukul 05.30-06.30 dan 2215,3 smp/ jam pada pukul 08.15-09.15 yang merupakan batas akhir plan 1.

**Tabel 5. 34** Penentuan Batas Awal Plan 4

WAKTU	VOLUME				TOTAL	WAKTU SIKLUS	WAKTU HIJAU		DJ			
	U	S	T	B			US	BT	U	S	B	T
08.15-09.15	794,4	1003	89	329,1	2215,3	42	22	10	0,58	0,72	1,12	0,74
08.30-09.30	763,2	942,6	75,2	308,7	2089,7	42	22	10	0,56	0,68	0,95	0,69
08.45-09.45	728,8	886,5	66,4	296,9	1978,6	42	22	10	0,53	0,64	0,84	0,67
09.00-10.00	704,4	834,3	62	298,1	1898,8	42	22	10	0,51	0,60	0,78	0,67
09.15-10.15	674,5	790,4	55,2	294	1814,1	42	22	10	0,49	0,57	0,70	0,66
09.30-10.30	653,6	759,1	52,2	305,4	1770,3	42	22	10	0,48	0,55	0,66	0,69
09.45-10.45	653,8	752,9	55,2	322,8	1784,7	42	22	10	0,48	0,54	0,70	0,72
10.00-11.00	676,3	755,1	52,4	338,2	1822	42	22	10	0,49	0,54	0,66	0,76
10.15-11.15	718,8	786,1	60,8	376,6	1942,3	42	22	10	0,52	0,57	0,77	0,85
10.30-11.30	780,6	845,4	71	441,3	2138,3	35	22	10	0,47	0,51	0,74	1,01

Berdasarkan tabel diatas dilihat bahwa awal dimulainya plan 4 dimana menjadi periode sibuk siang dimulai pada pukul 10.30-11.30 WIB, hal ini ditandai dengan kinerja yang tidak optimal pada lengan timur dimana nilai derajat kejenuhan melebihi 0,85, maka jam tersebut merupakan awal dimulainya plan 4 atau jam sibuk siang. Untuk akhir dari plan 4 ditentukan berdasarkan perpotongan garis lurus pada grafik time series dilihat dari kemiripan volume pada jam tersebut yaitu sebesar 2138,3 smp/jam pada pukul 10.30-11.30 dan 2077,9 smp/jam pada pukul 13.00-14.00 yang merupakan batas akhir plan 4.

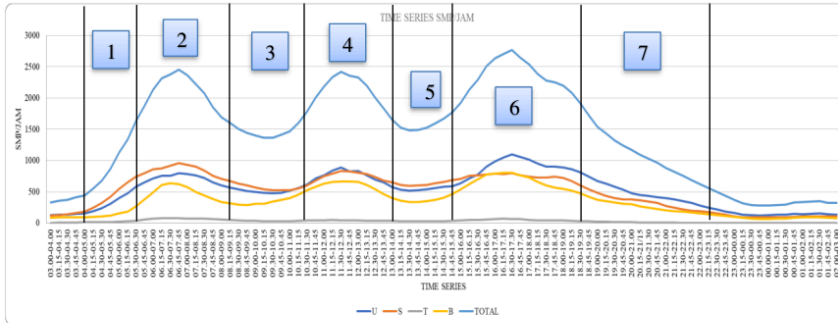
**Tabel 5. 35** Penentuan Batas Awal Plan 6

WAKTU	VOLUME				TOTAL	WAKTU SIKLUS	WAKTU HIJAU		DJ			
	U	S	T	B			US	BT	U	S	B	T
13.00-14.00	749,8	926,9	54,8	346,4	2077,9	41	21	10	0,55	0,69	0,69	0,18
13.15-14.15	702,7	883,8	52,6	315,2	1954,3	41	21	10	0,51	0,66	0,67	0,17
13.30-14.30	693,6	868,5	51	306	1919,1	41	21	10	0,51	0,65	0,65	0,16
13.45-14.45	710,6	874,5	48,2	314	1947,3	41	21	10	0,52	0,66	0,61	0,17
14.00-15.00	729,7	888,3	49,6	324,6	1992,2	41	21	10	0,53	0,67	0,63	0,17
14.15-15.15	758,3	919	51,2	347,6	2076,1	41	21	10	0,56	0,69	0,65	0,18
14.30-15.30	775,6	946,3	55,4	370,4	2147,7	41	21	10	0,57	0,71	0,70	0,20
14.45-15.45	781,5	974,3	66,8	404	2226,6	41	21	10	0,57	0,73	0,85	0,21

Berdasarkan tabel diatas dilihat bahwa awal dimulainya plan 6 dimana menjadi periode sibuk sore dimulai pada pukul 14.45-15.45 WIB, hal ini ditandai dengan kinerja yang tidak optimal pada lengan barat dimana nilai derajat kejenuhan melebihi 0,85, maka jam tersebut merupakan awal dimulainya plan 6 atau jam sibuk sore. Untuk akhir dari plan 6 ditentukan berdasarkan perpotongan garis lurus pada grafik time series dilihat dari kemiripan volume pada jam tersebut yaitu sebesar 2226,6 smp/jam pada pukul 14.45-15.45 dan 2428,1 smp/jam

smp/jam pada pukul 18.30-19.30 yang merupakan batas akhir plan 6.

Hasil analisa dari perpotongan pada tiap plan didapatkan bahwa simpang 4 Gatot Subroto Malang terbagi atas 7 plan yang dapat dilihat berdasarkan grafik pembagian plan berikut.



**Gambar 47.** Grafik Pembagian Plan Hari Kerja

Berdasarkan grafik diatas, dapat ditentukan periode waktu pada tiap plan untuk perancangan fase simpang bersinyal pada simpang 4 Gatot Subroto Malang dilihat pada Tabel 5.34.

**Tabel 5. 36** Rentang Waktu Plan

	Rentang Waktu	Kondisi
Plan 1	04.00-06.30 WIB	Jam tidak sibuk
Plan 2	06.30-09.15 WIB	Jam sibuk pagi
Plan 3	09.15-11.30 WIB	Jam tidak sibuk
Plan 4	11.30-14.00 WIB.	Jam sibuk siang
Plan 5	14.00-15.45 WIB	Jam tidak sibuk
Plan 6	15.45-19.30 WIB	Jam sibuk sore
Plan 7	19.30-23.15 WIB	Jam tidak sibuk
Flashing	23.15-04.00 WIB	Arus lalu lintas landai dengan kebutuhan waktu siklus sudah dibawah batas minimum

## 2. Akhir Pekan

Penentuan periode waktu untuk perencanaan simpang APILL pada kondisi ini dianalisis dengan pendekatan PKJI 2023 menggunakan 2 fase agar mengetahui garis batas dimulainya setiap

plan atau periode waktu operasional. Analisis yang dilakukan terkait waktu siklus yang dibutuhkan serta nilai derajat kejenuhan pada setiap periode dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1 hingga 3.15 yang mencakup tahapan mulai dari penentuan nilai arus jenuh dasar dengan faktor pengali sebesar 517 untuk kondisi akhir pekan kemudian didapatkan arus jenuh dasar pada tiap pendekatan. Berdasarkan nilai tersebut, selanjutnya dihitung kapasitas serta nilai derajat kejenuhan pada masing masing pendekatan. Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan dalam penentuan plan pada akhir pekan.

**Tabel 5.37** Penentuan Batas Awal Plan 1 dan 2

WAKTU	VOLUME				TOTAL	WAKTU SIKLUS	WAKTU HIJAU		DJ			
	U	S	T	B			US	BT	U	S	T	B
03.00-04.00	167,4	223,7	1,6	101,4	494,1	25	9	6	0,22	0,41	0,22	0,08
03.15-04.15	171	249,9	3,2	97,8	521,9	25	9	6	0,23	0,45	0,22	0,07
03.30-04.30	186	275	5,6	98	564,6	25	9	6	0,26	0,38	0,17	0,07
03.45-04.45	194	303,3	10,2	97,4	604,9	25	9	6	0,27	0,42	0,17	0,07
04.00-05.00	219,4	324,2	14,2	96,4	654,2	33	13	10	0,41	0,41	0,04	0,05
04.15-05.15	241,1	341,7	19,2	102,4	704,4	33	13	10	0,31	0,43	0,05	0,06
04.30-05.30	273,2	364,1	26,8	117,8	781,9	33	13	10	0,35	0,46	0,07	0,07
04.45-05.45	304,9	410,6	32,6	140,8	888,9	33	13	10	0,39	0,52	0,08	0,08
05.00-06.00	343,2	443,5	35,4	158,7	980,8	33	13	10	0,43	0,56	0,09	0,09
05.15-06.15	427,3	498,4	39,6	178,5	1143,8	33	13	10	0,54	0,63	0,10	0,10
05.30-06.30	523,3	581,5	47,8	195,5	1348,1	33	13	10	0,66	0,74	0,12	0,11
05.45-06.45	618,1	620	49,8	214,4	1502,3	33	13	10	0,78	0,79	0,13	0,12
06.00-07.00	686	899,1	61	243	1889,1	33	13	10	1,19	1,14	0,16	0,14

Berdasarkan tabel diatas dilihat bahwa awal dimulainya plan 1 atau peralihan dari flashing menjadi pengaturan APILL dimulai pada pukul 04.00 WIB, hal ini ditandai dengan terpenuhinya waktu hijau minimum pada satu fase. Waktu siklus yang ada pada jam tersebut diterapkan ke jam berikutnya kemudian dapat dilihat bahwa pada pukul 06.00-07.00 sudah menunjukkan kinerja yang tidak optimal pada lengan utara dimana nilai derajat kejenuhan melebihi 0,85, maka jam tersebut merupakan awal dimulainya plan 2 atau jam sibuk pagi. Untuk akhir dari plan 2 ditentukan berdasarkan perpotongan garis lurus

pada grafik time series dilihat dari kemiripan volume pada jam tersebut yaitu 1889,1 smp/jam pada pukul 06.00-07.00 dan 2233,2 smp/jam pada pukul 08.45-09.45 yang merupakan batas akhir plan 2.

**Tabel 5. 38** Penentuan Batas Awal Plan 4

WAKTU	VOLUME				TOTAL	WAKTU SIKLUS	WAKTU HIJAU		DJ			
	U	S	T	B			US	BT	U	S	T	B
08.45-09.45	853,1	1060,2	68,8	251,1	2233,2	54	34	10	0,84	0,84	0,29	0,23
09.00-10.00	821	1018,9	64,8	288,9	2193,6	54	34	10	0,81	0,81	0,27	0,27
09.15-10.15	784,6	965	56,4	304,8	2110,8	54	34	10	0,77	0,77	0,24	0,28
09.30-10.30	769	940	55,8	326	2090,8	54	34	10	0,76	0,75	0,24	0,30
09.45-10.45	775,8	937,4	58	341,8	2113	54	34	10	0,76	0,74	0,25	0,32
10.00-11.00	776,3	929,8	52,4	344,8	2103,3	54	34	10	0,76	0,74	0,22	0,32
10.15-11.15	825,1	967,3	64	368,8	2225,2	54	34	10	0,81	0,77	0,27	0,34
10.30-11.30	902,8	1026,4	68,8	397	2395	54	34	10	0,89	0,81	0,29	0,37

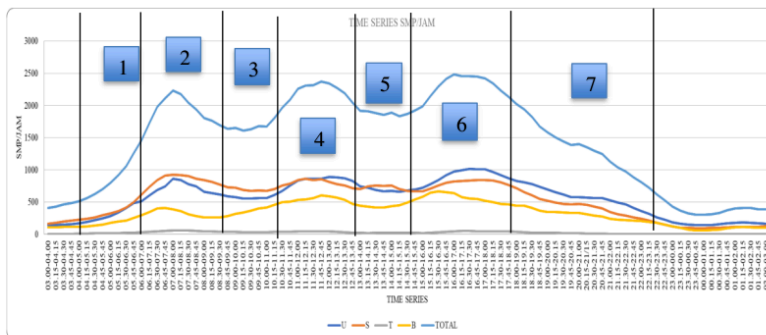
Berdasarkan tabel diatas dilihat bahwa awal dimulainya plan 4 yang menjadi periode sibuk siang dimulai pada pukul 10.30-11.30 WIB, hal ini ditandai dengan kinerja yang tidak optimal pada lengan timur dimana nilai derajat kejenuhan melebihi 0,85, maka jam tersebut merupakan awal dimulainya plan 4 atau jam sibuk siang. Untuk akhir dari plan 4 ditentukan berdasarkan perpotongan garis lurus pada grafik time series dilihat dari kemiripan volume pada jam tersebut yaitu 2395 smp/jam pada pukul 10.30-1130 dan 2276,2 smp/jam pada pukul 13.00-14.00 yang merupakan batas akhir plan 4.

**Tabel 5. 39** Penentuan Batas Awal Plan 6

WAKTU	VOLUME				TOTAL	WAKTU SIKLUS	WAKTU HIJAU		DJ			
	U	S	T	B			US	BT	U	S	T	B
13.00-14.00	910	929,6	33,2	403,4	2276,2	48	28	10	0,78	0,78	0,12	0,33
13.15-14.15	900	966,8	32,6	378	2277,4	48	28	10	0,77	0,81	0,12	0,31
13.30-14.30	894,8	988,9	34,4	361,4	2279,5	48	28	10	0,77	0,83	0,13	0,30
13.45-14.45	876,8	987,1	37,2	362	2263,1	48	28	10	0,75	0,83	0,14	0,30
14.00-15.00	900,4	994	44,2	382,8	2321,4	48	28	10	0,77	0,84	0,17	0,32
14.15-15.15	913,3	943,1	46,6	403,8	2306,8	48	28	10	0,78	0,79	0,17	0,33
14.30-15.30	956,9	923,1	45	433,8	2358,8	48	28	10	0,82	0,78	0,17	0,36
14.45-15.45	985,3	933,4	43,4	458,6	2420,7	48	28	10	0,85	0,78	0,16	0,38

Berdasarkan tabel diatas dilihat bahwa awal dimulainya plan 6 yang menjadi periode sibuk sore dimulai pada pukul 13.00-14.00 WIB, hal ini ditandai dengan kinerja yang tidak optimal pada lengan timur dimana nilai derajat kejenuhan melebihi 0,85, maka jam tersebut merupakan awal dimulainya plan 6 atau jam sibuk sore. Untuk akhir dari plan 6 ditentukan berdasarkan perpotongan garis lurus pada grafik time series dilihat dari kemiripan volume pada jam tersebut yaitu sebesar 2420,7 smp/jam pada pukul 14.45-15.45 dan 2567,70 smp/jam pada pukul 18.00-19.00 yang merupakan batas akhir plan 6

Hasil analisa dari perpotongan pada tiap plan didapatkan bahwa simpang 4 Gatot Subroto Malang terbagi atas 7 plan yang dapat dilihat berdasarkan grafik pembagian plan berikut.



**Gambar 48.** Grafik Pembagian Plan Akhir Pekan

Berdasarkan grafik diatas, dapat ditentukan periode waktu pada tiap plan untuk perancangan fase simpang bersinyal pada simpang 4 Gatot Subroto Malang dilihat pada Tabel 5.38

**Tabel 5. 40** Rentang Waktu Plan

	Rentang Waktu	Kondisi
Plan 1	04.00-07.00 WIB	Jam tidak sibuk
Plan 2	07.00-09.30 WIB	Jam sibuk pagi
Plan 3	09.30-11.30 WIB	Jam tidak sibuk

	Rentang Waktu	Kondisi
Plan 4	11.30-14.00 WIB.	Jam sibuk siang
Plan 5	14.00-15.45 WIB	Jam tidak sibuk
Plan 6	15.45-19.00 WIB	Jam sibuk sore
Plan 7	19.00-23.30 WIB	Jam tidak sibuk
Flashing	23.30-04.00 WIB	Arus lalu lintas landai dengan kebutuhan waktu siklus sudah dibawah batas minimum

#### 5.2.6. Analisis Waktu Siklus

Penentuan waktu siklus optimal yang digunakan dalam setiap plan dianalisis berdasarkan periode jam sibuk yang terjadi dalam satu rentang waktu plan. Dalam perencanaan ini, diasumsikan bahwa siklus yang diperoleh pada jam sibuk mampu mengakomodasi kondisi lalu lintas pada jam-jam lainnya dalam periode tersebut. Dengan kata lain, waktu siklus dirancang berdasarkan kondisi paling kritis, sehingga tetap efektif dalam melayani volume lalu lintas yang lebih rendah pada satu periode yang sama. Analisis waktu siklus dan waktu hijau yang optimal dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2 hingga 3.14. Proses ini diawali dengan penentuan arus jenuh dasar, dimana nilai pengali untuk lebar efektifnya menggunakan hasil kalibrasi menggunakan solver seperti pada perhitungan pada subbab 5.2.4, setelah itu penentuan faktor koreksi hingga diperoleh nilai arus jenuh di tiap pendekat. Setelah dilakukan analisis terkait arus jenuh didapat nilai rasio arus tiap pendekat yang nantinya menjadi dasar dalam penentuan waktu siklus dan distribusi waktu hijau. Dengan perancangan 2 fase maka didapat waktu siklus dan distribusi waktu hijau pada masing-masing plan sebagai berikut.

##### 1. Hari Kerja

**Tabel 5. 41.** Distribusi Waktu Hijau Plan 1

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	23
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	43

F1	23	3	2	15
F2	28	10	3	2
SIKLUS	43			

Gambar 49. Diagram Fase Plan 1

Tabel 5. 42 Distribusi Waktu Hijau Plan 2

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	35
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	55

F1	35	3	2	15
F2	40	10	3	2
SIKLUS	55			

Gambar 50. Diagram Fase Plan 2

Tabel 5. 43 Distribusi Waktu Hijau Plan 3

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	19
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	39

F1	19	3	2	15
F2	24	10	3	2
SIKLUS	39			

Gambar 51. Diagram Fase Plan 2

Tabel 5. 44 Distribusi Waktu Hijau Plan 4

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	25
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	39

F1	25	3	2	15
F2	31	10	3	2
SIKLUS	45			

Gambar 52. Diagram Fase Plan 4

Tabel 5. 45 Distribusi Waktu Hijau Plan 5

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	22
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	34

F1	22	3	2	15
F2	27	10	3	2
SIKLUS	42			

**Gambar 53.** Diagram Fase Plan 5

**Tabel 5.46** Distribusi Waktu Hijau Plan 6

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	42
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	62

F1	42	3	2	15
F2	47	10	3	2
SIKLUS	62			

**Gambar 54.** Diagram Fase Plan 6

**Tabel 5.47** Distribusi Waktu Hijau Plan 7

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	19
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	39

F1	19	3	2	15
F2	24	10	3	2
SIKLUS	39			

**Gambar 55.** Diagram Fase Plan 7

2. Akhir Pekan

**Tabel 5.48** Distribusi Waktu Hijau Plan 1

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	27
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	47

F1	27	3	2	15
F2	32	10	3	2
SIKLUS	47			

**Gambar 56.** Diagram Fase Plan 1

**Tabel 5.49** Distribusi Waktu Hijau Plan 2

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	55
Fase 2 (Barat dan Timur)	10

Total Siklus	75
--------------	----

F1	55	3	2	15	
F2	60		10	3	2
SIKLUS	75				

**Gambar 57.** Diagram Fase Plan 2

**Tabel 5. 50** Distribusi Waktu Hijau Plan 3

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	33
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	53

F1	33	3	2	15	
F2	38		10	3	2
SIKLUS	53				

**Gambar 58.** Diagram Fase Plan 3

**Tabel 5. 51** Distribusi Waktu Hijau Plan 4

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	38
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	58

F1	38	3	2	15	
F2	43		10	3	2
SIKLUS	58				

**Gambar 59.** Diagram Fase Plan 4

**Tabel 5. 52** Distribusi Waktu Hijau Plan 5

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	31
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	51

F1	31	3	2	15	
F2	36		10	3	2
SIKLUS	58				

**Gambar 60.** Diagram Fase Plan 5

**Tabel 5. 53** Distribusi Waktu Hijau Plan 6

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	58
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	78

F1	53	3	2	15
F2	63		10	3
SIKLUS	58			

Gambar 61. Diagram Fase Plan 6

Tabel 5. 54 Distribusi Waktu Hijau Plan 7

	Waktu Hijau
Fase 1 (Utara dan Selatan)	27
Fase 2 (Barat dan Timur)	10
Total Siklus	47

F1	27	3	2	15
F2	32		10	3
SIKLUS	47			

Gambar 62. Diagram Fase Plan 7

Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa fase 1 merupakan pelepasan untuk lengan mayor yaitu utara dan selatan dan untuk fase 2 adalah pelepasan untuk lengan minor yaitu barat dan timur. Pada fase 1 memiliki waktu hijau lebih panjang dibandingkan dengan lengan minor dikarenakan arus yang tinggi. Setelah didapatkan waktu siklus dan waktu hijau pada setiap plan, selanjutnya waktu siklus tersebut dimasukkan ke dalam permodelan vissim untuk mengevaluasi kinerja simpang setelah penerapan rekayasa simpang bersinyal.

#### 5.2.7. Kinerja Plan Eksisting

Berdasarkan hasil analisis terkait perencanaan plan, pada simpang 4 Gatot Subroto Malang terbagi atas 7 plan baik pada hari kerja maupun akhir pekan. Selanjutnya, untuk mengevaluasi efektivitas dari pembagian plan tersebut, dilakukan pengujian terkait kinerja eksisting menggunakan PTV Vissim dengan indikator kinerja panjang antrean dan tundaan. Berikut merupakan tabulasi kinerja eksisting pada kondisi hari kerja dan akhir pekan.

**Tabel 5. 55** Kinerja Plan Eksisting Hari Kerja

	JAM SIBUK	PENDEKAT	EKESISITING	
			PANJANG ANTREAN	TUNDAAN
PLAN 1	05.30-06.30	U	78	4
		S	44	8
		B	9	2
		T	0	1
		SIMPANG	97	5
PLAN 2	06.45-07.45	U	50	3
		S	444	39
		B	10	7
		T	0	4
		SIMPANG	457	18
PLAN 3	10.30-11.30	U	22	2
		S	116	21
		B	7	2
		T	0	2
		SIMPANG	154	10
PLAN 4	11.30-12.30	U	72	4
		S	446	46
		B	11	4
		T	0	2
		SIMPANG	461	19
PLAN 5	14.45-15.45	U	22	2
		S	116	18
		B	7	2
		T	0	2
		SIMPANG	139	10
PLAN 6	16.30-17.30	U	142	21
		S	458	74
		B	12	3
		T	0	3
		SIMPANG	495	28
PLAN 7	19.30-20.30	U	16	2
		S	28	7
		B	4	1
		T	0	0
		SIMPANG	42	4

Berdasarkan tabel diatas didapat bahwa kondisi eksisiting pada hari kerja menunjukkan pada plan 2 dan plan 6 merupakan kondisi lalu lintas padat, yang ditandai dengan tingginya panjang antrean dan tundaan, khususnya pada pendekat selatan. Pada plan 2, panjang antrean di pendekat

selatan mencapai 444 m dengan tundaan 39 detik serta rata-rata panjang antrean pada simpang di plan ini sebesar 457 m dengan waktu tundaan sebesar 18 detik. Sementara pada plan 6, antrean meningkat menjadi 458 m dengan tundaan 74 detik serta rata-rata panjang antrean pada simpang di plan ini sebesar 495 m dengan waktu tundaan sebesar 28 detik. Hal ini menunjukkan bahwa lengan selatan merupakan lengan dengan kinerja terburuk terutama pada jam sibuk. Sebaliknya, Plan 1 dan Plan 7 menunjukkan kondisi lalu lintas yang lebih landai. Kedua plan ini menunjukkan nilai tundaan dan panjang antrean yang relatif rendah di seluruh pendekat, dimana mencerminkan kondisi arus lalu lintas di luar periode sibuk. Pada plan 1 memiliki nilai rata-rata panjang antrean simpang sebesar 97 m dengan tundaan 5 detik, serta pada plan 7 memiliki nilai rata-rata panjang antrean simpang sebesar 42 m dengan tundaan 4 detik. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pendekat selatan merupakan lengan yang paling dominan mengalami antrean dan tundaan dalam satu hari.

**Tabel 5. 56** Kinerja Plan Eksisting Akhir Pekan

	JAM SIBUK	PENDEKAT	EKESISITING	
			PANJANG ANTREAN	TUNDAAN
PLAN 1	05.30-06.30	U	19	2
		S	63	7
		B	13	2
		T	0	1
		SIMPANG	73	5
PLAN 2	06.45-07.45	U	59	4
		S	154	14
		B	5	2
		T	0	2
		SIMPANG	182	9
PLAN 3	10.30-11.30	U	24	3
		S	139	23
		B	6	3

	JAM SIBUK	PENDEKAT	EKESISITING	
			PANJANG ANTREAN	TUNDAAN
		T	0	1
		SIMPANG	195	10
PLAN 4	11.30-12.30	U	41	3
		S	233	31
		B	8	3
		T	0	2
		SIMPANG	294	13
PLAN 5	14.45-15.45	U	25	3
		S	139	20
		B	6	2
		T	0	1
		SIMPANG	160	9
PLAN 6	16.30-17.30	U	67	4
		S	271	35
		B	9	3
		T	0	2
		SIMPANG	319	15
PLAN 7	19.30-20.30	U	16	2
		S	28	7
		B	4	1
		T	0	0
		SIMPANG	99	6

Berdasarkan tabel diatas didapat bahwa kondisi eksisiting pada hari kerja menunjukkan pada plan 2, plan 4, dan plan 6 merupakan kondisi lalu lintas padat, yang ditandai dengan tingginya panjang antrean dan tundaan, khususnya pada pendekat selatan. Pada plan 2, panjang antrean di pendekat selatan mencapai 154 m dengan tundaan 14 detik serta rata-rata panjang antrean pada simpang di plan ini sebesar 182 m dengan waktu tundaan sebesar 9 detik. Pada plan 4, antrean meningkat menjadi 233 m dengan tundaan 31 detik serta rata-rata panjang antrean pada simpang di plan ini sebesar 195 m dengan waktu tundaan sebesar 10 detik. Sementara pada plan 6, memiliki nilai antrean terpanjang dalam 1 hari yaitu sebesar 271 m dengan

tundaan 35 detik serta rata-rata panjang antrean pada simpang di plan ini sebesar 319 m dengan waktu tundaan sebesar 15 detik. Hal ini menunjukkan bahwa lengan selatan merupakan lengan dengan kinerja terburuk terutama pada jam sibuk. Sebaliknya, Plan 1 dan Plan 7 menunjukkan kondisi lalu lintas yang lebih landai. Kedua plan ini menunjukkan nilai tundaan dan panjang antrean yang relatif rendah di seluruh pendekatan, dimana mencerminkan kondisi arus lalu lintas di luar periode sibuk. Pada plan 1 memiliki nilai rata-rata panjang antrean simpang sebesar 73 m dengan tundaan 5 detik, serta pada plan 7 memiliki nilai rata-rata panjang antrean simpang sebesar 99 m dengan tundaan 6 detik. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pendekatan selatan merupakan lengan yang paling dominan mengalami antrean dan tundaan dalam satu hari.

#### 5.2.8. Kinerja Plan Rekayasa

Setelah diperoleh hasil kinerja eksisting pada tiap plan, kemudian dilakukan rekayasa simpang melalui penerapan sistem simpang bersinyal dengan 2 fase serta menerapkan waktu siklus optimal yang telah didapatkan dalam perhitungan pada subbab 5.2.6. Selain itu diterapkannya belok kiri jalan terus pada pendekatan barat dengan memanfaatkan tiang penyangga perlintasan sebidang sebagai pulau jalan untuk memisahkan arus belok kiri dengan arus lainnya. Strategi ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja simpang. Berikut merupakan tabel tabulasi hasil uji kinerja setelah dilakukannya rekayasa pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang dalam kondisi hari kerja dan akhir pekan dengan menggunakan PTV Vissim.

Tabel 5. 57 Kinerja Plan Rekayasa Hari Kerja

	JAM SIBUK	PENDEKAT	REKAYASA	
			PANJANG ANTREAN	TUNDAAN
PLAN 1	05.30-06.30	U	151	8
		S	70	8
		B	6	6
		T	12	13
		SIMPANG	151	9
PLAN 2	06.45-07.45	U	94	6
		S	145	13
		B	24	9
		T	21	18
		SIMPANG	145	11
PLAN 3	10.30-11.30	U	84	7
		S	87	11
		B	23	6
		T	14	10
		SIMPANG	95	9
PLAN 4	11.30-12.30	U	110	8
		S	119	13
		B	15	5
		T	15	14
		SIMPANG	127	10
PLAN 5	14.45-15.45	U	72	6
		S	98	12
		B	0	0
		T	12	12
		SIMPANG	98	8
PLAN 6	16.30-17.30	U	146	7
		S	110	10
		B	34	10
		T	23	21
		SIMPANG	146	10
PLAN 7	19.30-20.30	U	73	7
		S	57	8
		B	18	8
		T	9	10
		SIMPANG	73	8

**Tabel 5. 58** Kinerja Plan Rekayasa Akhir Pekan

	JAM SIBUK	PENDEKAT	REKAYASA	
			PANJANG ANTREAN	TUNDAAN
PLAN 1	05.30-06.30	U	59	5
		S	88	9
		B	22	11
		T	12	12
		SIMPANG	88	8
PLAN 2	06.45-07.45	U	110	4
		S	131	9
		B	24	13
		T	22	27
		SIMPANG	140	9
PLAN 3	10.30-11.30	U	75	5
		S	115	10
		B	22	10
		T	17	17
		SIMPANG	115	9
PLAN 4	11.30-12.30	U	104	5
		S	122	11
		B	27	11
		T	18	19
		SIMPANG	124	9
PLAN 5	14.45-15.45	U	92	5
		S	92	10
		B	26	5
		T	16	17
		SIMPANG	108	9
PLAN 6	16.30-17.30	U	142	8
		S	106	10
		B	27	11
		T	15	21
		SIMPANG	143	10
PLAN 7	19.30-20.30	U	87	6
		S	77	9
		B	21	9
		T	12	14
		SIMPANG	91	8

### 5.2.9. Perbandingan Kinerja

Parameter untuk menilai kinerja simpang adalah panjang antrean dan tundaan yang dianalisis menggunakan permodelan mikrosimulasi vissim. Kinerja simpang dapat dinilai membaik apabila nilai tundaan dan panjang antrean menjadi berkurang setelah dilaksanakannya rekayasa. Dengan melakukan rekayasa pemasangan apill menggunakan 2 fase dinilai optimal untuk meningkatkan kinerja simpang, dimana setiap plan akan mendapatkan waktu siklus dan distribusi waktu hijau yang sesuai dengan kondisi pada periode waktu tersebut. Berikut merupakan perbandingan kinerja, antara kinerja eksisting sebelum adanya rekayasa simpang Apill dan setelah diadakannya rekayasa simpang Apill menggunakan 2 fase.

#### 1. Hari Kerja (*Weekday*)

**Tabel 5. 59** Perbandingan Kinerja Hari Kerja

	JAM SIBUK	PENDEKAT	EKESISITING		REKAYASA	
			PANJANG ANTREAN	TUNDAAN	PANJANG ANTREAN	TUNDAAN
PLAN 1	05.30-06.30	U	78	4	151	8
		S	44	8	70	8
		B	9	2	6	6
		T	0	1	12	13
		SIMPANG	97	5	151	9
PLAN 2	06.45-07.45	U	50	3	94	6
		S	444	39	145	13
		B	10	7	24	9
		T	0	4	21	18
		SIMPANG	457	18	145	11
PLAN 3	10.30-11.30	U	22	2	84	7
		S	116	21	87	11
		B	7	2	23	6
		T	0	2	14	10
		SIMPANG	154	10	95	9
PLAN 4	11.30-12.30	U	72	4	110	8
		S	446	46	119	13
		B	11	4	15	5
		T	0	2	15	14
		SIMPANG	461	19	127	10

	JAM SIBUK	PENDEKAT	EKESISITING		REKAYASA	
			PANJANG ANTREAN	TUNDAAN	PANJANG ANTREAN	TUNDAAN
PLAN 5	14.45-15.45	U	22	2	72	6
		S	116	18	98	12
		B	7	2	0	0
		T	0	2	12	12
		SIMPANG	139	10	98	8
PLAN 6	16.30-17.30	U	142	21	146	7
		S	458	74	110	10
		B	12	3	34	10
		T	0	3	23	21
		SIMPANG	495	28	146	10
PLAN 7	19.30-20.30	U	16	2	73	7
		S	28	7	57	8
		B	4	1	18	8
		T	0	0	9	10
		SIMPANG	42	4	73	8

Berdasarkan hasil yang didapat melalui permodelan vissim dilihat bahwa dengan pemasangan Apill dengan 2 fase dan distribusi waktu siklus mampu mengatur arus lalu lintas pada simpang ini. Meskipun implementasi pengaturan sinyal ini mengakibatkan adanya tundaan tetap, hal tersebut memberikan dampak positif terhadap kinerja simpang secara keseluruhan. Peningkatan kinerja terlihat dari penurunan panjang antrean dan tundaan, terutama pada pendekat selatan yang sebelumnya merupakan titik kritis. Sebaliknya, pada lengan lainnya mengalami peningkatan dikarenakan penerapan waktu siklus menyebabkan adanya tundaan tetap pada lengan tersebut. Namun dinilai dari rata-rata tundaan dan panjang antrean pada simpang, terjadi peningkatan kinerja secara menyeluruh. Seperti, pada Plan 6 terjadi penurunan panjang antrean rata-rata pada simpang sebesar 71%, dari kondisi eksisting yang semula 495 m menjadi 156 meter, serta penurunan waktu tundaan dari 28 detik menjadi 10 detik. Hal

ini membuktikan bahwa dengan penerapan waktu siklus yang sesuai di tiap plan dapat meningkatkan kinerja simpang. Namun demikian, pada plan 1 dan plan 7 yaitu pada rentang waktu 04.00-06.30 dan 19.30-23.15 nilai panjang antrean dan tundaan mengalami peningkatan. Hal tersebut terjadi dikarenakan arus lalu lintas yang tidak signifikan dimana volume total saat jam puncak pada plan 1 mencapai 1593 smp/jam sedangkan pada plan 7 mencapai 1322,8 smp/jam. Kondisi ini memungkinkan kendaraan bergerak secara bebas sehingga tidak menimbulkan panjang antrean. Pada kondisi ini pemasangan apill justru dapat menyebabkan tundaan tetap yang berimbas pada meningkatnya panjang antrean dan tundaan pada simpang. Penerapan waktu siklus pada kondisi ini bertujuan untuk mengatur pergerakan kendaraan dan meminimalisir konflik pada simpang.

## 2. Akhir Pekan (Weekend)

**Tabel 5. 60** Perbandingan Kinerja Akhir Pekan

	JAM SIBUK	PENDEKAT	EKESISITING		REKAYASA	
			PANJANG ANTREAN	TUNDAAN	PANJANG ANTREAN	TUNDAAN
PLAN 1	05.30-06.30	U	19	2	59	5
		S	63	7	88	9
		B	13	2	22	11
		T	0	1	12	12
		SIMPANG	73	5	88	8
PLAN 2	06.45-07.45	U	59	4	110	4
		S	154	14	131	9
		B	5	2	24	13
		T	0	2	22	27
		SIMPANG	182	9	140	9
PLAN 3	10.30-11.30	U	24	3	75	5
		S	139	23	115	10
		B	6	3	22	10
		T	0	1	17	17
		SIMPANG	195	10	115	9
PLAN 4	11.30-12.30	U	41	3	104	5
		S	233	31	122	11

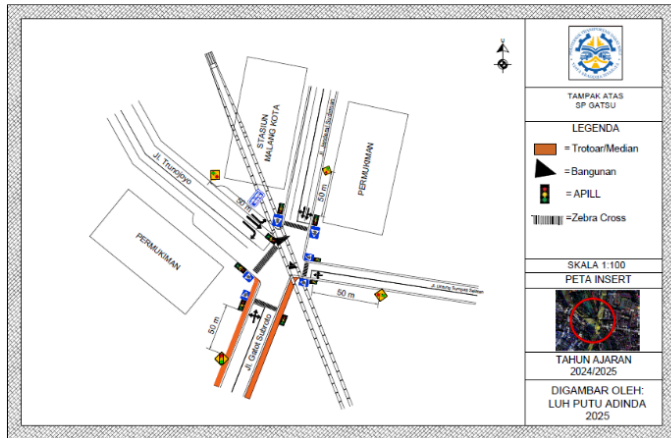
	JAM SIBUK	PENDEKAT	EKESISITING		REKAYASA	
			PANJANG ANTREAN	TUNDAAN	PANJANG ANTREAN	TUNDAAN
		B	8	3	27	11
		T	0	2	18	19
		SIMPANG	294	13	124	9
		U	25	3	92	5
PLAN 5	14.45-15.45	S	139	20	92	10
		B	6	2	26	5
		T	0	1	16	17
		SIMPANG	160	9	108	9
PLAN 6	16.30-17.30	U	67	4	142	8
		S	271	35	106	10
		B	9	3	27	11
		T	0	2	15	21
PLAN 7	19.30-20.30	SIMPANG	319	15	143	10
		U	23	2	87	6
		S	72	11	77	9
		B	5	1	21	9
		T	0	1	12	14
		SIMPANG	99	6	91	8

Berdasarkan hasil yang didapat melalui permodelan vissim dilihat bahwa dengan pemasangan Apill dengan 2 fase dan distribusi waktu siklus mampu mengatur arus lalu lintas pada simpang ini. Meskipun implementasi pengaturan sinyal ini mengakibatkan adanya tundaan tetap, hal tersebut memberikan dampak positif terhadap kinerja simpang secara keseluruhan. Sama seperti kondisi hari kerja, peningkatan kinerja terlihat dari penurunan panjang antrean dan tundaan, terutama pada pendekat selatan yang sebelumnya merupakan titik kritis. Sebaliknya, pada lengan lainnya mengalami peningkatan dikarenakan penerapan waktu siklus menyebabkan adanya tundaan tetap pada lengan tersebut. Namun dinilai dari rata-rata tundaan dan panjang antrean pada simpang, terjadi peningkatan kinerja secara menyeluruh. Seperti, pada Plan 6 terjadi penurunan panjang antrean rata-

rata pada simpang sebesar 55%, dari kondisi eksisting yang semula 319 m menjadi 143 meter, serta penurunan waktu tundaan dari 15 detik menjadi 10 detik. Hal ini membuktikan bahwa dengan penerapan waktu siklus yang sesuai di tiap plan dapat meningkatkan kinerja simpang. Namun demikian, pada plan 1 dan plan 7 yaitu pada rentang waktu 04.00-07.00 dan 19.00-23.30 nilai panjang antrean dan tundaan mengalami peningkatan. Hal tersebut terjadi dikarenakan arus lalu lintas yang tidak signifikan dimana volume total saat jam puncak pada plan 1 mencapai 1458,6 smp/jam sedangkan pada plan 7 mencapai 1581 smp/jam. Kondisi ini memungkinkan kendaraan bergerak secara bebas sehingga tidak menimbulkan panjang antrean. Pada kondisi ini pemasangan apill justru dapat menyebabkan tundaan tetap yang berimbas pada meningkatnya panjang antrean dan tundaan pada simpang. Penerapan waktu siklus pada kondisi ini bertujuan untuk mengatur pergerakan kendaraan dan meminimalisir konflik pada simpang.

### **5.3 Layout Desain Rekayasa Persimpangan**

Perancangan desain rekayasa simpang bersinyal pada membutuhkan fasilitas penunjang guna memaksimalkan peningkatan kinerja. Perlengkapan jalan seperti rambu, marka, serta Apill merupakan fasilitas pendukung dalam menunjang desain rekayasa simpang. Penambahan perlengkapan tersebut berguna untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas serta mendukung efektifitas pengaturan lalu lintas. Perencanaan perlengkapan jalan didasarkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 67 Tahun 2018 tentang Marka Jalan, dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 13 Tahun 2014 tentang Rambu Lalu Lintas. Berikut merupakan gambar teknis desain rekayasa pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang.



**Gambar 63.** Gambar Teknis Desain Rekayasa

Fasilitas penunjang berupa perlengkapan jalan yang dibutuhkan untuk mendukung desain rekayasa pada simpang 4 Gatot Subroto Malang meliputi penambahan *zebra cross* untuk pejalan kaki dan marka stop line pada masing-masing pendekat. Penempatan kedua fasilitas tersebut mengacu pada PM Perhubungan 67 Tahun, 2018 tentang marka jalan, dimana jarak antara *zebra cross* dengan *stop line* adalah 1 meter untuk menjamin keselamatan pejalan kaki dan menghindari konflik dengan kendaraan berhenti. Kemudian diperlukan adanya rambu tambahan seperti rambu peringatan alat pemberi isyarat lalu lintas pada setiap lengan pendekat untuk memberikan informasi kepada pengguna jalan mengenai keberadaan simpang bersinyal serta rambu petunjuk fasilitas penyeberangan untuk memberikan informasi bahwa terdapat fasilitas untuk penyeberang. Keberadaan tiang penyangga perlintasan sebidang yang berada pada tengah simpang dimanfaatkan sebagai pulau jalan atau kanalisasi untuk memisahkan arus belok kiri pada lengan barat, sehingga diperlukan adanya rambu untuk memberikan informasi bahwa terdapat jalur khusus kendaraan belok kiri pada lengan tersebut. Peletakkan rambu-rambu tersebut mengacu pada PM Perhubungan No 13 Tahun 2014, dimana untuk rambu peringatan



4  
**BAB VI**  
**PENUTUP**

**6.1. Kesimpulan**

Berikut merupakan kesimpulan dari hasil analisis desain rekayasa simpang bersinyal pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang:

1. Simpang ini memiliki 4 lengan dengan tipe 444 dimana pada jalur mayor memiliki 4 lajur dan 4 lajur pada pendekatan minor dengan terdapat belok kiri jalan terus pada lengan barat. Berdasarkan hasil analisis terhadap volume didapatkan bahwa volume lalu lintas pada hari kerja lebih tinggi dibandingkan dengan akhir pekan dimana pada jam puncak volume kendaraan mencapai 2767,6 smp/jam. Sedangkan pada akhir pekan volume kendaraan mencapai 2483,8 smp/jam
2. Berdasarkan hasil analisis, untuk meningkatkan kinerja simpang maka diperlukan adanya pembagian periode waktu dalam satu hari antara jam sibuk dan jam tidak sibuk untuk memberikan waktu siklus yang optimal diterapkan pada kondisi-kondisi tersebut. Pada kondisi hari kerja dan akhir pekan diterapkan tujuh plan, yang masing masing dirancang dengan waktu siklus serta waktu hijau yang berbeda menyesuaikan kondisi lalu lintas pada periode tersebut. Dalam penerapannya, setiap plan menggunakan pengaturan dua fase guna meminimalkan tundaan dan panjang antrean pada simpang.
3. Hasil permodelan sebelum dan sesudah dilakukan desain rekayasa simpang bersinyal pada simpang 4 Gatot Subroto Malang menunjukkan bahwa penerapan pengaturan Apill dengan 2 fase efektif untuk meningkatkan kinerja simpang. Parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja simpang meliputi tundaan dan panjang antrean. Berdasarkan hasil kinerja menggunakan permodelan VISSIM, diperoleh rata-rata panjang antrean dan tundaan pada lengan selatan mengalami penurunan dibandingkan eksisting, namun mengalami peningkatan pada lengan lainnya. Hal ini dikarenakan penerapan waktu

siklus menyebabkan adanya tundaan tetap pada lengan tersebut. Namun dinilai dari rata-rata tundaan dan panjang antrean pada simpang, terjadi peningkatan kinerja secara menyeluruh. Seperti contoh terjadi penurunan panjang antrean rata-rata pada simpang sebesar 71%, dari kondisi eksisting dimana yang semula 495 m menjadi 156 meter, serta penurunan waktu tundaan dari 28 detik menjadi 10 detik. Hal ini membuktikan bahwa perancangan simpang bersinyal mampu meningkatkan kinerja secara menyeluruh.

4. Desain rekayasa simpang 4 Gatot Subroto Malang memerlukan fasilitas pendukung seperti penambahan perlengkapan jalan yang meliputi penambahan marka stop line dan zebra cross yang penempatannya mengacu pada PM Perhubungan Nomor 67 Tahun 2018 tentang Marka Jalan, pemanfaatan tiang penyangga perlintasan tidak sebidang sebagai pulau jalan untuk memisahkan arus belok kiri pada lengan barat, serta penambahan rambu-rambu seperti rambu peringatan alat pemberi isyarat lalu lintas, petunjuk fasilitas pejalan kaki, dan rambu petunjuk bahwa terdapat jalur khusus belok kiri pada lengan barat yang penempatannya mengacu pada PM Perhubungan Nomor 13 Tahun 2014 tentang Rambu Lalu Lintas. Detail teknis diunjukkan pada lampiran 18.

## 6.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini sebagai berikut

1. Perlu dilakukannya sosialisasi kepada masyarakat tentang implementasi penerapan simpang Apill, serta diperlukan adanya petugas yang mengawasi saat penerapan rekayasa pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang.
2. Perlu dilakukannya kajian setelah diterapkannya simpang Apill.
3. Perlu diadakannya kajian lebih lanjut terkait desain yang sesuai untuk melayani arus lalu lintas pada Simpang 4 Gatot Subroto Malang, dimana berdasarkan LHR pada simpang ini, perancangan yang sesuai

adalah simpang tidak sebidang namun harus disesuaikan kembali terkait desain yang sesuai dengan kondisi tata guna lahan pada simpang 1 tersebut.

4. Perlu diterapkannya sistem angkutan massal guna mengurangi penggunaan kendaraan untuk memperlancar arus lalu lintas agar dapat meningkatkan kinerja simpang.
5. Perlu dilakukannya kajian lebih lanjut terkait perilaku mengemudi untuk mengetahui kebiasaan mengemudi pada simpang tersebut.
6. Perlu dilakukannya kajian lebih lanjut terkait fase prioritas untuk mengurangi konflik.

# TURNITIN (2).docx

## ORIGINALITY REPORT

16%

SIMILARITY INDEX

16%

INTERNET SOURCES

6%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://digilib.ptdisttd.ac.id">digilib.ptdisttd.ac.id</a> Internet Source	2%
2	<a href="http://eprints.itn.ac.id">eprints.itn.ac.id</a> Internet Source	1%
3	<a href="http://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet Source	1%
4	<a href="http://dspace.uii.ac.id">dspace.uii.ac.id</a> Internet Source	1%
5	<a href="http://ejournal.unsrat.ac.id">ejournal.unsrat.ac.id</a> Internet Source	1%
6	<a href="http://repository.ub.ac.id">repository.ub.ac.id</a> Internet Source	1%
7	<a href="http://binamarga.pu.go.id">binamarga.pu.go.id</a> Internet Source	1%
8	<a href="http://journal.maranatha.edu">journal.maranatha.edu</a> Internet Source	1%
9	<a href="http://123dok.com">123dok.com</a> Internet Source	<1%
10	<a href="http://bpsdm.pu.go.id">bpsdm.pu.go.id</a> Internet Source	<1%

[eprints.upj.ac.id](http://eprints.upj.ac.id)

11	Internet Source	<1 %
12	<a href="https://repository.umsu.ac.id">repository.umsu.ac.id</a> Internet Source	<1 %
13	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
14	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<1 %
15	Submitted to University of Wollongong Student Paper	<1 %
16	<a href="https://text-id.123dok.com">text-id.123dok.com</a> Internet Source	<1 %
17	Submitted to Landmark University Student Paper	<1 %
18	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
19	<a href="https://sinta.unud.ac.id">sinta.unud.ac.id</a> Internet Source	<1 %
20	<a href="https://e-journals.unmul.ac.id">e-journals.unmul.ac.id</a> Internet Source	<1 %
21	<a href="https://erepo.unud.ac.id">erepo.unud.ac.id</a> Internet Source	<1 %
22	<a href="https://eprints.undip.ac.id">eprints.undip.ac.id</a> Internet Source	<1 %
23	<a href="https://docplayer.info">docplayer.info</a> Internet Source	<1 %

24	<a href="http://adoc.pub">adoc.pub</a> Internet Source	<1 %
25	<a href="http://ojs.balitbanghub.dephub.go.id">ojs.balitbanghub.dephub.go.id</a> Internet Source	<1 %
26	<a href="http://jurnal.polinema.ac.id">jurnal.polinema.ac.id</a> Internet Source	<1 %
27	<a href="http://ojs.balitbang.dephub.go.id">ojs.balitbang.dephub.go.id</a> Internet Source	<1 %
28	<a href="http://id.123dok.com">id.123dok.com</a> Internet Source	<1 %
29	<a href="http://ojs.ummetro.ac.id">ojs.ummetro.ac.id</a> Internet Source	<1 %
30	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
31	<a href="http://www.beritatrans.com">www.beritatrans.com</a> Internet Source	<1 %
32	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet Source	<1 %
33	<a href="http://repository.uinjambi.ac.id">repository.uinjambi.ac.id</a> Internet Source	<1 %
34	Submitted to unikadelasalle Student Paper	<1 %
35	<a href="http://repository.umy.ac.id">repository.umy.ac.id</a> Internet Source	<1 %
36	<a href="http://inba.info">inba.info</a> Internet Source	<1 %

37	Submitted to ptdi-sttd Student Paper	<1 %
38	ketutimamfatawi.blogspot.com Internet Source	<1 %
39	bayualfian.blogspot.com Internet Source	<1 %
40	e-journal.uajy.ac.id Internet Source	<1 %
41	repository.unmuhjember.ac.id Internet Source	<1 %
42	Satyajit Mondal, Ankit Gupta. "Microsimulation based framework to analyse urban signalized intersection under mixed traffic environment", Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport, 2020 Publication	<1 %
43	hukumtransportasi2015.wordpress.com Internet Source	<1 %
44	id.scribd.com Internet Source	<1 %
45	Submitted to Universitas Pelita Harapan Student Paper	<1 %
46	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
47	repository.nobel.ac.id Internet Source	<1 %

Submitted to Universitas Andalas

48	Student Paper	<1 %
49	<a href="#">idoc.pub</a> Internet Source	<1 %
50	<a href="#">jurnal.itg.ac.id</a> Internet Source	<1 %
51	<a href="#">repository.unair.ac.id</a> Internet Source	<1 %
52	<a href="#">vbook.pub</a> Internet Source	<1 %
53	Submitted to Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya Student Paper	<1 %
54	<a href="#">indonesia-teknik-sipil.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
55	<a href="#">ojs.ustj.ac.id</a> Internet Source	<1 %
56	Submitted to Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia Student Paper	<1 %
57	<a href="#">journal.universitaspahlawan.ac.id</a> Internet Source	<1 %
58	<a href="#">repository.unhas.ac.id</a> Internet Source	<1 %
59	<a href="#">www.batamnews.co.id</a> Internet Source	<1 %

60 Dwi Widiyanti. "PERENCANAAN DESAIN FASILITAS PEJALAN KAKI DI KAWASAN PERKOTAAN DI KOTA MALANG", Jurnal Penelitian Transportasi Darat, 2018  
Publication <1 %

---

61 Ivana Pantulu, Yuliyanti Kadir, Frice Lahmudin Desei. "EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL DAN PENGATURAN ULANG WAKTU SIKLUS APILL MENGGUNAKAN PTV VISSIM", Composite Journal, 2025  
Publication <1 %

---

62 [eprints.umm.ac.id](http://eprints.umm.ac.id)  
Internet Source <1 %

---

63 [proposal-riset.blogspot.com](http://proposal-riset.blogspot.com)  
Internet Source <1 %

---

64 [repository.uma.ac.id](http://repository.uma.ac.id)  
Internet Source <1 %

---

65 [www.pekerjadata.com](http://www.pekerjadata.com)  
Internet Source <1 %

---

66 Febri E. Susanto, Rusindayanto. "Analysis of Factory Facility Layout Design Using the Craft Algorithm Method At Pt. Focus on Ciptamakmur Bersama, Blitar", PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering), 2021  
Publication <1 %

---

67 Natasha S. F. Pangalila, Lucia I. R. Lefrandt, Sisca V. Pandey. "Analisis Kinerja Simpang Tidak Bersinyal (Studi Kasus: Jl. Raya <1 %

Tomohon – Jl. Sam Ratulangi, Bundaran Tugu  
Tololiu, Tomohon)", TEKNO, 2024

Publication

---

68	<a href="http://contoh-skripsi-lengkap.blogspot.com">contoh-skripsi-lengkap.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
69	<a href="http://e-repository.perpus.iainsalatiga.ac.id">e-repository.perpus.iainsalatiga.ac.id</a> Internet Source	<1 %
70	<a href="http://jambi28.tv">jambi28.tv</a> Internet Source	<1 %
71	<a href="http://keselamatanjalan.wordpress.com">keselamatanjalan.wordpress.com</a> Internet Source	<1 %
72	<a href="http://omzainul.wordpress.com">omzainul.wordpress.com</a> Internet Source	<1 %
73	<a href="http://repository.idu.ac.id">repository.idu.ac.id</a> Internet Source	<1 %
74	<a href="http://repository.universitاسbumigora.ac.id">repository.universitاسbumigora.ac.id</a> Internet Source	<1 %
75	Edi Hardi Suntoyo, Ahmad Ridwan, Sigit Winarto. "MANAJEMEN REKAYASA LALU LINTAS PENGEMBANGAN WISATA KAMPUNG COKLAT", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2019 Publication	<1 %
76	Wrastawa Ridwan, Yuliyanti Kadir, Ifan Wiranto. "Optimisasi Koloni Semut dan Sistem Fuzzy untuk Kendali Lampu Lalu Lintas Pintar", Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2022 Publication	<1 %

---

77	<a href="http://ecampus.iainbatusangkar.ac.id">ecampus.iainbatusangkar.ac.id</a> Internet Source	<1 %
78	<a href="http://ejournal.ft-undar.ac.id">ejournal.ft-undar.ac.id</a> Internet Source	<1 %
79	<a href="http://eprints.pktj.ac.id">eprints.pktj.ac.id</a> Internet Source	<1 %
80	<a href="http://garuda.ristekdikti.go.id">garuda.ristekdikti.go.id</a> Internet Source	<1 %
81	Submitted to itera Student Paper	<1 %
82	<a href="http://jurnal.umj.ac.id">jurnal.umj.ac.id</a> Internet Source	<1 %
83	<a href="http://ktj.pktj.ac.id">ktj.pktj.ac.id</a> Internet Source	<1 %
84	<a href="http://ojs.unsiq.ac.id">ojs.unsiq.ac.id</a> Internet Source	<1 %
85	<a href="http://repository.uir.ac.id">repository.uir.ac.id</a> Internet Source	<1 %
86	<a href="http://www.docstoc.com">www.docstoc.com</a> Internet Source	<1 %
87	A. Taufik Hidayah TR. "OPTIMALISASI MANAJEMEN SEKOLAH MELALUI PEMANFAATAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) DALAM ADMINISTRASI PENDIDIKAN", Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran, 2025 Publication	<1 %

---

88 Christinna Odilla Saba, Don Gaspar Noesaku da Costa, Engelbertha N.B. Seran. "ANALISIS PENGARUH RASIO KENDARAAN BELOK KANAN TERHADAP KINERJA SIMPANG TAK BERSINYAL", Eternitas: Jurnal Teknik Sipil, 2022  
Publication

---

89 Muchammad Zaenal Muttaqin, Abdul Kudus Zaini, Zhella Indah Saviri. "Analisis Efektivitas Marka Kotak Kuning Di Simpang Tiga Jalan Soekarno Hatta – Jalan Arifin Ahmad Kota Pekanbaru", JNANALOKA, 2022  
Publication

---

90 Muhammad Arifin. "ANALISIS KEMACETAN LALU LINTAS DI PERSIMPANGAN JL. KAPTEN MULYADI", MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil, 2019  
Publication

---

91 Shinta Nur Fadhilah, Rizal Aprianto, Frans Tohom, Edi Purwanto. "Perencanaan Lajur Khusus Sepeda di Kampung Inggris Pare", Teknika, 2024  
Publication

---

92 [fr.scribd.com](https://fr.scribd.com)  
Internet Source

---

93 [imekko.blogspot.com](https://imekko.blogspot.com)  
Internet Source

---

94 [info-data.itenas.ac.id](https://info-data.itenas.ac.id)  
Internet Source

---

95	<a href="http://jurnal.ucy.ac.id">jurnal.ucy.ac.id</a> Internet Source	<1 %
96	<a href="http://jurnal.univrab.ac.id">jurnal.univrab.ac.id</a> Internet Source	<1 %
97	<a href="http://lib.unnes.ac.id">lib.unnes.ac.id</a> Internet Source	<1 %
98	<a href="http://library.binus.ac.id">library.binus.ac.id</a> Internet Source	<1 %
99	<a href="http://madiunwae.blogspot.com">madiunwae.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
100	<a href="http://metadata.pemalangkab.go.id">metadata.pemalangkab.go.id</a> Internet Source	<1 %
101	<a href="http://mkg.itu.edu">mkg.itu.edu</a> Internet Source	<1 %
102	<a href="http://myworldhasan.blogspot.com">myworldhasan.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
103	<a href="http://okkyudistira.wordpress.com">okkyudistira.wordpress.com</a> Internet Source	<1 %
104	<a href="http://penginapan.net">penginapan.net</a> Internet Source	<1 %
105	<a href="http://repo.itera.ac.id">repo.itera.ac.id</a> Internet Source	<1 %
106	<a href="http://repositori.uma.ac.id">repositori.uma.ac.id</a> Internet Source	<1 %
107	<a href="http://repository.unib.ac.id">repository.unib.ac.id</a> Internet Source	<1 %

108 Dwijoko Anusanto, Siprianus Tanggu.  
"Kinerja Simpang Derajat Dengan Tingkat  
Kejenuhan Tinggi", Dinamika Rekayasa, 2016  
Publication <1 %

---

109 Kseniia N. Bardakova, Bato Ch. Kholkhoev,  
Zakhar A. Matveev, Evgenii O. Epifanov et al.  
"4D printing of novel polybenzimidazole-  
containing structures with exceptional  
radiation resistance and mechanical  
properties", Applied Materials Today, 2025  
Publication <1 %

---

110 [jurnal.poliupg.ac.id](http://jurnal.poliupg.ac.id)  
Internet Source <1 %

---

111 [repository.radenintan.ac.id](http://repository.radenintan.ac.id)  
Internet Source <1 %

---

112 [www.ams.org](http://www.ams.org)  
Internet Source <1 %

---

113 [www.jogloabang.com](http://www.jogloabang.com)  
Internet Source <1 %

---

114 Emi Septiana Hutabarat. "PENGARUH GAP  
ACCEPTANCE TERHADAP PROBABILITAS  
MENYEBERANG JALAN IMPACT OF GAP  
ACCEPTANCE TO PROBABILITY OF  
PEDESTRIAN CROSSING", Jurnal Penelitian  
Transportasi Darat, 2019  
Publication <1 %

---

115 [repository.trisakti.ac.id](http://repository.trisakti.ac.id)  
Internet Source <1 %

---

116

repository.upstegal.ac.id

Internet Source

<1 %

---

117

sipil.studentjournal.ub.ac.id

Internet Source

<1 %

---

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off