

TUGAS AKHIR
ANALISIS MODEL HUBUNGAN KINERJA SIMPANG TIGA
BERSINYAL JEMBATAN SOEKARNO-HATTA TERHADAP
KUALITAS UDARA KOTA MALANG



Disusun Oleh :
Yehezkiel Aldisurya Pratama Siren
NIM. 2021052

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2026

LEMBAR PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

“ANALISIS MODEL HUBUNGAN KINERJA SIMPANG TIGA BERSINYAL JEMBATAN SOEKARNO-HATTA TERHADAP KUALITAS UDARA KOTA MALANG”

Disusun Oleh :

YEHEZKIEL ALDISURYA PRATAMA SIREN

NIM. 2021052

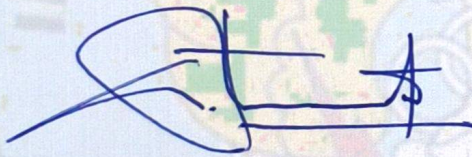
Telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan

Pada tanggal Februari 2026

Disetujui Oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Eding Iskak Imananto, MT.

NIP. 196605061993031004

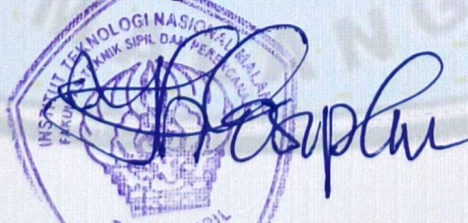


Annur Ma'ruf, ST., MT.

NIP. P. 1032000579

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S1



Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT.

NIP. P. 1030300383

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS MODEL HUBUNGAN KINERJA SIMPANG TIGA BERSINYAL
JEMBATAN SOEKARNO-HATTA TERHADAP KUALITAS UDARA KOTA
MALANG**

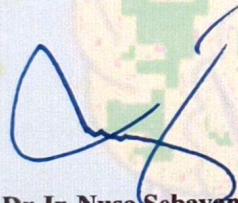
**Tugas Akhir Ini Telah Dipertahankan Di Depan Dosen Penguji Tugas Akhir Jenjang
Strata (S-1) Pada Tanggal Februari 2026 Dan Diterima Untuk Memenuhi
Syarat Untuk Memperloeh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1**

Disusun Oleh :

Yehezkiel Aldisurya Pratama Siren 20.21.052

Dosen Penguji

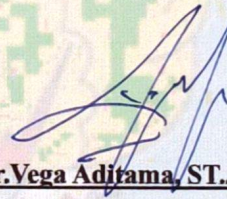
Dosen Penguji I



Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT.

NIP. 196702181993031002

Dosen Penguji II



Dr. Vega Aditama, ST., MT.

NIP. Y. 1031500508

Disahkan Oleh:

Ketua Program Studi

Teknik Sipil S-1



Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT.

NIP. P. 1030300383

Sekretaris Program Studi

Teknik Sipil S-1



Nenny Roostrianawaty, ST., MT.

NIP. P. 1031700533

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : YEHEZKIEL ALDISURYA PRATAMA SIREN

NIM 2021052

Program Studi : Teknik Sipil Strata 1 (S-1)

Fakultas : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul :

**“ANALISIS MODEL HUBUNGAN KINERJA SIMPANG TIGA BERSINYAL
JEMBATAN SOEKARNO-HATTA TERHADAP KUALITAS UDARA KOTA
MALANG”**

Adalah sebenar – benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah TUGAS AKHIR ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah TUGAS AKHIR ini dapat dibuktikan terdapat unsur – unsur PLAGIASI, saya yang bertanda tangan di bawah ini bersedia TUGAS AKHIR ini digugurkan dan gelar akademik yang saya peroleh (Sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang – undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, Februari 2026

Yang membuat pernyataan



YEHEZKIEL A.P SIREN

NIM. 2021052

ABSTRAK

"ANALISIS MODEL HUBUNGAN KINERJA SIMPANG TIGA BERSINYAL JEMBATAN SOEKARNO-HATTA TERHADAP KUALITAS UDARA KOTA MALANG".

Oleh : Yehezkiel Aldisurya Pratama Siren, (2021052) Dosen Pembimbing I : Ir. Eding Iskak Imananto, MT. Dosen Pembimbing II : Annur Ma'ruf, ST., MT. Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Simpang bersinyal merupakan bagian penting dari sistem jaringan jalan perkotaan yang sangat memengaruhi kinerja lalu lintas dan lingkungan. Simpang tiga bersinyal di Jalan Soekarno-Hatta, Kota Malang, memiliki volume lalu lintas yang tinggi sehingga berpotensi menimbulkan kemacetan dan peningkatan emisi kendaraan bermotor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kinerja simpang tiga bersinyal dengan kualitas udara di sekitarnya. Metode penelitian yang digunakan adalah survei lapangan untuk memperoleh data volume lalu lintas, kondisi geometrik simpang, serta konsentrasi polutan udara. Analisis kinerja simpang dilakukan menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dengan parameter derajat kejenuhan, tundaan, dan tingkat pelayanan.

Kualitas udara dianalisis berdasarkan konsentrasi karbon monoksida (CO) dan nitrogen dioksida (NO₂) dengan mengacu pada Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) tahun 2020. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada jam puncak, simpang mengalami derajat kejenuhan tinggi dan tingkat pelayanan rendah yang menyebabkan tundaan dan antrean kendaraan meningkat. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap meningkatnya konsentrasi CO dan NO₂ di sekitar simpang. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penurunan kinerja simpang berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara. Oleh karena itu, diperlukan upaya rekayasa lalu lintas dan optimasi pengaturan sinyal untuk meningkatkan kinerja simpang serta mengurangi dampak pencemaran udara.

Kata kunci: simpang bersinyal, kinerja simpang, kualitas udara, derajat kejenuhan, PKJI 2023

ABSTRACT

"MODELING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PERFORMANCE OF THE SOEKARNO-HATTA BRIDGE SIGNALIZED T-INTERSECTION AND URBAN AIR QUALITY".

By : Yehezkiel Aldisurya Pratama Siren, (2021052) Supervisor I : Ir. Eding Iskak Imananto, MT. Dosen Supervisor II : Annur Ma'ruf, ST., MT. Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Signalized intersections play an important role in urban road networks and significantly affect traffic performance and environmental conditions. The signalized three-leg intersection at Soekarno-Hatta Road, Malang City, experiences high traffic volumes, particularly during peak hours, which potentially leads to congestion and increased vehicle emissions. This study aims to analyze the relationship between the performance of a signalized three-leg intersection and the surrounding air quality. The research method involved field surveys to obtain traffic volume data, intersection geometric conditions, and air pollutant concentrations. Intersection performance was analyzed using the Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI) 2023, focusing on the degree of saturation, delay, and level of service.

Air quality analysis was conducted based on carbon monoxide (CO) and nitrogen dioxide (NO₂) concentrations using the Air Pollution Standard Index (ISPU) 2020. The results indicate that during peak hours, the intersection experiences a high degree of saturation and a low level of service, resulting in increased delays and vehicle queues. These conditions contribute to higher concentrations of CO and NO₂ in the study area. It can be concluded that a decrease in intersection performance has a direct impact on the deterioration of air quality. Therefore, traffic engineering measures and signal optimization are required to improve intersection performance and reduce the impact of air pollution.

Keyword: signalized intersection, intersection performance, air quality, degree of saturation

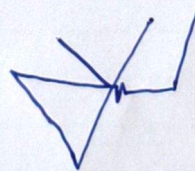
KATA PENGANTAR

Puji syukur pada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kemudahan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS MODEL HUBUNGAN KINERJA SIMPANG TIGA BERSINYAL JEMBATAN SOEKARNO-HATTA TERHADAP KUALITAS UDARA KOTA MALANG”** sesuai dengan waktu yang ditentukan. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini kepada :

1. Bapak Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil
2. Bapak Ir. Eding Iskak Imananto, MT. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
3. Bapak Annur Ma'ruf, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
4. Bapak dan Ibu Dosen Institut Teknologi Nasional Malang yang telah memberikan ilmu pengetahuan guna menunjang penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Kedua Orang Tua yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini belum sempurna dan mengharapkan saran dari pembaca untuk perbaikan selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Februari 2026



Yehezkiel Aldisurya Pratama Siren

NIM: 2021052

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	1
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	3
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	4
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Studi.....	4
1.5 Manfaat Studi.....	5
1.6 Batasan Masalah.....	5
1.7 Lokasi Studi.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Studi Terdahulu.....	6
2.2.Persimpangan.....	11
2.1.1 Pengertian Persimpangan.....	11
2.1.2 Jenis-Jenis Simpang.....	12
2.1.3 Kode Tipe Simpang.....	13
2.3 Simpang Bersinyal.....	13
2.4 Data Masukan.....	15
2.5 Penentuan Waktu Isyarat.....	17
2.5.1 Tipe Pendekat.....	17
2.5.2 Penentuan Lebar Pendekat Efektif (LE).....	18
2.5.3 Penentuan Arus Jenuh.....	19
2.5.4 Faktor Penyesuaian Akibat Hambatan Samping.....	21
2.5.5 Faktor Koreksi Ukuran Kota.....	22

2.5.6 Faktor Penyesuaian Akibat Kelandaian	23
2.5.7 Faktor Penyesuaian Akibat Lalu Lintas Belok Kanan (FBKa) dan Belok Kiri (FBKi)	24
2.5.8 Rasio Arus atau Rasio Arus Jenuh	25
2.5.9 Waktu Merah Semua dan Waktu Hijau Hilang Total	26
2.5.10 Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (WH)	29
2.5.11 Kapasitas Simpang	30
2.6 Kinerja Lalu Lintas	30
2.6.1 Derajat Kejenuhan	30
2.6.2 Panjang Antrian	31
2.6.3 Tundaan	35
2.7 Tingkat Pelayanan	37
2.8 Kualitas Udara	39
2.8.1 Pencemaran Udara dan Dampaknya	40
2.8.2 Emisi	42
2.8.3 Indeks Standar Pencemaran Udara	44
2.9 Model Hubungan Kinerja Simpang dengan Udara	46
BAB III METODOLOGI STUDI	50
3.1 Rancangan Studi	50
3.2 Lokasi Studi	50
3.3 Metode Pengumpulan Data	51
3.3.1 Data Primer	51
3.3.2 Data Sekunder	52
3.4 Kegiatan Survei	52
3.4.1 Waktu Survei	52
3.4.2 Peralatan Survei	52
3.4.3 Jenis Survey	54
3.5 Lokasi Titik Surveyor	58
3.6 Metode Analisa Data	59
3.6.1 Metode analisa kinerja simpang	59
3.7 Solusi Alternatif	59
3.8 Bagan Alir Rencana	60
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	61
4.1 Pengolahan Data	61
4.1.1 Data Sekunder Jumlah Penduduk	61

4.1.2 Data Primer	61
4.1.3 Kondisi Geometrik Jalan.....	62
4.1.3.1 Penetapan Penggunaan Isyarat APPIL pada Simpang Tiga Soekarno-Hatta	66
4.1.4 Analisis Volume Lalu Lintas	67
4.1.4.1 Ekuivalensi Mobil Penumpang	67
4.1.5 Analisa Waktu Antar Hijau dan Waktu Hilang.....	72
4.2 Analisa Kondisi Eksisting.....	75
4.2.1 Derajat Kejenuhan Pada Kondisi Eksisting (D_j).....	75
4.2.2 Panjang Antrian Jam Puncak (P_A).....	75
4.2.3 Tundaan (T).....	77
4.2.4 Tingkat pelayanan pada simpang Tiga Jembatan Soekarno -Hatta	78
4.3 Alternatif Perbaikan Simpang.....	79
4.3.1 Pengoptimalan waktu siklus	79
4.4 Analisa Kualitas Udara	81
4.4.1 Nitrogen Dioksida (NO_2)	85
4.4.2 Model Hubungan Kinerja Lalu Lintas Dan Kualitas Udara.....	86
4.4.3 Nitrogen Dioksida (NO_2)	89
BAB V	92
KESIMPULAN DAN SARAN.....	92
5.1 Kesimpulan.....	92
5.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Studi Terdahulu	10
Tabel 2. 2 Kode Tipe Simpang	13
Tabel 2. 3 Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)	16
Tabel 2. 4 Kriteria Kelas Hambatan Samping	21
Tabel 2. 5 Nilai Faktor Hambatan Samping	22
Tabel 2. 6 Faktor Koreksi Ukuran Kota (Fuk).....	23
Tabel 2. 7 Kriteria Tingkat Pelayanan Simpang	38
Tabel 2. 8 Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU.....	45
Tabel 2. 9 Kategori Angka Rentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).....	46
Tabel 2. 10 Perbedaan Regresi Linier dan Non-Linier	48
Tabel 2. 11 Kuat Hubungan Variabel	49
Tabel 3. 1 Formulir Survey Data Volume Lalu Lintas.....	56
Tabel 3. 2 Formulir Survey Data Kualitas Udara	57
Tabel 4. 1 Jumlah Penduduk Kota Malang	61
Tabel 4. 2 Data Geometrik Simpang 3 Jembatan Soekarno Hatta.....	61
Tabel 4. 3 Faktor Koreksi Ukuran Kota	63
Tabel 4. 4 Faktor penyesuaian untuk tipe lingkungan jalan, hambatan samping dan kendaraan tak bermotor (FHS)	63
Tabel 4. 5 Konfigurasi Waktu Sinyal Simpang Soekarno Hatta hasil pengamatan dilapangan	67
Tabel 4. 6 Nilai EMP untuk KS dan SM	68
Tabel 4. 7 Total Arus Lalu Lintas pendekat utara. Sabtu, 22 Feb 2025	68
Tabel 4. 8 Volume Lalu Lintas Pada Simpang Soekarno-Hatta Sabtu 22-02-2025	70
Tabel 4. 9 Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Hijau dan Waktu Hilang Total pada Simpang Soekarno Hatta	74
Tabel 4. 10 Analisa Derajat Kejenuhan SA-IV	75
Tabel 4. 11 Waktu siklus (S) yang layak.....	79
Tabel 4. 12 Kinerja simpang Soekarno Hatta setelah dilakukan pengoptimalan waktu siklus.....	81

Tabel 4. 13 Analisa perhitungan emisi CO untuk hasil survey yang dilakukan selama Workday dan Weekday	82
Tabel 4. 14 Hasil Konversi emisi CO untuk hasil survey yang dilakukan selama Workday dan Weekday	83
Tabel 4. 15 Standar Konversi ISPU, Molekul CO	84
Tabel 4. 16 Analisa perhitungan emisi NO ₂ untuk hasil survey yang dilakukan selama Workday dan Weekday	85
Tabel 4. 17 Standar Konversi ISPU, Molekul NO ₂	86
Tabel 4. 18 Rekapitulasi Analisis Korelasi nilai CO dan Tundaan pada simpang Soekarno Hatta hari Selasa 25, Feb 2025	86
Tabel 4. 19 Rekapitulasi Analisis Korelasi nilai NO ₂ dan Tundaan pada simpang Soekarno Hatta pada hari Selasa, 25 Feb 2025	89
Tabel 4. 20 Rekapitulasi Analisis Korelasi nilai NO ₂ dan Tundaan pada simpang Soekarno Hatta pada hari Selasa, 25 Feb 2025	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Survey Jl. Soekarno Hatta-Jl. MT Haryono-Jl. Mayjend Panjaitan	2
Gambar 1. 2 Kemacetan pada Simpang Tiga Jl. Soekarno-Hatta.....	3
Gambar 2. 1 Konflik Primer dan Konflik Sekunder pada Simpang 4 Lengan	14
Gambar 2. 2 Penentuan Tipe Pendekat	18
Gambar 2. 3 Lebar Pendekat Dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas	19
Gambar 2. 4 Faktor Koreksi untuk Kelandaian (F_G)	24
Gambar 2. 5 Faktor koreksi untuk belok kanan (FBKa), pada pendekat tipe P dengan jalan dua arah, dan LE ditentukan oleh LM	25
Gambar 2. 6 Faktor Koreksi untuk belok kiri (FBKi) untuk pendekat tipe P tanpa BKiJT, dan LE ditentukan oleh LM.....	26
Gambar 2. 7 Titik konflik kritis dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan	28
Gambar 2. 8 Jumlah Kendaraan Tersisa (SMP) Dari Sisa Fase Sebelumnya.....	33
Gambar 2. 9 Jumlah Kendaraan Yang Datang Kemudian Antri Pada Fase Merah	34
Gambar 3. 1 Peta Lokasi.....	52
Gambar 3. 2 ENVILIFE Air Quality Monitoring System AquPod	55
Gambar 3. 3 Denah Lokasi Titik Surveyor.....	60
Gambar 3. 4 Diagram Alir	63
Gambar 4. 1 Geometrik Simpang Tiga Soekarno-Hatta.....	64
Gambar 4. 2 Grafik Faktor penyesuaian semua tipe pendekat (Kelandaian F_G).....	65
Gambar 4. 3 Fase Simpang Tiga Jembatan Soekarno Hatta.....	66
Gambar 4. 4 Fase dan Diagram waktu siklus simpang Soekarno Hatta.....	67
Gambar 4. 5 Volume Lalu Lintas Lengan Hari Sabtu, 22-02-25	70
Gambar 4. 6 Volume Lalu Lintas Lengan Hari Minggu 23-02-2025	71
Gambar 4. 7 Volume Lalu Lintas Lengan Senin, 24-02-2025	71
Gambar 4. 8 Volume Lalu Lintas Lengan Hari Selasa 25-02-2025	72
Gambar 4. 9 Titik Konflik dan Jarak untuk Menentukan Keberangkatan dan Kedatangan.....	73

Gambar 4. 10 Grafik konsentrasi CO Terhadap tundaan.....	88
Gambar 4. 11 Grafik konsentrasi NO ₂ Terhadap tundaan	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Simpang tiga bersinyal merupakan salah satu komponen penting dalam sistem jaringan jalan, terutama di kota-kota besar seperti Kota Malang. Kinerja simpang tiga bersinyal tidak hanya mempengaruhi efisiensi lalu lintas, tetapi juga dapat berdampak pada kualitas udara. Pada prinsipnya, simpang tiga bersinyal adalah pertemuan dua atau lebih jaringan jalan yang diatur oleh sistem sinyal lalu lintas untuk mengatur arus kendaraan dan mengurangi kejenuhan lalu lintas.

Namun, kondisi lalu lintas di Kota Malang, terutama di segmen Jalan Soekarno Hatta sebagai jalan provinsi, seringkali mengalami kejenuhan yang signifikan terutama pada jam-jam puncak seperti pagi hari, siang hari, dan sore hari. Hal ini disebabkan oleh banyaknya aktivitas yang terjadi dari berbagai arah persimpangan, sehingga memerlukan evaluasi yang lebih mendalam terhadap kinerja simpang tiga bersinyal tersebut.

Kemacetan lalu lintas di kota Malang sangat mengganggu aktifitas masyarakat. Kemacetan lalu lintas juga dapat membahayakan lingkungan dengan meningkatkan pencemaran udara. Oleh karena itu, peningkatan kemacetan lalu lintas pasti akan mengurangi kualitas udara. Di antara parameter yang dihasilkan oleh asap kendaraan bermotor, mobil, mobil ringan, dan transportasi umum adalah debu (partikulat), sulfur dioksida (SO_2), dan oksida nitrogen (HC). Timbal (Pb), yang ditemukan dalam bensin premium, adalah pencemar tambahan. Ini berkontribusi pada penurunan kualitas udara. (Muhammad Khafid Fauzan, 2024).

Persimpangan jalan raya Soekarno-Hatta berfungsi sebagai jalan arteri yang menghubungkan berbagai wilayah di Kota Malang, sedangkan jalan yang mengalir dari dan menuju Jembatan Soekarno-Hatta, seperti JL. Mayjend Panjaitan dan JL. MT Haryono merupakan jalan Kolektor sekunder dan merupakan jalan bersinyal yang memiliki peran penting dalam menghubungkan

berbagai kawasan sekitar jembatan, termasuk akses ke kampus-kampus besar seperti Universitas Brawijaya dan Politeknik Negeri Malang. Kondisi Lingkungan seperti keberadaan kampus-kampus besar sangat mempengaruhi kinerja simpang dengan banyaknya kendaraan yang melewati simpang JL. Mayjend Panjaitan – JL. Soekarno Hatta, JL. Soekarno Hatta – JL. MT Haryono, JL. MT Haryono – JL. Soekarno Hatta, dan JL. Mayjend Panjaitan – JL. Mayjen Haryono mempengaruhi tingkat kemacetan yang menyebabkan tingkat polusi udara meningkat dan perlu adanya evaluasi untuk memaksimalkan kinerja persimpangan.



Gambar 1. 1 Lokasi Survey Jl. Soekarno Hatta-Jl. MT Haryono-Jl. Mayjend Panjaitan

(Sumber : Google Earth Pro)



Gambar 1. 2 Kemacetan pada Simpang Tiga Jl. Soekarno-Hatta

(Sumber : Lokasi lapangan yang ditinjau)

Tujuan dari Studi ini adalah untuk mengevaluasi kinerja simpang tiga bersinyal di jalan Soekarno Hatta yang tidak hanya melihat dari aspek lalu lintas saja, tetapi juga harus mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan sekitar, termasuk kualitas udara. Emisi gas buang transportasi darat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap setengah dari total emisi SPM_{10} , untuk sebagian besar Timbal (Pb), CO , HC , dan NO_2 kendaraan yang berlebihan dapat meningkatkan kadar polusi udara, sehingga perlu strategi perbaikan yang efektif untuk meningkatkan kinerja simpang tiga bersinyal dan mengurangi polusi udara.

1.2 Identifikasi Masalah

Didasarkan pada latar belakang yang telah disebutkan di atas, masalah studi ini akan diidentifikasi sebagai berikut :

1. Kemacetan yang signifikan di simpang tiga bersinyal disebabkan oleh banyaknya kendaraan di jalan, terutama pada jam sibuk, yang menyebabkan waktu tempuh yang lebih lama dan lebih banyak antrian kendaraan.
2. Durasi siklus lampu lalu lintas yang kurang efisien memperburuk kepadatan lalu lintas di simpang tersebut.
3. Peningkatan emisi kendaraan akibat kemacetan menyebabkan pelepasan polutan seperti CO , dan NO_2 dalam jumlah signifikan.
4. Peningkatan jumlah kendaraan memperparah kemacetan serta memperburuk polusi udara.

1.3 Rumusan Masalah

Pokok-pokok bahasan pada studi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja simpang tiga bersinyal di segmen Jalan Soekarno-Hatta, Kota Malang?
2. Bagaimana kualitas udara di sekitar simpang tiga bersinyal tersebut ?
3. Bagaimana model hubungan antara kinerja simpang bersinyal dengan kualitas udara di sekitarnya?
4. Apakah Solusi Alternatif dari Kinerja Simpang tersebut?

1.4 Tujuan Studi

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan dari studi ini yaitu :

1. Menganalisis kinerja simpang tiga bersinyal di Jalan Soekarno Hatta, Kota Malang.
2. Mengetahui berapa emisi gas buang kendaraan yang dihasilkan akibat kemacetan pada simpang tiga bersinyal.
3. Menentukan model hubungan antara kinerja simpang bersinyal dengan kualitas udara pada simpang tiga bersinyal.
4. Menganalisis Solusi Alternatif pada Simpang

1.5 Manfaat Studi

Adapun manfaat studi Analisa kinerja lalu lintas dan kualitas udara di Simpang Tiga Jalan Soekarno-Hatta adalah :

1. Memberikan wawasan untuk meningkatkan arus lalu lintas dan mengurangi kemacetan di simpang tiga.
2. Sebagai referensi dalam merumuskan strategi untuk mengurangi emisi gas buang dari kendaraan.
3. Menjadi acuan kebijakan transportasi yang mendukung lingkungan bersih.
4. Mendorong kesadaran masyarakat terkait pentingnya kualitas udara terhadap dampak lalu lintas dan terhadap lingkungan.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam studi ini adalah sebagai berikut :

1. Studi hanya akan mencakup wilayah Jalan simpang tiga bersinyal Soekarno Hatta, Kota Malang
2. Pengukuran kualitas udara terbatas pada polutan tertentu, karbon monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂).
3. Pengaruh suatu pengukuran kualitas udara dapat disebabkan faktor Cuaca.
4. Pengambilan data dilakukan pada waktu-waktu tertentu, pada saat jam sibuk pagi, siang, serta sore hari.

5. Pedoman yang dipakai untuk pengujian kinerja simpang dan kualitas udara adalah PKJI 2023, (Permen LHK Nomor 14, 2020), dan ISPU 2020.

1.7 Lokasi Studi

Simpang Tiga Jl. Soekarno-Hatta, MT. Haryono, Mayjend Panjaitan Kelurahan Jatimulyo, Kecamatan Lowokwaru - MALANG, Provinsi Jawa Timur, Kodepos (65141).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Terdahulu

Melalui perbandingan studi terdahulu, kita dapat mengidentifikasi kelemahan dan kekuatan pada studi sebelumnya serta menemukan celah-celah baru yang perlu dieksplorasi dalam konteks analisis kinerja simpang tiga bersinyal terhadap kualitas udara. Berikut beberapa studi terdahulu yang dianggap relevan dengan studi yang dicantumkan oleh peneliti lain dan membantu menunjukkan bahwa studi yang akan dilakukan adalah valid.

1. (Mahardika, 2024) Melakukan Studi dengan Judul “Model Hubungan Tingkat Kinerja Simpang dengan Kualitas Udara (Studi Kasus di Dua Simpang Berdekatan Jalan Ranugrati Kota Malang)”. Pada Studi ini menggunakan metode metode Pengumpulan Data : Data Primer mencakup : Data geometrik jalan, Data volume lalu lintas, Data kualitas udara ambien dan Data Sekunder mencakup : jumlah penduduk Malang yang bisa diperoleh melalui Badan Pusat Statistik (BPS), metode pengolahan data didapatkan menggunakan metode PKJI 2023 dan ISPU 2020 dengan hasil studi adalah pada simpang 1, arus lalu lintas mencapai 136 smp/jam dengan kapasitas 207 smp/jam dan derajat kejenuhan 0,656, sedangkan pada simpang 2, arus lalu lintas mencapai 676 smp/jam dengan kapasitas 916 smp/jam dan derajat kejenuhan 0,739. Tingkat pelayanan untuk simpang 1 adalah E dan untuk simpang 2 adalah D, Emisi CO di simpang 1 tercatat sebesar 43 ppm (kategori baik), sedangkan SO₂ sebesar 7 ppm (juga kategori baik). Pada simpang 2, emisi CO mencapai 48 ppm (kategori baik) dan SO₂ tetap pada 7 ppm (kategori baik), Model Hubungan : Analisis menunjukkan bahwa emisi CO dan SO₂ tidak mempengaruhi kualitas udara secara signifikan karena masih dalam batas standar ISPU 2020. Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau di sekitar simpang berkontribusi pada kondisi udara yang baik meskipun ada peningkatan volume lalu lintas.

2. (Agung et al., 2023) Melakukan Studi dengan Judul “Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Di Kota Malang (Studi Kasus Jalan S. Supriadi - Jalan Satsui Tubun Kecamatan Sukun” . Pada Studi ini menggunakan metode Pengumpulan Data : Data Primer dan Data Sekunder, Data dikumpulkan selama 7 hari, dengan fokus pada volume lalu lintas dan karakteristik geometrik simpang, Menggunakan PKJI 2014 untuk menganalisis Kinerja simpang yang mencakup : Kapasitas Simpang, Derajat Kejenuhan, Tundaan, Studi menggunakan prosedur USIG untuk menghitung arus lalu lintas dan geometric, dengan hasil Studi menunjukkan bahwa pada tahun 2023, volume kendaraan mencapai 5249 cur/jam dengan derajat kejenuhan 1,0, yang mengindikasikan kondisi layanan kategori F.
3. (Nurmaya, 2023) Melakukan Studi dengan Judul “Kajian Pencemaran Lingkungan terhadap Kesehatan Masyarakat akibat Gas Buangan CO Kendaraan Bermotor di Kawasan Universitas Gadjah Mada”. Pada Studi ini menggunakan metode Pengumpulan Data : Data Primer yang mencakup:
 - Abiotik: Mengukur arah dan kecepatan angin, suhu, serta konsentrasi CO menggunakan CO Meter.
 - Biotik: Melakukan wawancara mendalam dengan berbagai pihak seperti pedagang, masyarakat sekitar, dan akademisi untuk mendapatkan perspektif tentang dampak kesehatan dari pencemaran dan Data Sekunder (Mengumpulkan informasi geografis, jumlah kendaraan bermotor, serta data populasi dari sumber resmi).

Pengukuran dilakukan di empat titik yang ditentukan berdasarkan purposive sampling, dengan jarak 1 meter dari pinggir jalan dan ketinggian 1,5 meter dari permukaan jalan, dengan hasil studi Rata-rata konsentrasi CO pada hari kerja mencapai 22 ppm, sedangkan pada akhir pekan adalah 17 ppm. Kedua nilai ini melebihi batas baku mutu yang ditetapkan sebesar 10 ppm, dan Konsentrasi CO maksimum yang terukur adalah 37 ppm, sedangkan minimum adalah 10 ppm.
4. (Fauzan, M. K., Sebayang, N., & Surbakti, D. S., 2024) Melakukan Studi dengan Judul “Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Di Kota Malang

(Studi Kasus Jalan S. Supriadi - Jalan Satsui Tubun Kecamatan Sukun”. Pada Studi ini menggunakan metode Pengumpulan Data : Data Primer (Survey langsung dilapangan) dan Data Sekunder (Mendapatkan keterangan atau data dari instansi pemerintah yang terkait, lalu Data hasil survei yang diperoleh oleh penulis selanjutnya diolah dengan menggunakan metode perhitungan dan analisis penyelesaian. Untuk keperluan alternatif rencana lainnya menggunakan sumber yang berasal dari PKJI 2024 dan ISPU 2020, dengan hasil studi adalah Berdasarkan analisis kondisi lalu lintas yang ada dan alternatif perbaikan, dan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kinerja Simpang Tak Bersinyal:

Derajat Kejenuhan:

- Jam Puncak Pagi: $DJ = 1,12$
- Jam Puncak Siang: $DJ = 1,11$
- Jam Puncak Sore: $DJ = 1,15$

Peluang Antrian:

- Jam Puncak Pagi: $PA = 102,43 \text{ m}$
- Jam Puncak Siang: $PA = 100,05 \text{ m}$
- Jam Puncak Sore: $PA = 107,64 \text{ m}$

Tundaan:

- Jam Puncak Pagi: $T = 27,39 \text{ det/skr}$
- Jam Puncak Siang: $T = 62,51 \text{ det/skr}$
- Jam Puncak Sore: $T = 78,26 \text{ det/skr}$
- Rata-rata Tundaan Simpang: $T = 56,05 \text{ det/skr}$ dengan tingkat pelayanan E.

2. Hubungan Kinerja Simpang dan Pencemaran Udara:

Pada jam 16.00 – 17.00 di simpang Jl. Panglima Sudirman – Jl. Gatot Subroto selama 12 jam:

Regresi NO_2 :

- Model: $\text{NO}_2 = 0,586 + 1,1337(69,98)$
- Tundaan (X) = 69,98 det/skr; NO_2 (Y) = $43,282 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- Korelasi (r) = 0,9798 (sangat kuat).

Regresi CO:

- Model: $CO = 0,4976 + 7,1087(69,98)$
- Tundaan (X) = 69,98 det/skr; $CO (Y) = 497,194 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Korelasi (r) = 0,9999 (sangat kuat).

3. Setelah analisis kemacetan dan pencemaran udara serta optimisasi yang dilakukan, disarankan untuk melakukan studi lebih lanjut dan menerapkan rekayasa lalu lintas guna mengurangi tundaan dan pencemaran udara.
5. (Ramzy, M., Rahardjo, B., & Supriyanto, B., 2024) Melakukan Studi dengan Judul “Analisis Kinerja Simpang di Kota Malang Menggunakan PKJI 2023 (Studi Kasus : Simpang Empat Malang)”. Pada Studi ini menggunakan metode Pengumpulan Data : Data Primer dan Data Sekunder, Menggunakan PKJI 2023 untuk menganalisis Kinerja simpang yang mencakup : Kapasitas Simpang, Derajat Kejenuhan, Tundaan,, mencari alternatif solusi berdasarkan hasil analisis untuk meningkatkan kinerja simpang, serta melakukan proyeksi kinerja simpang untuk 5 tahun ke depan dengan menggunakan analisis regresi tunggal untuk memperkirakan perubahan volume lalu lintas dan dampaknya terhadap kinerja simpang, dengan hasil studi adalah :
 - 1) Kinerja simpang pada Analisis kondisi eksisting menunjukkan bahwa kinerja simpang tidak baik. Arus lalu lintas tertinggi terjadi pada Rabu, 11 Oktober 2023, dengan 3806 SMP/jam pada jam puncak pagi (06.30-07.30 WIB) dan 3200 SMP/jam pada jam puncak siang (12.30-13.30 WIB). Nilai tundaan rata-rata adalah 187,9 det/SMP (pagi) dan 85,7 det/SMP (siang), dengan semua tingkat pelayanan berada pada kategori F (sangat buruk).
 - 2) Dari 4 alternatif solusi yang dianalisis, 2 di antaranya mencapai tingkat pelayanan minimal C (sedang). Alternatif keempat, yang melarang belok kanan dan mengubah menjadi dua fase, menunjukkan hasil terbaik dengan nilai tundaan rata-rata 13,3 det/SMP dan tingkat pelayanan B (baik).

Panjang antrian terpanjang mencapai 45 meter, serta derajat kejenuhan < 0,85, dengan nilai DJ tertinggi pada pendekat barat sebesar 0,515.

3) Analisis regresi tunggal digunakan untuk memperkirakan pertumbuhan jumlah kendaraan di Malang. Perkiraan untuk lima tahun ke depan menunjukkan alternatif solusi ketiga mengalami penurunan kinerja pada tahun 2028 dengan tundaan rata-rata 40,4 det/SMP dan tingkat pelayanan D (kurang). Sebaliknya, alternatif solusi keempat dapat mempertahankan kinerja dengan tundaan rata-rata 14,1 det/SMP dan tingkat pelayanan B (baik).

Pada Tabel 2.1 merupakan perbandingan antara studi literatur terdahulu dan studi terbaru yang penulis cantumkan :

Tabel 2. 1 Perbandingan Studi Terdahulu.

No	Nama dan Judul Studi	Kesamaan dengan Studi Terdahulu	Perbedaan dengan Studi Terdahulu
1	Model Hubungan Tingkat Kinerja Simpang dengan Kualitas Udara (Studi Kasus di Dua Simpang Berdekatan Jalan Ranugrati Kota Malang) (Helga Yasa Mahardika, 2024)	Studi ini memiliki kesamaan yang juga meneliti kualitas udara sebagai variabel utama.	Lokasi Studi yang dipilih dan fokus studi.
2	Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Di Kota Malang (Studi Kasus Jalan S. Supriadi - Jalan Satsui Tubun Kecamatan Sukun) (Stefanus Leo Agung, Muhammad Sadillah, Rifky Aldila Primasworo, 2023)	Variabel studi meliputi : Pengukuran Kinerja Simpang, Volume Lalu Lintas, Kondisi Geometris, Tingkat Layanan (LOS), dan menggunakan PKJI sebagai pedoman.	Lokasi Studi yang dipilih, dan Jenis Simpang yang dipilih
3	Kajian Pencemaran Lingkungan terhadap Kesehatan Masyarakat akibat Gas Buangan CO Kendaraan Bermotor di Kawasan Universitas Gadjah Mada. (Elsantika Meldacindya Nurmaya, 2024)	Variabel studi meliputi : Mengukur kualitas Udara, Menghitung Jumlah Kendaraan	Lokasi Studi yang dipilih

4	Analisa Hubungan antara Kemacetan dan Pencemaran Udara Kota Malang. (Muhammad Khafid Fauzan, Nusa Sebayang, dan Sriliani Surbakti ,2024)	Variabel studi meliputi : Mengukur parameter lalu lintas, Mengukur konsentrasi polutan ,Kinerja Simpang menggunakan PKJI dan ISPU.	Lokasi jalan yang dipilih.
5	Analisis Kinerja Simpang di Kota Malang Menggunakan PKJI 2023 (Studi Kasus : Simpang Empat Malang) (Mohammad Ramzy Ramzy,Boedi Rahardjo dan Bambang Supriyanto, 2024)	Variabel studi meliputi : survey awal, pengambilan data mencakup jumlah kendaraan, menggunakan parameter PKJI 2023,dan Faktor lingkungan	Lokasi studi yang dipilih.

Berdasarkan studi-studi terdahulu yang telah ditinjau oleh penulis, Studi ini menghadirkan kebaruan dalam analisis data dengan menggunakan pedoman, yaitu Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Pada studi penulis, studi yang ditinjau juga menganalisis hubungan antara kinerja persimpangan dan kualitas udara di lokasi yang dikaji, dengan tujuan untuk mengurangi kemacetan dan polusi yang diakibatkan oleh kemacetan di persimpangan tiga Soekarno-Hatta, Kota Malang.

2.2. Persimpangan

2.1.1 Pengertian Persimpangan

Persimpangan merupakan sebuah istilah yang sering digunakan dalam dunia transportasi, memiliki definisi yang spesifik menurut beberapa ahli.

Persimpangan merupakan "suatu bentuk pertemuan jalan di mana setiap akses simpang memiliki karakteristik yang berbeda". Morlok juga mengklasifikasikan persimpangan menjadi dua kategori, yaitu persimpangan sebidang dan persimpangan tak sebidang. Persimpangan sebidang adalah pertemuan antara dua atau lebih jalan yang berada pada elevasi yang sama, sedangkan persimpangan tak sebidang adalah pertemuan jalan yang tidak berada pada satu bidang dan memiliki perbedaan ketinggian. (Morlok, 1991)

Mendefinisikan persimpangan sebagai "pertemuan antara dua jalan atau lebih yang saling bersilangan". Dalam konteks ini, mereka membedakan antara simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal. Simping bersinyal diatur oleh lampu lalu lintas untuk mengatur arus kendaraan secara bergiliran, sedangkan simpang tak bersinyal tidak menggunakan sinyal, sehingga pengemudi harus menilai sendiri keamanan untuk melintasi simpang tersebut.

Menjelaskan bahwa persimpangan adalah "pertemuan atau percabangan jalan, baik yang sebidang maupun tidak sebidang". Definisi ini menunjukkan bahwa persimpangan tidak hanya sekadar titik pertemuan jalan, tetapi juga mencakup fasilitas jalur dan tepi jalan. Mereka juga mengidentifikasi empat jenis gerakan kendaraan yang berpotensi berbahaya di persimpangan, yaitu berpencar, bergabung, bersilang, dan berpotongan. (Peraturan Pemerintah (PP) NO 43, 1993)

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

2.1.2 Jenis-Jenis Simping

Menurut Morlok (1988), menjelaskan bahwa persimpangan jalan sebidang dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

- Simping Bersinyal (Signalised Intersection)

Simpang bersinyal adalah persimpangan jalan yang pengaturan arus lalu lintas dari setiap pendekatannya dilakukan dengan menggunakan lampu sinyal, sehingga kendaraan dapat melintasi persimpangan secara bergiliran. Pengguna jalan hanya diperbolehkan melintas ketika lampu lalu lintas menunjukkan warna hijau pada sisi simpang yang bersangkutan. Sistem ini diterapkan untuk mencegah terjadinya kemacetan di persimpangan, mengurangi jumlah kecelakaan akibat

konflik antara arus lalu lintas yang berlawanan, serta memberikan kesempatan bagi pejalan kaki untuk menyeberang dengan aman.

- **Simpang Tak Bersinyal (Unsignalised Intersection)**

Simpang tak bersinyal merujuk pada pertemuan jalan yang tidak menggunakan lampu sinyal dalam pengaturannya. Pada jenis simpang ini, pengguna jalan diharuskan untuk menilai sendiri apakah mereka merasa cukup aman untuk melintasi persimpangan atau perlu berhenti terlebih dahulu sebelum melanjutkan perjalanan.

2.1.3 Kode Tipe Simpang

Tipe simpang ditetapkan berdasarkan jumlah lengan simpang dan jumlah lajur pada jalan mayor dan jalan minor dengan kode tiga angka (Tabel 2.2) Jumlah lengan adalah jumlah lengan untuk lalu lintas masuk atau keluar atau keduanya.

Tabel 2. 2 Kode Tipe Simpang

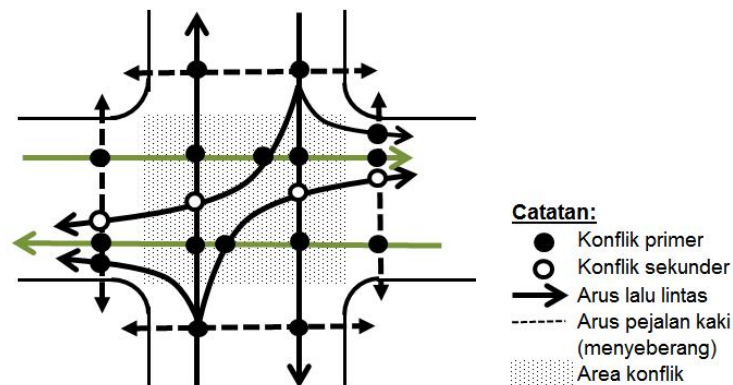
Kode Tipe Simpang	Jumlah Lengan Simpang	Jumlah Lajur Jalan Minor	Jumlah Lajur Jalan Mayor
322	3	2	2
324	3	2	4
422	4	2	2
424	4	2	4

(Sumber : PKJI 2023, hal.131)

2.3 Simpang Bersinyal

Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) memiliki fungsi untuk mengatur lalu lintas di persimpangan dengan cara meminimalkan terjadinya konflik, baik konflik primer maupun konflik sekunder, melalui pemisahan waktu arus lalu lintas. Konflik primer terjadi ketika dua atau lebih kendaraan atau pengguna jalan bertemu di persimpangan dengan jalur yang saling bersilangan. Situasi ini sering melibatkan arus lalu lintas yang bergerak lurus dan kendaraan yang berbelok, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan di titik pertemuan tersebut., sedangkan konflik sekunder merupakan dampak dari konflik primer, di mana pergerakan kendaraan yang terpengaruh oleh konflik pertama dapat menyebabkan

gangguan pada kendaraan lain. Contohnya, jika kendaraan yang terlibat dalam konflik primer harus berhenti mendadak, kendaraan di belakangnya mungkin mengalami tabrakan akibat reaksi cepat untuk menghindari kecelakaan. (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI), 2023)



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

(Sumber : PKJI 2023 hal 102)

Berdasarkan PKJI 2023, tujuan penerapan Alat Pengatur Isyarat Lalu Lintas (APILL) meliputi:

- Mencegah Kemacetan: APILL dirancang untuk mengatur arus lalu lintas di persimpangan, sehingga dapat mengurangi kemacetan yang sering terjadi pada lokasi-lokasi dengan volume lalu lintas yang tinggi.
- Meningkatkan Keamanan: Dengan adanya sinyal lalu lintas, diharapkan dapat menurunkan risiko kecelakaan di persimpangan dengan memberikan instruksi yang jelas kepada pengemudi mengenai waktu berhenti dan melanjutkan perjalanan.
- Meningkatkan Efisiensi Lalu Lintas: APILL berfungsi dalam pengaturan waktu lampu merah dan hijau, sehingga arus lalu lintas dapat berjalan lebih lancar, terutama pada jam-jam sibuk.
- Memberikan Informasi yang Jelas: Penggunaan sinyal memungkinkan pengemudi untuk mendapatkan informasi yang jelas mengenai kondisi lalu

lintas, yang dapat membantu mereka dalam membuat keputusan saat berada di persimpangan.

Selain lampu isyarat hijau dan merah, pengaturan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) juga harus dilengkapi dengan lampu kuning dan lampu merah semua. Lampu merah semua (All Red) berfungsi untuk memberi peringatan kepada arus kendaraan yang sedang bergerak bahwa fase telah berakhir. Sementara itu, lampu Kuning bertujuan untuk memastikan bahwa kendaraan terakhir yang berada di fase hijau yang baru saja berakhir memiliki waktu cukup untuk keluar dari area konflik sebelum kendaraan pertama dari fase berikutnya memasuki area tersebut.

2.4 Data Masukan

Data masukan lalu lintas merupakan informasi krusial yang diperlukan untuk menganalisis dan merencanakan kinerja sistem transportasi. Berdasarkan berbagai sumber, data masukan ini dapat dikelompokkan ke dalam 2 kategori utama, yaitu :

1. Data Arus Lalu Lintas Eksisting: Mencakup informasi tentang arus lalu lintas yang sedang berlangsung pada waktu tertentu, seperti jam sibuk pagi dan sore. Data ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja lalu lintas saat ini, membantu dalam analisis kemacetan dan pengaturan sinyal lalu lintas.
2. Data Arus Lalu Lintas Rencana: Data ini berfungsi sebagai dasar untuk perencanaan infrastruktur, termasuk penentuan lebar jalur dan jumlah lajur lalu lintas. Data arus lalu lintas rencana biasanya dihitung berdasarkan volume lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) dan faktor jam rencana, yang kemudian digunakan untuk meramalkan kebutuhan masa depan. Rumus untuk menghitung data lalu lintas rencana, yang digunakan untuk menetapkan lebar jalur atau jumlah lajur lalu lintas, adalah sebagai berikut:

$$qJP = LHRT \times K \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- q/P = Arus lalu lintas jam perencanaan
- LHRT : Volume lalu lintas harian rata-rata tahunan yang dapat dicari menggunakan rumus (Jumlah lalu lintas dalam satu tahun/ 365 hari), dan dinyatakan dalam satuan SMP(Satuan Mobil Penumpang)/hari.
- K : Faktor jam rencana, yang ditetapkan berdasarkan kajian fluktuasi arus lalu lintas selama satu tahun. Nilai K untuk jalan perkotaan biasanya berkisar antara 7% hingga 12%. Faktor ini biasanya diperoleh dari data historis yang menunjukkan variasi arus lalu lintas, termasuk analisis perilaku pengguna jalan dan pola perjalanan di lokasi tertentu.
- Arus lalu lintas, q , dinyatakan dalam SMP/jam untuk satu atau lebih periode, misalnya pada periode jam puncak pagi, siang, atau sore. Arus lalu lintas dalam kend/jam dikonversi menjadi satuan SMP/jam menggunakan nilai EMP yang sesuai dengan masing-masing pendekat, terlindung atau terlawan.

Dalam satu pendekat bisa terjadi dua tipe pendekat yang berbeda dengan fase yang berbeda. Jika hal ini ditemui, maka nilai EMP yang digunakan juga menjadi dua, sesuai tipe pendekat masing-masing fase tersebut. Nilai EMP untuk tiap jenis kendaraan pada tipe pendekat terlindung dan terlawan ditunjukkan dalam Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Jenis Kendaraan	EMP untuk tipe Pendekat	
	Terlindung	Terlawan
MP	1,00	1,00
KS	1,30	1,30
SM	0,15	0,40

(Sumber : PKJI 2023 hal.114)

3. Data Geometrik : Dalam merancang geometrik simpang, terdapat beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan :
 - a) Klasifikasi Jalan:

Jalan utama atau jalan mayor merupakan jalan yang paling krusial dalam suatu persimpangan. Pada simpang tiga, jalan yang terus menerus akan ditetapkan sebagai jalan mayor dan diberi notasi B atau D. Sementara itu, pendekat jalan minor akan diberi notasi A dan C, dengan urutan penomoran dimulai dari arah utara dan berputar searah jarum jam.

b) **Data Geometrik untuk Desain Simpang:**

Untuk desain simpang baru, data geometrik yang diperlukan adalah data awal yang menggambarkan bentuk yang ingin dicapai. Sedangkan untuk peningkatan simpang yang sudah ada atau evaluasi kinerja lalu lintas pada simpang yang telah beroperasi, data geometrik yang digunakan adalah data eksisting.

2.5 Penentuan Waktu Isyarat

2.5.1 Tipe Pendekat

Pada pendekat yang memiliki arus lalu lintas berangkat pada fase yang berbeda, analisis kapasitas untuk setiap fase pendekat harus dilakukan secara terpisah. Contohnya, analisis ini perlu dibedakan antara arus lurus dan belok kanan yang memiliki lajur terpisah. Hal ini juga berlaku untuk pendekat dengan tipe yang berbeda, baik itu pendekat terlindung maupun terlawan. Setiap analisis harus disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku untuk masing-masing tipe pendekat tersebut. Gambar 5-4 memberikan ilustrasi mengenai penentuan tipe pendekat, apakah termasuk dalam kategori terlindung (P) atau terlawan (O).

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

Gambar 2. 2 Penentuan Tipe Pendekat

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 hal. 106)

2.5.2 Penentuan Lebar Pendekat Efektif (LE)

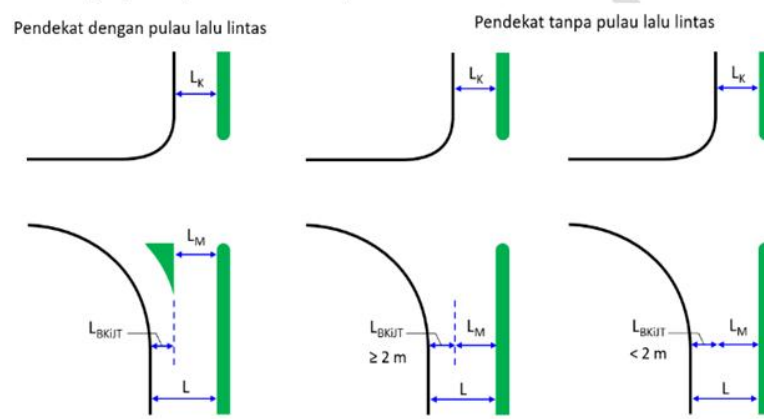
Penentuan lebar pendekat efektif (LE) didasarkan pada beberapa parameter, yaitu:

1. Lebar simpang pendekat awal (L),
2. Lebar masuk (LM),
3. Lebar keluar (LK).

Dalam menentukan lebar masuk (LM), terdapat beberapa kondisi yang perlu diperhatikan:

- a) Pada pendekat yang memiliki pulau lalu lintas, arus belok kiri memiliki lajur tersendiri. Dalam hal ini, lebar masuk (LM) diukur dari tepi pulau lalu lintas hingga median, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 (kiri).

- b) Untuk pendekat tanpa pulau lalu lintas, arus belok kiri dapat membentuk lajur tersendiri atau bergabung dengan arus lurus, tergantung pada ketersediaan ruang untuk kendaraan yang belok kiri. Jika lebar belok kiri jalan terus (LBK_{ijT}) lebih dari 2 meter, maka arus belok kiri dapat membentuk antrian sendiri sehingga LM dapat dihitung dengan rumus $LM = L - LBK_{ijT}$ (lihat Gambar 2.3 tengah). Namun, jika LBK_{ijT} kurang dari 2 meter, arus belok kiri akan bergabung dengan arus lalu lintas yang lurus



Gambar 2. 3 Lebar Pendekat Dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 hal, 107)

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

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

Langkah 1: Keluarkan arus B_{KijT} (q_{BKijT}) dari perhitungan dan selanjutnya arus yang dihitung adalah $q = q_{LRS} + q_{BKa}$

Tentukan lebar efektif sebagai berikut:

$$L_E = \min \left\{ \begin{array}{l} L - LBK_{ijT} \\ L_M \end{array} \right. \dots\dots\dots (2.2)$$

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

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

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

$$L_E = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} L \\ L_M + L_{BKijT} \\ L \times (1 + R_{BKijT}) - L_{BKijT} \end{array} \right. \dots\dots\dots (2.3)$$

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

2.5.3 Penentuan Arus Jenuh

Arus jenuh (J , SMP/jam) adalah hasil perkalian antara arus jenuh dasar (J_0) dengan faktor faktor koreksi untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. J_0 adalah J pada kondisi arus lalu lintas dan geometri yang ideal, sehingga faktor-faktor koreksi untuk J_0 adalah satu. J dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini :

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKi} \times F_{BKa} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

- F_{HS} adalah faktor koreksi J_0 akibat hambatan samping lingkungan jalan.
- F_{UK} adalah faktor koreksi J_0 terkait ukuran kota.
- F_G adalah faktor koreksi J_0 akibat kelandaian memanjang pendekat
- F_P adalah faktor koreksi J_0 akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama. F_P dapat dihitung dari persamaan (Gambar 2.3) yang mencakup pengaruh panjang waktu hijau.

$$J_0 = 600 \times LE$$

$$F_p = \frac{\left[\frac{L_p}{3} - \frac{(L-2) \times \left(\frac{L_p}{3} - w_H \right)}{L} \right]}{w_H} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

- **L_p** adalah jarak antara garis henti ke kendaraan yang parkir pertama pada lajur belok kiri atau Panjang dari lajur belok kiri yang pendek, dalam meter.
- **L** adalah lebar pendekat, dalam meter.
- **w_H** adalah waktu hijau pada pendekat yang ditinjau (nilai normalnya 27 detik).
- **F_{BK_i}** adalah faktor koreksi J₀ akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri (dengan ketentuan tertentu).
- **F_{BK_a}** adalah faktor koreksi J₀ akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan (dengan ketentuan tertentu).

2.5.4 Faktor Penyesuaian Akibat Hambatan Samping

Pengkategorian hambatan samping ditetapkan menjadi 3 (tiga) yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Masing-masing menunjukkan pengaruh aktivitas samping jalan di daerah simpang terhadap arus lalu lintas yang berangkat dari pendekat, misalnya pejalan kaki berjalan atau menyeberangi jalur, angkutan kota dan bus berhenti untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, kendaraan masuk dan keluar halaman dan tempat parkir di luar jalur. Ketiga kategori tersebut ditetapkan sebagaimana diuraikan dalam Tabel 2.4. Nilai FHS dapat dilihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2. 4 Kriteria Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping	Kriteria
Tinggi	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang terganggu dan berkurang akibat aktivitas samping jalan di sepanjang pendekat. Contoh,

	adanya aktivitas angkutan umum seperti menaik-turunkan penumpang atau mengetem, pejalan kaki dan/atau pedagang kaki lima di sepanjang atau melintas pendekat, kendaraan keluar/masuk samping pendekat.
Sedang	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang sedikit terganggu dan sedikit berkurang akibat aktivitas samping jalan disepanjang pendekat.
Rendah	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang tidak terganggu dan tidak berkurang oleh hambatan samping.

(Sumber : PKJI 2023 hal. 135)

Tabel 2. 5 Nilai Faktor Hambatan Samping

Tabel 12-3 Faktor koreksi untuk tipe lingkungan, hambatan samping, dan kendaraan tak bermotor (F_{HS})

Tipe Lingkungan	Hambatan samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (KOM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (KIM)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas (AT)	Tinggi/ Sedang/ Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

(Sumber : PKJI 2023 hal. 135)

2.5.5 Faktor Koreksi Ukuran Kota

Faktor koreksi ukuran kota (FUK) adalah elemen penting dalam analisis kapasitas lalu lintas, yang berhubungan langsung dengan jumlah penduduk di suatu kota. FUK digunakan untuk menyesuaikan kapasitas dasar jalan berdasarkan karakteristik demografis kota tersebut.

Tipe lingkungan jalan	Hambatan samping	F_{HS} untuk nilai R_{KTB}					
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial	Tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,70
	Rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71
Permukiman	Tinggi	0,96	0,91	0,86	0,82	0,77	0,72
	Sedang	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73
	Rendah	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74
Akses Terbatas	Tinggi/Sedang/Rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

Semakin besar kota semakin agresif pengemudi menjalankan mobilnya sehingga dianggap menaikkan kapasitas. FUK dibedakan berdasarkan besarnya populasi penduduk. Nilai FUK dapat dilihat dalam Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Faktor Koreksi Ukuran Kota (Fuk)

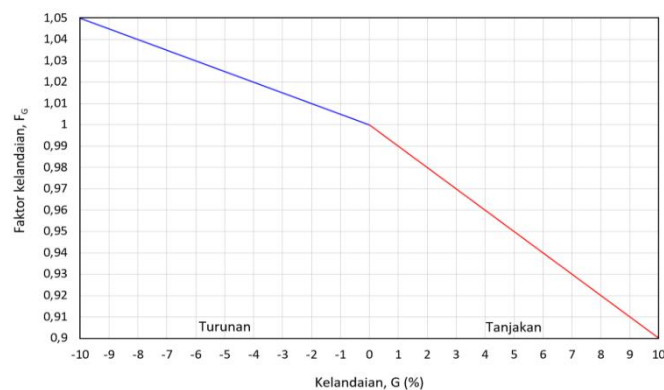
Ukuran Kota	Populasi penduduk, Juta Jiwa	F _{UK}
Sangat kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat Besar	> 3,0	1,05

(Sumber : PKJI 2023 hal. 134)

2.5.6 Faktor Penyesuaian Akibat Kelandaian

Faktor penyesuaian yang disebabkan oleh kelandaian jalur pendekat (FG) merupakan salah satu komponen krusial dalam analisis kapasitas lalu lintas, terutama pada simpang bersinyal. Faktor ini berfungsi untuk menyesuaikan arus

jenuh dasar (S_0) sesuai dengan kondisi kelandaian jalur pendekat yang mempengaruhi perilaku kendaraan saat melintas. Penentuan nilai FG dilakukan melalui grafik atau tabel yang menunjukkan hubungan antara kelandaian jalan dan kapasitas arus jenuh. Umumnya, grafik tersebut menggambarkan bagaimana kapasitas jalan dapat berkurang atau meningkat seiring dengan perubahan kelandaian. Dalam hal ini, semakin curam kelandaian yang ada, semakin besar



kemungkinan terjadinya penurunan kapasitas arus jenuh.

Gambar 2. 4 Faktor Koreksi untuk Kelandaian (F_G)

(Sumber : PKJI 2023 Hal.265)

2.5.7 Faktor Penyesuaian Akibat Lalu Lintas Belok Kanan (FBKa) dan Belok Kiri (FBKi)

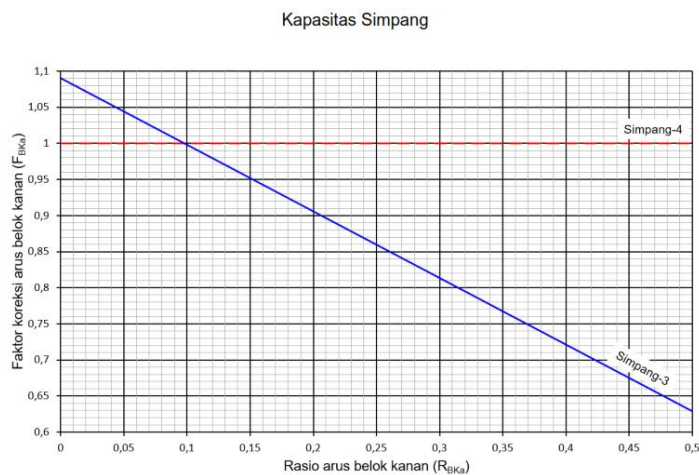
- Faktor koreksi belok kanan (FBKa) :

Adalah parameter penting dalam analisis lalu lintas, khususnya untuk pendekat tipe P. FbKa digunakan untuk menyesuaikan kapasitas arus lalu lintas yang berbelok kanan di persimpangan, dengan mempertimbangkan proporsi kendaraan yang melakukan gerakan tersebut.

Faktor koreksi belok kanan (FBKa) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

- Simpang 4 : $FBKa = 1,0$ (2.7)

- Simpang 3 : $FBKa = 1,09 - 0,922 R_{BKa}$ (2.8)



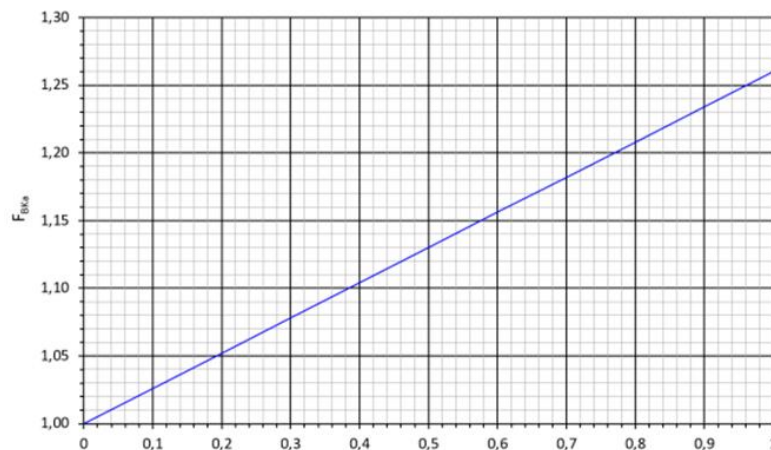
Gambar 2. 5 Faktor koreksi untuk belok kanan (FBKa), pada pendekat tipe P dengan jalan dua arah, dan LE ditentukan oleh LM

(Sumber : PKJI 2023 (hal. 266))

- Faktor koreksi akibat arus lalu lintas belok kiri (FBKi) :

FBKi berfungsi sebagai faktor koreksi untuk kapasitas dasar yang berkaitan dengan rasio kendaraan yang berbelok ke kiri. Perhitungan FBKi dilakukan dengan rumus berikut: $FBKi = 0,84 + 1,61 RBKi$

Di mana RBKi adalah rasio kendaraan yang berbelok ke kiri. Seperti halnya FBKa, FBKi juga memainkan peran penting dalam menentukan kapasitas simpang, terutama dalam kondisi lalu lintas yang padat.



Gambar 2. 6 Faktor Koreksi untuk belok kiri (FBKi) untuk pendekat tipe P tanpa BKiJT, dan LE ditentukan oleh LM

(Sumber : PKJI 2023 hal. 266)

2.5.8 Rasio Arus atau Rasio Arus Jenuh

Dalam menganalisis rasio arus terhadap arus jenuh, Rq/J , perlu diperhatikan bahwa:

- Jika arus BKiJT harus dipisahkan dari analisis, maka hanya arus lurus dan belok kanan saja yang dihitung sebagai nilai q ;
- Jika $LE = LK$, maka hanya arus lurus saja yang masuk dalam nilai q ; dan
- Jika pendekat mempunyai 2 (dua) fase, yaitu fase kesatu untuk arus terlawan (O) dan fase kedua untuk arus terlindung (P), maka arus gabungan dihitung dengan pembobotan seperti proses perhitungan arus jenuh. Rq/J dapat dihitung menggunakan Persamaan berikut ini:

$$R_{q/J} = \frac{q}{J} \dots\dots\dots (2.9)$$

Tetapkan arus lalu lintas masing-masing pendekat (q) berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan. Hitung rasio arus (q) terhadap arus jenuh (Rq/J) untuk masing masing pendekat menggunakan persamaan 5-8.

Tandai rasio arus tertinggi dengan tanda kritis (Rq/J kritis) dari masing-masing fase. Rumus Menghitung Rasio Arus Simpang APILL (R_{AS}) sebagai jumlah dari nilai-nilai R_{Q/J} kritis.

$$R_{AS} = \sum_i (R_{q/J \text{ kritis}})_i \dots\dots\dots (2.10)$$

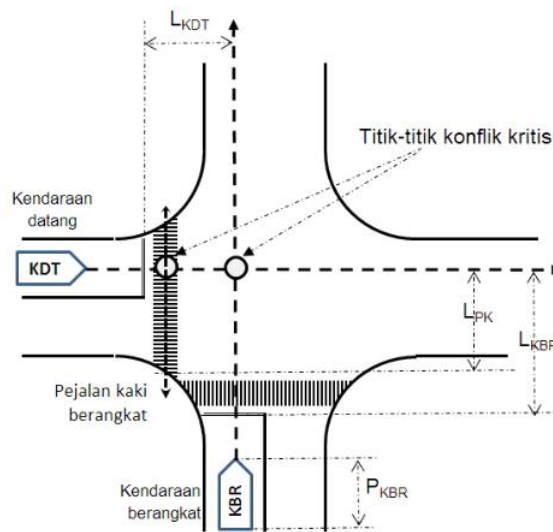
Rumus menghitung rasio fase (R_F) masing-masing fase sebagai rasio antara R_{q/J} Kritis dan R_{AS}

$$R_F = \frac{R_{q/J \text{ kritis}}}{R_{AS}} \dots\dots\dots (2.11)$$

2.5.9 Waktu Merah Semua dan Waktu Hijau Hilang Total

Waktu Merah Semua (WMS) diperlukan untuk mengosongkan area konflik di simpang Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) pada akhir setiap fase. Waktu ini memberikan kesempatan bagi kendaraan terakhir (KBR) untuk melewati garis henti pada akhir isyarat kuning hingga meninggalkan titik konflik. Jarak yang ditempuh adalah penjumlahan dari panjang lintasan keberangkatan (LKBR) dan panjang kendaraan berangkat (PKBR) sebelum kendaraan pertama yang datang dari arah lain (KDT) tiba di fase berikutnya, yang melewati garis henti pada awal isyarat hijau hingga ke titik konflik yang sama dengan jarak lintasan LKDT. Dengan demikian, WMS merupakan fungsi dari kecepatan dan jarak kendaraan yang berangkat serta yang datang dari garis henti masing-masing arah hingga mencapai titik konflik, ditambah panjang kendaraan berangkat (PKBR).

Apabila waktu lintasan pejalan kaki (LPK) lebih lama dibandingkan dengan LKBR, maka LPK akan menjadi penentu panjang lintasan berangkat. Titik konflik kritis dan jarak untuk keberangkatan serta kedatangan ditentukan berdasarkan perhitungan yang menghasilkan nilai wMS terbesar. Oleh karena itu, wMS untuk setiap fase dipilih berdasarkan dua hitungan waktu lintasan, yaitu untuk kendaraan berangkat dan pejalan kaki.



Gambar 2. 7 Titik konflik kritis dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan

(Sumber : PKJI 2023 hal. 111)

Titik konflik kritis pada setiap fase (i) adalah titik yang menghasilkan nilai wMS tertinggi. Untuk menentukan wMS per fase, dipilih nilai terbesar dari dua perhitungan waktu lintasan, yaitu untuk kendaraan yang berangkat dan pejalan kaki. Penghitungan wMS dilakukan dengan menggunakan Persamaan Berikut ini :

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

Keterangan :

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

Pada Gambar 2.8 menunjukkan situasi yang melibatkan titik-titik konflik kritis, yang ditandai untuk kendaraan dan pejalan kaki yang melintasi jalan. Nilai vKBR, vKDT, dan PKBR ditentukan oleh kondisi spesifik di lokasi tersebut. Apabila nilai baku tidak tersedia, nilai-nilai berikut dapat digunakan sebagai pilihan alternatif.

vKDT = 10 m/det (kendaraan bermotor)

vKBR = 10 m/det (kendaraan bermotor)

3 m/det (kendaraan tidak bermotor misalnya sepeda)

1,2 m/det (pejalan kaki)

PKBR = 5 m (MP atau KS)

2 m (SM atau KTB)

Jika periode wMS untuk setiap akhir fase telah ditentukan, maka total waktu hijau hilang (wHH) pada simpang APILL untuk setiap siklus dapat dihitung dengan menjumlahkan waktu-waktu antar hijau menggunakan persamaan berikut ini :

$$W_{HH} = \sum_i (W_{MS} + W_K)_i \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

- W_{MS} : adalah waktu merah semua, dalam detik.
- W_K : adalah waktu kuning, dalam detik.

Durasi waktu kuning pada APILL di kota-kota Indonesia umumnya ditetapkan selama 3,0 detik. Namun, untuk simpang APILL yang memiliki area geometri yang luas dan tidak ideal, sebaiknya dilakukan perhitungan lebih lanjut.

2.5.10 Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (WH)

Waktu isyarat terdiri dari waktu siklus (s) dan waktu hijau (WH). Langkah pertama adalah menentukan waktu siklus untuk sistem pengendalian waktu tetap, yang dapat dilakukan dengan menggunakan rumus Webster (1966). Rumus ini dirancang untuk meminimalkan total tundaan. Nilai s ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

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

Keterangan :

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

Waktu siklus yang terlalu panjang dapat menyebabkan peningkatan tundaan rata-rata. Waktu siklus yang besar biasanya terjadi ketika nilai $\sum(Rq/J \text{ kritis})$ mendekati satu, atau bahkan melebihi satu. Dalam kondisi tersebut, simpang APILL akan mengalami "over saturation," dan rumus Webster akan menghasilkan nilai s yang tidak realistis, baik karena terlalu besar maupun negatif.

WH ditetapkan menggunakan persamaan :

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_q / J_{kritis}}{\sum_j (R_q / J_{kritis})^i} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

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

Kinerja suatu simpang APILL umumnya lebih sensitif terhadap kesalahan dalam pembagian waktu hijau dibandingkan dengan durasi waktu siklus yang terlalu panjang. Penyimpangan kecil dari rasio hijau (WHi/s) yang ditentukan dari persamaan di atas dapat menyebabkan peningkatan tundaan rata-rata di simpang APILL tersebut.

2.5.11 Kapasitas Simpang

Kapasitas simpang merujuk pada kemampuan simpang untuk menampung arus lalu lintas maksimum dalam satuan waktu tertentu, yang biasanya dinyatakan dalam satuan smp/jam. Kapasitas ini merupakan indikator penting dalam perencanaan dan pengelolaan lalu lintas. Untuk menghitung kapasitas pada suatu simpang, dapat digunakan persamaan berikut :

$$C = J \times \frac{W_H}{s} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

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

2.6 Kinerja Lalu Lintas

2.6.1 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai perbandingan antara arus lalu lintas dan kapasitas jalan. Konsep ini berfungsi sebagai indikator utama dalam menilai kinerja segmen jalan dan simpang. Nilai derajat kejenuhan memberikan gambaran apakah suatu segmen jalan mengalami masalah kapasitas atau tidak. Selain itu, derajat kejenuhan juga mencerminkan kenyamanan pengemudi saat berkendara. Dapat dikatakan bahwa kenyamanan pengemudi berbanding terbalik dengan rasio volume lalu lintas (q) terhadap kapasitas (C) pada jalur yang dilalui.

Derajat kejenuhan (DJ) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$DJ = \frac{Q}{C} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

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

2.6.2 Panjang Antrian

Jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) pada awal fase lampu hijau (N_q) dihitung dengan menjumlahkan jumlah kendaraan yang terhenti (SMP) dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) dan jumlah kendaraan (SMP) yang datang serta terhenti dalam antrian selama fase merah (N_{q2}). Perhitungan ini dapat dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \dots\dots\dots (2.18)$$

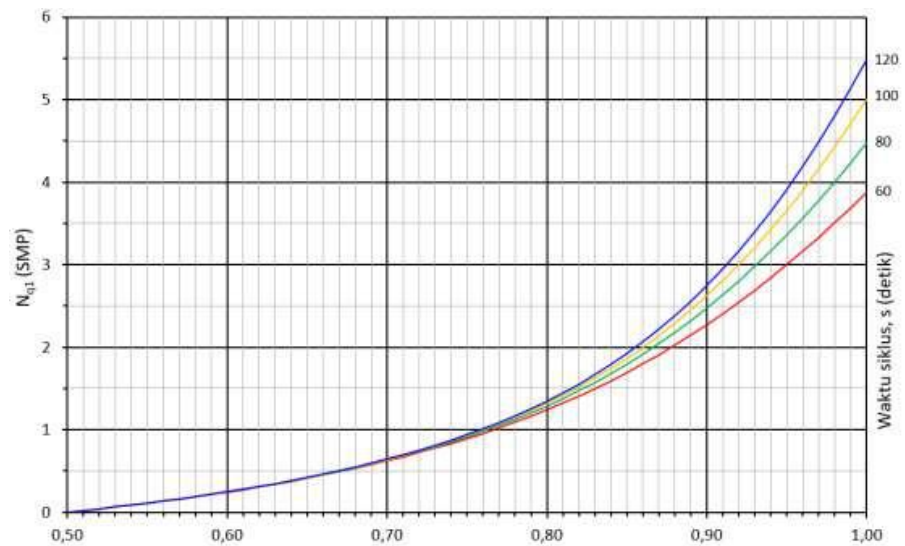
Jika $DJ \leq 0,5$ maka :

$$N_{q1} = 0$$

$$N_{q1} = 0,25 \times s \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{s}} \right\} \dots\dots\dots (2.19)$$

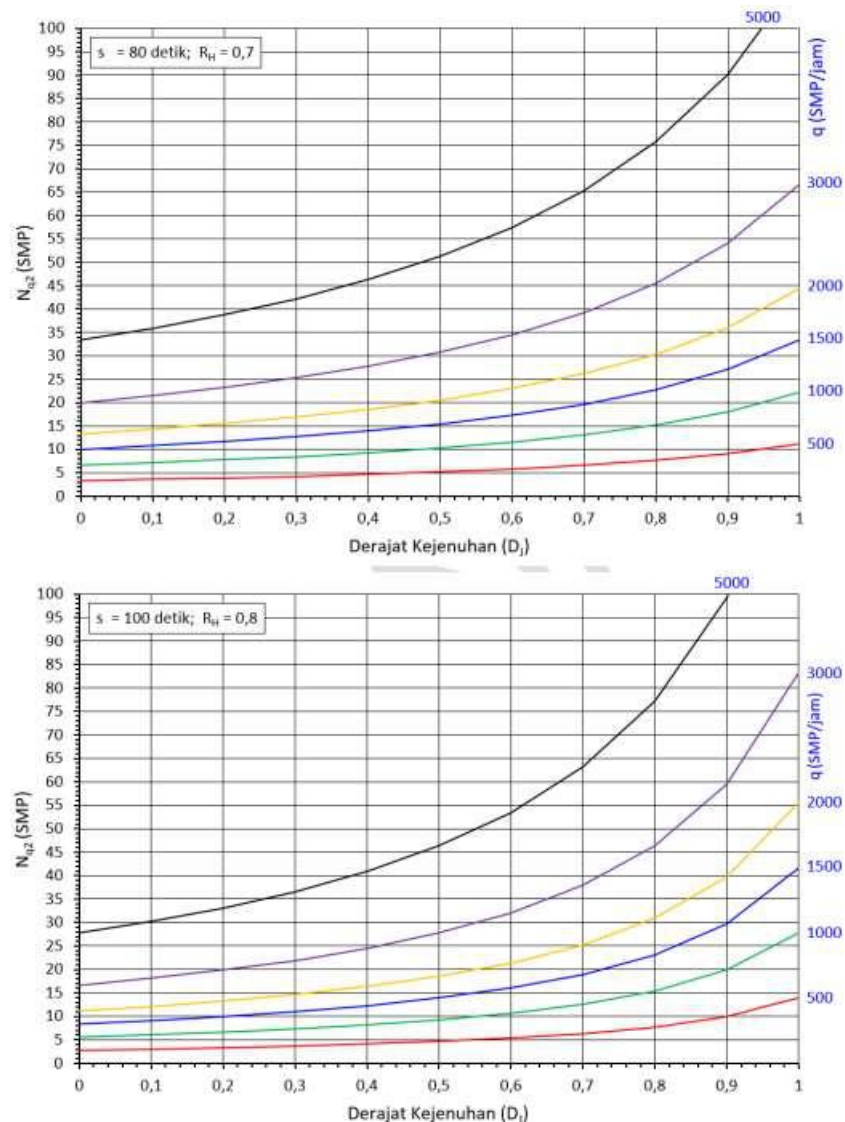
$$N_{q1} = 0,25 \times s \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{s}} \right\} \dots\dots\dots (2.20)$$

Untuk mencari Nilai N_{q1} juga dapat diperoleh dengan menggunakan diagram seperti pada Gambar 2.9 dan nilai N_{q2} menggunakan diagram seperti yang terdapat pada Gambar 2.10



Gambar 2. 8 Jumlah Kendaraan Tersisa (SMP) Dari Sisa Fase Sebelumnya

(Sumber : PKJI 2023 hal. 267)



Gambar 2. 9 Jumlah Kendaraan Yang Datang Kemudian Antri Pada Fase Merah

(Sumber : PKJI 2023 hal. 268)

Panjang Antrian (PA) diperoleh dari perkalian N_q (SMP) dengan luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (SMP) yaitu 20 m dibagi lebar masuk (m), sebagaimana persamaan berikut :

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

- **Nq₁** : Jumlah kendaraan terhenti (SMP) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya.
- **Nq₂** : Jumlah kendaraan (SMP) yang datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah .
- **DJ** : Derajat kejenuhan
- **C**: Kapasitas, SMP/jam.
- **q** : Volume lalu lintas yang masuk di luar, smp/jam.
- **RH** : Rasio hijau, detik
- Rasio Kendaraan Henti :

Rasio Kendaraan Henti (RKH) adalah perbandingan antara jumlah kendaraan yang harus berhenti akibat sinyal merah sebelum melewati suatu simpang dengan sistem APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas) terhadap total arus lalu lintas pada fase yang sama di pendekat tersebut. RKH dihitung menggunakan rumus berikut ini :

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

- **Nq** : jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) pada awal isyarat hijau.
- **S** : waktu siklus, dalam detik.
- **q**: arus lalu lintas dari pendekat yang ditinjau, dalam SMP/jam.

Jumlah Rata-rata Kendaraan Berhenti (NKH) merupakan jumlah rata-rata kendaraan yang berhenti (termasuk berhenti berulang dalam antrian) sebelum melewati suatu simpang

dengan sistem APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas). NKH dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \dots\dots\dots (2.23)$$

Rasio rata-rata kendaraan berhenti untuk seluruh simpang atau angka henti seluruh simpang (RKH total), dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R_{KH} = \frac{(\sum N_{KH})}{q_{Total}} \dots\dots\dots (2.24)$$

2.6.3 Tundaan

Dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, tundaan didefinisikan sebagai waktu tambahan yang diperlukan oleh pengemudi untuk melewati suatu simpang yang dilengkapi dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) jika dibandingkan dengan waktu tempuh pada lintasan yang tidak memiliki simpang tersebut. Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat i dihitung menggunakan rumus berikut ini :

$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi} \dots\dots\dots (2.25)$$

- Tundaan Geometri (TG)

Waktu tempuh tambahan yang diperlukan oleh pengemudi untuk melewati suatu persimpangan, jika dibandingkan dengan lintasan yang tidak memiliki persimpangan, disebabkan oleh perlambatan dan/atau percepatan arus lalu lintas yang berbelok di persimpangan tersebut. Tundaan Geometrik rata-rata pada suatu pendekat i dapat dihitung menggunakan rumus Berikut :

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

PB : porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat

Nilai normal TG untuk kendaraan belok tidak berhenti adalah 6 detik dan untuk yang berhenti adalah 4 detik. Nilai normal ini didasarkan pada anggapan, bahwa :

1. kecepatan = 40 km/jam;
2. kecepatan belok tidak berhenti = 10 km/jam;
3. percepatan dan perlambatan = 1,5 m/det
4. kendaraan berhenti melambat untuk meminimumkan tundaan, sehingga menimbulkan hanya tundaan percepatan.

- Tundaan Lalu Lintas (TLL) :

Waktu tempuh tambahan yang diperlukan oleh pengemudi untuk melewati suatu persimpangan, jika dibandingkan dengan lintasan yang tidak memiliki persimpangan, disebabkan oleh interaksi antara arus lalu lintas yang bergerak berlawanan di persimpangan tersebut. Tundaan lalu lintas rata-rata pada suatu pendekat I dapat dihitung menggunakan rumus Berikut:

$$T_{LL} = S \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_f)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{c} \dots\dots\dots(2.27)$$

Tundaan rata-rata untuk seluruh Simpang APILL (TI) dengan membagi jumlah nilai tundaan dengan arus total (qTotal) dalam SMP/jam seperti persamaan berikut ini :

$$T_I = \frac{\sum(q \times T)}{q_{Total}} \dots\dots\dots(2.28)$$

Tundaan rata-rata dapat berfungsi sebagai indikator untuk menilai tingkat pelayanan dari setiap pendekatan, serta untuk keseluruhan simpang APILL.

2.7 Tingkat Pelayanan

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997) tingkat pelayanan jalan adalah "gambaran kondisi operasional arus lalu lintas dan persepsi pengendara" yang mencakup kecepatan, waktu tempuh, kenyamanan, kebebasan bergerak, serta keamanan dan keselamatan. Tingkat pelayanan dikategorikan dari A (terbaik) hingga F (terburuk) berdasarkan kondisi arus lalu lintas dan kepadatan kendaraan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, penetapan tingkat pelayanan bertujuan untuk menentukan kualitas layanan pada ruas jalan dan/atau persimpangan. Proses ini harus memenuhi kriteria tertentu yang ditetapkan dalam regulasi tersebut. Penetapan ini dilakukan oleh pihak-pihak yang berwenang, seperti menteri yang bertanggung jawab di bidang sarana dan prasarana lalu lintas serta angkutan jalan, gubernur, bupati, atau walikota. Tingkat pelayanan harus memenuhi syarat berikut :

1. rasio antara volume dan kapasitas jalan;
2. kecepatan yang merupakan kecepatan batas atas dan kecepatan batas bawah yang ditetapkan berdasarkan kondisi daerah
3. waktu perjalanan;
4. kebebasan bergerak;
5. keamanan;
6. keselamatan;
7. ketertiban;
8. kelancaran;
9. penilaian pengemudi terhadap kondisi arus lalu lintas

Tingkat pelayanan, meliputi :

A. Tingkat Pelayanan Pada Simpang

Tingkat pelayanan pada simpang jalan diklasifikasikan atas :

A. Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan

Tingkat pelayanan pada persimpangan diklasifikasikan atas :

Tabel 2. 7 Kriteria Tingkat Pelayanan Simpang

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/kend)
A	< 5
B	5-15
C	15-25
D	25-40
E	40-60
F	> 60

(Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015)

B. Penetapan Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan

- Tingkat pelayanan yang diinginkan pada Simpang jalan pada sistem jaringan :

jalan primer sesuai fungsinya, meliputi:

- 1) jalan arteri primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B;
- 2) jalan kolektor primer, tingkat pelayanan sekurang- kurangnya B
- 3) jalan lokal primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C;
- 4) jalan tol,tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B

- Tingkat pelayanan yang diinginkan pada simpang jalan pada system jaringan :

jalan sekunder sesuai fungsinya meliputi:

- 1) jalan arteri sekunder, tingkat pelayanan sekurang- kurangnya C;
- 2) jalan kolektor sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C;
- 3) jalan lokal sekunder, tingkat pelayanan sekurang- kurangnya D;
- 4) jalan lingkungan, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya D.

2.8 Kualitas Udara

Baku mutu udara dapat didefinisikan sebagai ambang batas maksimum konsentrasi zat pencemar yang diperbolehkan di udara. Parameter-parameter ini penting untuk menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan, serta untuk mengendalikan pencemaran udara yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti industri dan transportasi. Penetapan baku mutu bertujuan untuk melindungi kesehatan publik dari efek buruk polusi udara, termasuk masalah pernapasan dan penyakit kardiovaskular

Udara dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu udara emisi dan udara ambient. Udara emisi adalah udara yang dihasilkan dari sumber emisi, seperti knalpot kendaraan bermotor dan cerobong asap industri. Sementara itu, udara ambient merujuk pada udara bebas yang ada di permukaan bumi dan dihirup oleh makhluk hidup setiap hari (PP No. 22 Tahun 2021).

Untuk memastikan kualitas udara ambien yang baik, pengendalian pencemaran udara perlu dilakukan. Salah satu cara untuk mengendalikan pencemaran udara adalah dengan memantau atau mengukur kualitas udara, baik itu udara ambien maupun udara emisi. Pengukuran kualitas udara ambien dilakukan di area seperti perumahan, kawasan industri, dan daerah dengan lalu lintas padat, di mana aktivitas manusia cenderung tinggi. Selain itu, pengukuran juga dilakukan terhadap zat-zat yang berpotensi menjadi polutan, seperti SO_2 , NO_2 , CO, dan HC.

Udara ambient didefinisikan sebagai udara bebas yang terdapat di permukaan bumi pada lapisan troposfer. Udara ini sangat penting bagi kehidupan, karena berperan dalam mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup lainnya, serta unsur-unsur lingkungan hidup. Dalam kondisi normal, komposisi udara ambien terdiri dari nitrogen (sekitar 78%), oksigen (sekitar 20%), argon (sekitar 0,93%), dan

karbon dioksida (sekitar 0,03%). Pemerintah Indonesia menetapkan baku mutu udara ambien sebagai batas maksimum kualitas udara yang diizinkan di seluruh wilayah negara, dengan tujuan untuk mencegah pencemaran udara dan menjaga kesehatan masyarakat serta lingkungan.

Baku mutu udara ambient diartikan sebagai ukuran batas atau konsentrasi zat, energi, dan/atau komponen yang ada, seharusnya ada, serta unsur pencemar yang dapat diterima keberadaannya dalam udara ambien. Apabila kualitas udara melebihi baku mutu yang ditetapkan, hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada lingkungan sekitar dan berpotensi mengganggu kesehatan Masyarakat (PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup).

2.8.1 Pencemaran Udara dan Dampaknya

Pencemaran udara merupakan masalah lingkungan yang signifikan dan semakin mendesak untuk ditangani, terutama di daerah perkotaan. Pencemaran ini terjadi ketika zat-zat berbahaya, baik yang bersifat fisik, kimia, maupun biologis, masuk ke dalam atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan. Menurut Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga mutu udara menurun hingga tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Secara umum pencemaran udara ada 2 macam, yaitu:

a. Karena Faktor Internal (secara alamiah) :

1. Debu yang beterbangan akibat tiupan angin.
2. Abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan gunung berapi berikut gas-gas vulkanik.,

3. Proses pembusukan sampah organik,

b. Karena Faktor Eksternal (karena perbuatan manusia) :

1. Hasil pembakaran bahan bakar fosil
2. Debu/ serbuk dari kegiatan industri
3. Pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan

Pencemaran udara merupakan masalah serius yang disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia, termasuk transportasi, industri, dan pembangkit listrik. Kegiatan ini menghasilkan gas berbahaya dan limbah yang mencemari atmosfer. Dampak dari pencemaran udara tidak hanya dirasakan oleh manusia, tetapi juga oleh hewan dan tumbuhan. Misalnya, kebakaran hutan dan letusan gunung berapi dapat mengakibatkan hilangnya habitat bagi banyak spesies, bahkan menyebabkan kepunahan.

Gas-gas seperti oksida belerang (SO_2 dan SO_3) dapat bereaksi dengan uap air di atmosfer, menghasilkan hujan asam yang merusak infrastruktur dan lingkungan. Hujan asam ini dapat menghancurkan bangunan serta mengganggu pertumbuhan tanaman. Selain itu, karbon monoksida (CO) yang terhirup dapat berinteraksi dengan hemoglobin dalam darah, menyebabkan keracunan yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

Pencemaran udara juga berkontribusi pada masalah lingkungan yang lebih besar seperti hujan asam, penipisan lapisan ozon, dan pemanasan global. Oleh karena itu, penting untuk memahami sumber-sumber pencemaran ini dan dampaknya agar kita dapat mengambil langkah-langkah untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan terhadap kesehatan dan lingkungan.

2.8.2 Emisi

Kemacetan yang terjadi di simpang Soekarno Hatta dapat mengakibatkan penurunan kualitas udara. Hal ini berdampak pada komponen lingkungan yang terdiri dari empat elemen, yaitu:

a. Komponen Geo-Fisik-Kimia

Asap yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor mengandung zat berbahaya seperti NO_2 , SO_2 , dan CO. Ketika zat-zat berbahaya ini bereaksi dengan uap air dan air hujan, mereka dapat menyebabkan terjadinya hujan asam.

b. Komponen Biologi

Penurunan kualitas udara yang terjadi dapat mengganggu ekosistem tanaman di sekitar simpang Tiga Soekarno-Hatta, yang berpotensi merusak pertumbuhan dan kesehatan tanaman tersebut.

c. Komponen Kesehatan Masyarakat

Peningkatan pencemaran udara akibat polutan dari kendaraan bermotor dapat berdampak negatif pada kesehatan masyarakat yang menggunakan jalan di simpang tiga Soekarno-Hatta, meningkatkan risiko gangguan kesehatan.

d. Komponen Sosio-Ekonomi-Budaya

Dampak pada kesehatan masyarakat juga mempengaruhi kegiatan ekonomi di sekitar simpang Tiga Soekarno-Hatta, karena masyarakat cenderung enggan untuk berjualan di area tersebut akibat kondisi lingkungan yang tidak sehat.

Polusi udara dapat diartikan sebagai campuran gas yang terdiri dari asap kotor dan bau tidak sedap, di mana sebagian besar berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor (Ruktiningsih, 2014).

Menurut Rosyidah, (2016), polusi udara atau pencemaran udara adalah proses masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain ke dalam atmosfer, serta perubahan tatanan udara

akibat aktivitas manusia dan proses alam, yang menyebabkan penurunan kualitas udara hingga mencapai tingkat tertentu.

Menurut PP No. 22 Tahun 2021 jenis emisi dan pencemar udara dapat berupa gas atau partikulat, seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), dan hidrokarbon (HC).

a. CO (Carbon Monoksida)

Ciri-ciri gas karbon monoksida (CO) adalah tidak berwarna dan tidak berbau. Gas ini merupakan produk sampingan dari pembakaran yang tidak sempurna antara bahan bakar, terutama bensin, dan oksigen (O₂). Kendaraan bermotor menjadi penyumbang utama emisi CO. Secara alami, produksi CO mencapai 25 kali lebih banyak dibandingkan dengan sumber yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Gas CO sangat beracun karena dapat mengikat hemoglobin dalam darah, membentuk senyawa yang dikenal sebagai Karbonil Hemoglobin.

b. NO₂ (Nitrogen Dioksida)

Kadar nitrogen dioksida (NO₂) di udara yang melebihi Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, antara lain: terjadinya hujan asam, kesulitan bernapas bagi penderita asma, batuk pada anak-anak dan orang lanjut usia, penurunan visibilitas, serta berbagai gangguan pernapasan yang serius, bahkan dapat berujung pada kematian. Oleh karena itu, penting bagi masyarakat untuk mengetahui kadar NO₂ yang aman untuk kesehatan.

c. SO₂ (Sulfur Dioksida)

Gas sulfur dioksida (SO₂) memiliki karakteristik tidak berwarna dan berbau tajam. Ketika SO₂ bereaksi dengan uap air, ia dapat menyebabkan terjadinya hujan asam, yang berdampak negatif pada kesehatan sistem pernapasan manusia dan menurunkan fungsi paru-paru. Gejala yang muncul akibat paparan SO₂ meliputi batuk, sesak napas, dan asma. Paparan

SO₂ dalam dosis tinggi dapat mengiritasi mata, hidung, tenggorokan, dan sinus, serta menyebabkan edema paru, bahkan berpotensi mengakibatkan kematian. Iritasi pada selaput lendir saluran pernapasan dan mata dapat terjadi jika terpapar dengan konsentrasi tinggi secara terus-menerus.

2.8.3 Indeks Standar Pencemaran Udara

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah angka tanpa satuan yang digunakan untuk menggambarkan kualitas udara ambien di lokasi tertentu. Penilaian ini didasarkan pada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika, serta makhluk hidup lainnya. Informasi ISPU sangat penting, terutama di daerah yang rawan kebakaran hutan dan lahan, karena dapat berfungsi sebagai sistem peringatan dini bagi masyarakat setempat.

Tujuan utama dari penyusunan ISPU adalah untuk memberikan kemudahan dalam menyampaikan informasi mengenai kualitas udara ambien secara seragam kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu. Selain itu, ISPU juga berfungsi sebagai bahan pertimbangan dalam upaya pengendalian pencemaran udara oleh pemerintah pusat maupun daerah.

Pada tahun 2024, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mengeluarkan Peraturan Menteri nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara, yang menggantikan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 tahun 1997. Dalam peraturan baru ini, perhitungan ISPU dilakukan berdasarkan tujuh parameter: PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, O₃, dan HC. Penambahan dua parameter baru, yaitu HC dan PM_{2.5}, dilakukan karena tingginya risiko yang ditimbulkan oleh kedua zat tersebut terhadap kesehatan manusia.

Frekuensi penyampaian informasi ISPU juga meningkat; hasil perhitungan untuk parameter PM_{2.5} disampaikan setiap jam selama 24 jam, sedangkan untuk parameter lainnya dilaporkan minimal dua kali sehari pada pukul 09.00 dan 15.00. Dengan adanya ISPU, diharapkan masyarakat dapat

lebih memahami kondisi kualitas udara dan mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk melindungi kesehatan mereka.

Tabel 2. 8 Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU

ISPU	24 jam partikulat (PM ₁₀) µg/m ³	24 Jam partikulat (PM _{2.5}) µg/m ³	24 Jam sulfur dioksida (SO ₂) µg/m ³	24 Jam karbon monoksida (CO) µg/m ³	24 Jam ozon (O ₃) µg/m ³	24 jam nitrogen dioksida (NO ₂) µg/m ³	24 Jam hidrokarbon (HC) µg/m ³
0 - 50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51 - 100	150	55.4	180	8000	235	200	100
101 - 200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201 - 300	420	250,4	800	30000	800	2260	431
> 300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Keterangan:

- Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM_{2.5}) disampaikan tiap jam selama 24 jam.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM₁₀), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂) dan hidrokarbon (HC), diambil nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit disampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00

(Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 14 Tahun 2020)

Hubungan antara kinerja simpang dan tingkat emisi dapat dinilai menggunakan metode analisis regresi. Metode ini bertujuan untuk menunjukkan bagaimana kinerja simpang terkait dengan tingkat emisi. Hasil analisis ini dapat dihitung menggunakan Rumus Persamaan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), sebagai berikut :

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b \quad \dots\dots\dots (2.44)$$

Keterangan :

- I : ISPU terhitung
- Ia : ISPU batas atas
- Ib : ISPU batas bawah
- Xa : Konsentrasi ambien batas atas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Xb : Konsentrasi ambien batas bawah ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Xx : Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabel 2. 9 Kategori Angka Rentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Rentang	Kategori	Warna	Penjelasan
1-50	Baik	Hijau	Tingkat kualitas udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, tumbuhan.
51-100	Tidak Sehat	Biru	Tingkat kualitas udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.
101-200	Sedang	Kuning	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan.
201-300	Sangat	Merah	Tingkat kualitas udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
≥ 301	Tidak Sehat	Hitam	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.

(Sumber : Peraturan Menteri LHK No. 14 Tahun 2020, hal.14)

2.9 Model Hubungan Kinerja Simpang dengan Udara

1. Analisa Regresi

a. Regresi Linier

Terdapat berbagai jenis teknik analisis regresi, dan pemilihan metode yang tepat tergantung pada jumlah faktor yang terlibat. Faktor-faktor

tersebut mencakup garis regresi serta jumlah variabel independen yang digunakan. Berikut adalah beberapa jenis analisis regresi yang umum digunakan:

X = Variabel Tundaan

Y = Variabel Pencemaran udara

Analisis regresi merupakan metode yang sederhana untuk mengevaluasi hubungan fungsional antara berbagai variabel. Salah satu jenis analisis regresi yang digunakan adalah regresi linier. Regresi linier, atau linear regression, merupakan salah satu bentuk regresi yang paling mendasar dalam machine learning. Model regresi linier ini didasarkan pada korelasi linier antara variabel dependen (Y) dan variabel independen (X).

Berikut persamaan yang akan digunakan pada jenis regresi linier :

$$Y = a + bx \dots \dots \dots (2.45)$$

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

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

Regresi linier menjelaskan hubungan antara variabel dependen dan satu atau lebih variabel independen dengan menggabungkan keduanya dalam sebuah persamaan linier. Persamaan ini menggambarkan hubungan terbaik yang dapat menjelaskan pengaruh linier dalam data yang telah dikumpulkan. Bentuk paling dasar dari regresi ini dikenal sebagai regresi linier sederhana.

b. Regresi Non-linier

Model regresi non-linier mengaitkan variabel independen dan dependen melalui persamaan non-linier. Model ini diterapkan ketika tidak terdapat hubungan linier antara kedua variabel tersebut. Bentuk persamaan yang digunakan disesuaikan dengan jenis kurva yang paling sesuai dengan data yang ada. Tujuan dari model ini adalah untuk meminimalkan jumlah kuadrat, yaitu ukuran yang menunjukkan sejauh mana nilai observasi Y berbeda dari fungsi nonlinier yang digunakan untuk memprediksi nilai Y.

Regresi non-linier dihitung dengan cara:

- Menentukan selisih antara fungsi nonlinier yang diprediksi dan
- setiap titik data Y.
- Mengkuadratkan setiap selisih tersebut.
- Menjumlahkan semua nilai kuadrat tersebut.

Semakin kecil nilai jumlah kuadrat ini, semakin baik fungsi tersebut dalam menyesuaikan diri dengan data yang ada. Model regresi nonlinier memanfaatkan berbagai jenis fungsi, seperti fungsi logaritma, trigonometri, eksponensial, pangkat, kurva Lorenz, fungsi Gaussian, serta metode penyesuaian lainnya. Penggunaan fungsi-fungsi ini memungkinkan analisis yang lebih fleksibel dan akurat ketika hubungan antara variabel tidak dapat dijelaskan dengan model linier sederhana.

Perbedaan antara regresi linier dan nonlinier dapat dilihat pada tabel berikut. Tabel ini memberikan gambaran yang jelas mengenai karakteristik masing-masing model. Dengan memahami perbedaan ini, penulis dapat memilih model yang paling sesuai untuk menganalisis data yang dimiliki.

Tabel 2. 10 Perbedaan Regresi Linier dan Non-Linier

	Regresi Non-Linier	Regresi Linier
Hubungan Linear	Memungkinkan adanya kurva dan pola yang lebih kompleks	Mengasumsikan hubungan garis lurus antara variabel Independen dan variable dependen.
Bentuk Persamaan	Persamaan regresi nonlinier sangatbervariasi bentuknya, tergantungsepenuhnya pada kurva data	Persamaan regresi linier adalah persamaan yang berbentuk garis lurus.
Kompleksitas Model	Namun, model nonlinier mungkin memerlukan penyesuaian dan interpretasi yang lebih rumit.	Model ini mudah dipahami
Keterinterpretasian	Model non-linier dapat menghasilkan akurasi yang lebih baik, hal itu dapat terjadi dengan mengorbankan kemudahan pemahaman	Model linier umumnya memerlukan penjelasan karena kesederhanaannya.
Perhitungan	Regresi nonlinier sering kali menyarankan iterasi, sehingga meningkatkan daya yang dikonsumsi secara signifikan	Regresi linier umumnya cenderung menyelesaikan serangkaian persamaan linier dengan cara yang tidak memerlukan komputasi yang banyak.
Konvergensi	Regresi nonlinier tidak perlu dipastikan memiliki konvergensi; regresi nonlinier juga sangat bergantung pada nilai awal dan parameter lainnya.	Konvergensi dijamin dalam regresi linier
Fleksibilitas	Meskipun model nonlinier dapat disesuaikan, model tersebut dapat menangkap lebih banyak pola data	Dapat mengetahui hubungan linier.
Sensitivitas terhadap Outlier	regresi linear memiliki sensitivitas tinggi terhadap outlier	regresi nonlinier sangat bergantung pada spesifikasi model tertentu yang digunakan saat menangani outlier

2. Analisa Korelasi

Model tersebut bertujuan untuk menggambarkan bagaimana satu variabel dapat mempengaruhi variabel lainnya, dengan menggunakan persamaan matematis yang sesuai.

- Kuat Hubungan Variabel

Tabel 2. 11 Kuat Hubungan Variabel

No.	Nilai r	Interprestasi
1.	0,00 – 0,199	Sangat rendah
2.	0,20 – 0,399	Rendah
3.	0,40 – 0,599	Sedang
4.	0,60 – 0,799	Kuat
5.	0,80 – 1,00	Sangat kuat

- Model Korelasi

Digunakan untuk data interval & rasio distribusi data normal terdiri dari dua variable:

- 1 Variabel X (nilai tundaan)
- 1 Variabel Y (nilai emisi)

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \dots\dots\dots (2.46)$$

BAB III

METODOLOGI STUDI

3.1 Rancangan Studi

Tujuan dilaksanakannya studi ini adalah untuk mengetahui bagaimana langkah awal atau rangkaian prosedur ilmiah guna menghimpun informasi atau data terkait bagaimana kinerja simpang serta kualitas udara pada simpang tiga jalan Soekarno Hatta Kota Malang, guna menjadi acuan agar ditingkatkannya fasilitas yang sudah ada atau fasilitas yang belum sesuai standar yang tertuang dalam (Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor : PM 40, 2015).

3.2 Lokasi Studi



Gambar 3. 1 Peta Lokasi

Sumber : (earth.google.com)

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dimulai dengan mengumpulkan informasi yang diperlukan. Dalam studi ini, data yang digunakan berasal dari dua sumber, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung dan wawancara, yang memberikan informasi terkini dan relevan mengenai objek studi. Sementara itu, data sekunder diambil dari berbagai sumber seperti literatur, dokumen resmi, dan studi sebelumnya yang dapat mendukung analisis. Kombinasi kedua jenis data ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif dan mendalam mengenai topik yang diteliti, sehingga hasil studi dapat lebih akurat dan bermanfaat.

3.3.1 Data Primer

Data primer adalah informasi terbaru yang diperoleh melalui pengamatan langsung di lokasi studi. Jenis informasi primer yang diperlukan dalam studi ini mencakup:

- **Data Geometrik Jalan**
Pengumpulan data ini dilakukan dengan cara mengukur langsung di lokasi, termasuk lebar jalan pendekat, jumlah lajur, jarak antar persimpangan, jenis persimpangan, serta hambatan samping yang ada.
- **Data Volume Lalu Lintas**
Data ini dikumpulkan dengan menghitung volume arus lalu lintas kendaraan yang melintasi persimpangan tertentu.
- **Data Siklus**
Untuk data ini, pengumpulan dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat siklus sinyal pada setiap simpang jalan yang diteliti.
- **Survei Emisi Gas**
Pengukuran emisi gas dilakukan menggunakan alat bantu ukur kualitas udara pada waktu-waktu tertentu, terutama saat jam puncak lalu lintas.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder merujuk pada informasi yang telah ada sebelumnya, yang diperoleh dari hasil studi oleh lembaga atau individu lain. Dalam konteks studi ini, data sekunder yang digunakan mencakup:

- Data jumlah penduduk di Kota Malang, yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Malang.
- Data mengenai jumlah kendaraan di Kota Malang, yang diambil dari Dinas Perhubungan Kota Malang.

Pentingnya penggunaan data sekunder dalam studi ini tidak dapat diabaikan, karena data tersebut memberikan konteks dan latar belakang yang diperlukan untuk analisis yang lebih mendalam. Dengan memanfaatkan informasi yang sudah ada, studi ini dapat menghemat waktu dan sumber daya, serta memastikan bahwa data yang digunakan adalah valid dan dapat dipercaya.

3.4 Kegiatan Survei

3.4.1 Waktu Survei

Dalam studi ini, pengumpulan data dilakukan dalam 2 metode berikut:

- Untuk mendapatkan data yang lebih akurat, survei perhitungan lalu lintas dilakukan dengan interval 15 menit setiap jam, dimulai dari pukul 06:00 WIB hingga 18:00 WIB dilakukan selama 4 hari (2 hari Weekend dan 2 hari Workdays) pada hari Senin, Selasa, dan Sabtu, dan Minggu.
- Survei emisi gas juga dilaksanakan dengan durasi 15 menit per jam, mulai dari pukul 06:00 WIB hingga 18:00 WIB pada hari Senin, Kamis, dan Sabtu.

3.4.2 Peralatan Survei

Kesiapan Peralatan: Untuk mendukung kelancaran proses pengumpulan data dalam studi ini, peralatan yang diperlukan telah dipersiapkan dengan baik. Beberapa peralatan yang digunakan meliputi :

- A. Survei geometrik jalan
- Meteran
 - Peralatan tulis termasuk formular
 - Kamera sebagai dokumentasi
- B. Survei volume dan antrian lalu lintas.
- Formulir data lalu lintas (Tabel 3.1)
 - *Traffic Counter*
 - *Stopwatch*
 - Alat tulis
- C. Survei kualitas udara
- Formulir kualitas udara (Tabel 3.2)
 - *Stopwatch*
 - Alat tulis
 - Air Detector : Carbon Monoxide Meter AS8700A



Gambar 3. 2 Carbon Monoxide Meter AS8700A

3.4.3 Jenis Survey

Untuk menganalisis kapasitas dan arus bebas, survei ini dilakukan dengan mengukur dimensi simpang jalan serta pemanfaatan lahan yang terdapat di area tersebut. Pengukuran ini sangat penting untuk memahami karakteristik fisik jalan dan bagaimana lahan di sekitarnya dimanfaatkan. Dengan informasi ini, diharapkan dapat diperoleh data yang akurat mengenai kondisi lalu lintas dan penggunaan ruang, yang pada gilirannya dapat membantu dalam perencanaan dan pengembangan infrastruktur transportasi yang lebih efektif. Selain itu, pemahaman tentang dimensi jalan dan pemanfaatan lahan juga dapat memberikan wawasan mengenai potensi masalah kemacetan dan kebutuhan perbaikan jalan di masa depan.

a. Pengumpulan Data Geometrik Jalan

Pengumpulan data untuk mendapatkan informasi mengenai geometri jalan dilakukan melalui pengukuran langsung di lokasi studi, yang mencakup:

- Lebar pendekat
- Jumlah jalur
- Lebar tepi

b. Jumlah Surveyor

Diperlukan 4 - 5 orang surveyor atau pengamat untuk melakukan pengukuran geometri jalan.

2. Survei Volume Lalu Lintas

a. Tujuan dan Metode Survei

Survei volume lalu lintas dilakukan untuk menghasilkan data volume lalu lintas pada jam sibuk. Proses pengambilan data dilakukan dengan menempatkan surveyor pada titik-titik yang strategis di sepanjang jalan lokasi studi. Ini bertujuan untuk meminimalkan gangguan bagi surveyor ketika mereka mencatat setiap kendaraan yang lewat, menggunakan

formulir yang telah disediakan. Kemudian, hasil catatan dikonversi menjadi satuan mobil penumpang (SMP). Data volume ini digunakan untuk menghitung rasio arus, kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, panjang antrian, dan tingkat pelayanan (LOS) sehingga dapat diketahui kondisi kinerja simpang. Metode survei dilakukan dengan pencacahan kendaraan per gerakan (turning movement count) pada tiap pendekatan simpang, kendaraan diklasifikasikan menjadi (sepeda motor) SM, (Kendaraan Ringan) LV, dan (Kendaraan Berat) HV, dicatat dalam interval waktu tertentu (umumnya 5–15 menit), dan dilaksanakan pada periode jam puncak agar diperoleh kondisi arus lalu lintas yang mewakili keadaan terpadat.

b. Pelaksanaan Survei

Surveyor akan ditempatkan pada setiap titik pengamatan. Mereka akan mengamati jumlah dan jenis kendaraan yang melewati titik tersebut. Hasil pengamatan dicatat secara teliti pada formulir yang sudah disiapkan. Dengan demikian, data yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan untuk menganalisis perilaku lalu lintas dan merumuskan solusi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi aliran lalu lintas di daerah tersebut.

Penempatan 5 orang surveyor pada setiap titik pengamatan juga memiliki manfaat tambahan, yakni memungkinkan adanya kontrol mutakhir atas proses pengolahan data. Dengan sistem double-check, kesalahan dalam pencatatan dapat diminimalkan, sehingga keabsahan data tetap terjamin.

Tabel 3. 1 Formulir Survey Data Volume Lalu Lintas

FORM SURVEY JL. SOEKARNO-HATTA				
Nama :				
Tanggal :				
Pendekat :				
Lokasi : Jl.Soekarno-Hatta				
Cuaca :				
waktu	jenis kendaraan			
	SM	MP	KS	UM
	Kend/jam	Kend/jam	Kend/jam	Kend/jam
06.00 - 06.15				
06.15 - 06.30				
06.30 - 06.45				
06.45 - 07.00				
07.00 - 07.15				
07.15 - 07.30				
07.30 - 07.45				
07.45 - 08.00				
11.00 - 11.15				
11.15 - 11.30				
11.30 - 11.45				
11.45 - 12.00				
12.00 - 12.15				
12.15 - 12.30				
12.30 - 12.45				
12.45 - 13.00				
16.00 - 16.15				
16.15 - 16.30				
16.30 - 16.45				
16.45 - 17.00				
17.00 - 17.15				
17.15 - 17.30				
17.30 - 17.45				
17.45 - 18.00				

3. Survei Gas Emisi yang Ditimbulkan oleh Kendaraan

a. Tujuan Studi

Studi ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengumpulkan data mengenai pencemaran yang disebabkan oleh lalu lintas. Proses pengumpulan data dilakukan dengan menempatkan surveyor di lokasi yang strategis dan mudah diakses di tepi jalan.

b. Metode Pengumpulan Data

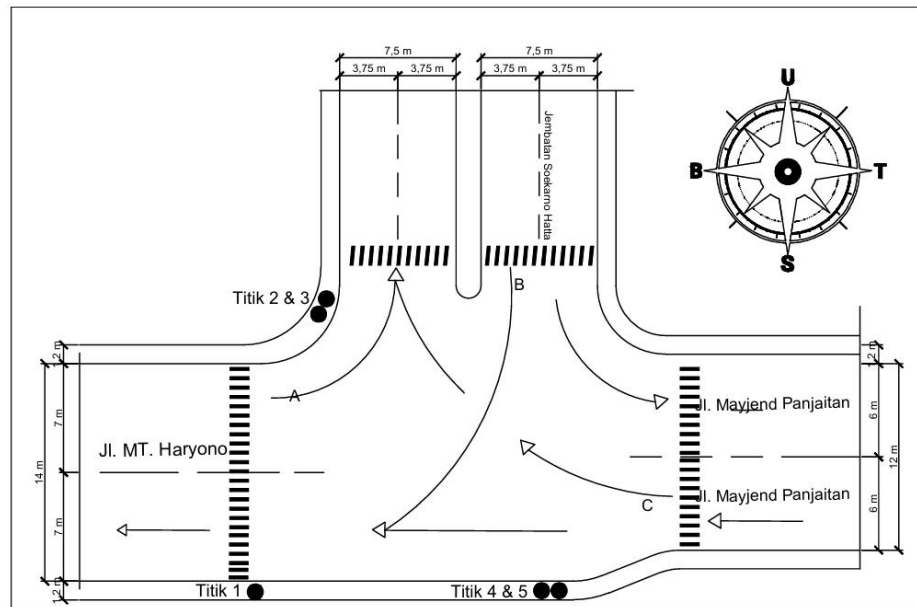
Pengumpulan data untuk memantau emisi gas yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan alat pengukur udara. Untuk mengukur

kadar gas karbon monoksida (CO), digunakan Smart Sensor Carbon Monoxide Meter tipe AS8700A. Sementara itu, untuk mengukur kadar gas nitrogen dioksida (NO₂) dan sulfur dioksida (SO₂), digunakan BOSEAN Single Gas Detector tipe BH-90A.

Tabel 3. 2 Formulir Survey Data Kualitas Udara

Waktu Pengukuran	KONSENTRASI PARTIKULAT			
	NO ₂	SO ₂	CO	Kondisi Cuaca
	ppm	ppm	ppm	
06.00 - 07.00				
07.00 - 08.00				
08.00 - 09.00				
09.00 - 10.00				
10.00 - 11.00				
11.00 - 12.00				
12.00 - 13.00				
13.00 - 14.00				
14.00 - 15.00				
15.00 - 16.00				
16.00 - 17.00				
17.00 - 18.00				

3.5 Lokasi Titik Surveyor



Gambar 3. 3 Lokasi Titik Surveyor

Keterangan untuk gambar diatas, dijelaskan sebagai berikut :

- Di titik 1 terdapat 1 surveyor untuk mengumpulkan data volume simpang arah lurus dari Jl. Mayjend Panjaitan - Jl. MT Haryono dan belok kanan dari Jl. Soekarno Hatta - Jl. MT. Haryono
- Di titik 2 terdapat 1 surveyor untuk mengumpulkan data volume pada simpang belok kanan dari Jl. Mayjend Panjaitan - Jl. Soekarno Hatta
- Di titik 3 terdapat 1 surveyor untuk mengumpulkan data volume simpang belok kiri dari Jl. MT Haryono – Jl. Soekarno Hatta serta mengukur gas CO
- Di titik 4 terdapat 1 surveyor untuk mengumpulkan data volume simpang mengukur gas NO₂
- Di titik 5 terdapat 1 surveyor mengukur belok kiri dari Jl. Soekarno Hatta - Jl. Mayjend Panjaitan

Total Surveyor pada studi kasus ini berjumlah : 5 orang

3.6 Metode Analisa Data

3.6.1 Metode analisa kinerja simpang

Metode analisa data dilakukan setelah semua tahapan mulai dari lokasi studi hingga titik penempatan surveyor sudah terpenuhi. Metode analisa dilakukan dengan menggunakan PKJI 2023. Metode analisa data dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

a. Analisa data volume

Data volume lalu lintas yang didapatkan dari hasil perhitungan manual dilapangan dianalisa menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Data yang dimasukkan merupakan jam jam puncak yang didapatkan dari hasil kombinasi data volume lalu lintas. langkah berikutnya adalah mencari faktor penyesuaian berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia untuk memperoleh nilai Kapasitas. setelah Volume dan nilai Kapasitas diketahui, maka kita dapat menentukan Derajat Kejenuhan.

b. Analisa data antrian

Data antrian dianalisa juga menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia tahun 2023. Data antrian yang didapatkan dari lapangan kemudian dianalisis untuk menghitung peluang antrian.

c. Analisa data tundaan

Besar kecilnya nilai tundaan dipengaruhi oleh derajat kejenuhan. Data tundaan juga dianalisis menggunakan PKJI 2023. Data yang dicari merupakan data antrian tertinggi.

3.7 Solusi Alternatif

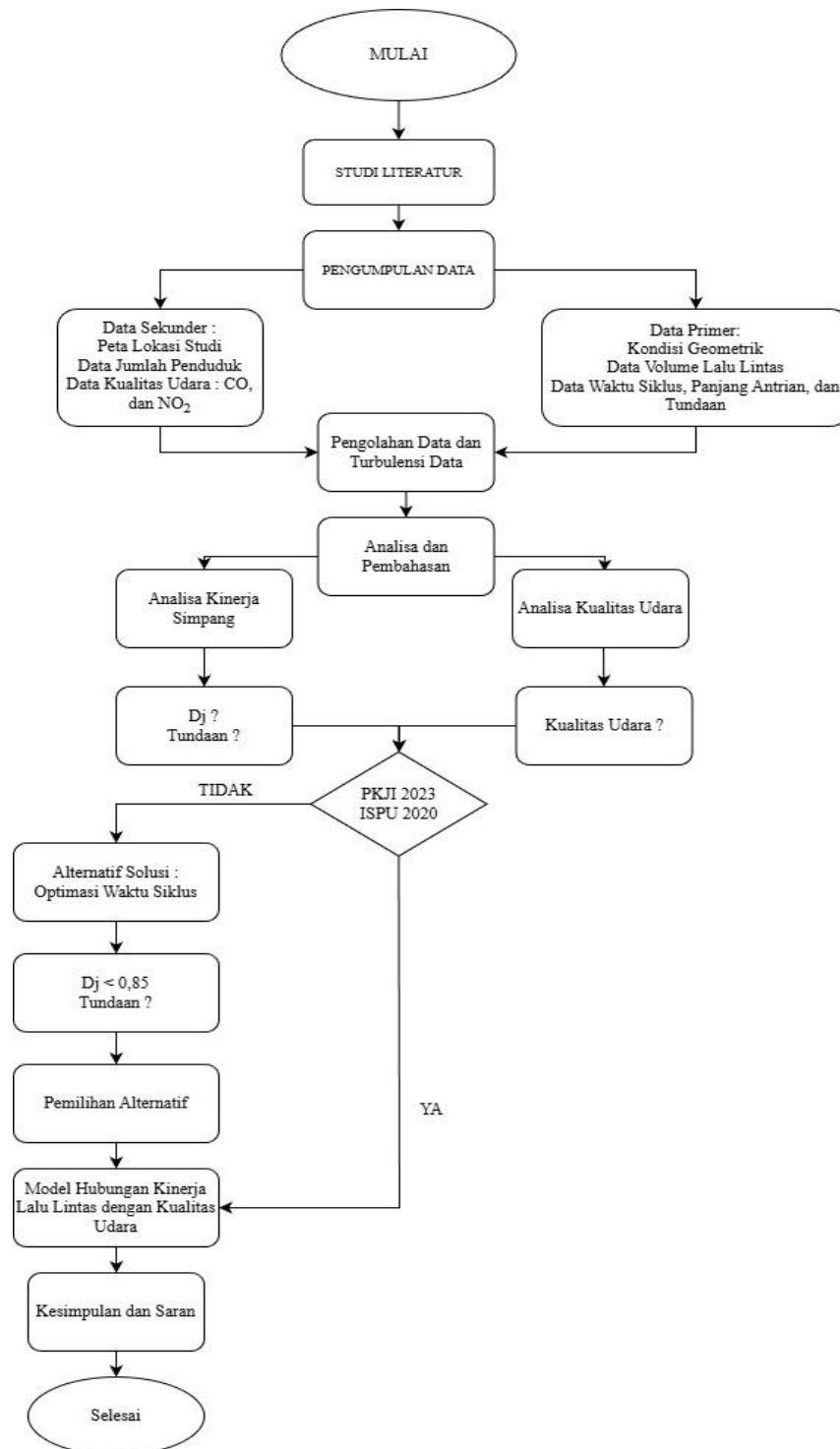
Untuk menganalisis model hubungan kinerja simpang tiga bersinyal terhadap kualitas udara di segmen Jalan Soekarno-Hatta, Kota Malang, Berikut merupakan solusi alternatif yang dapat dipertimbangkan :

- **Pengoptimalan Waktu Siklus**

Mendorong penggunaan transportasi umum dengan menyediakan jalur khusus bus (bus rapid transit) dan meningkatkan frekuensi layanan. Ini dapat

mengurangi jumlah kendaraan pribadi di jalan, sehingga menurunkan tingkat polusi udara.

3.8 Bagan Alir Rencana



Gambar 3. 4 Diagram Alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

4.1.1 Data Sekunder Jumlah Penduduk

Berikut merupakan Jumlah dan pertumbuhan penduduk di Kota Malang tahun 2024/2025 dapat dilihat dalam **Tabel 4.1** dan pada **Tabel 4.2** merupakan Faktor Koreksi Ukuran Kota (FUK) yang diambil dari PKJI 2023

Tabel 4. 1 Jumlah Penduduk Kota Malang

Kecamatan	Jumlah Penduduk
Kedungkandang	217.877
Sukun	206.910
Klojen	100.818
Blimbing	191.907
Lowokwaru	171.847

Sumber: (Badan Pusat Statistik Kota Malang Tahun 2025)

4.1.2 Data Primer

Informasi geometrik diperoleh melalui observasi dan pengukuran langsung di lokasi penelitian. Data yang tercatat meliputi dimensi krusial seperti lebar jalur, lebar median, lebar bahu jalan, dan elevasi median. Berikut merupakan data geometrik simpang dipaparkan dalam tabel 4.2 berikut:

A. Data Lingkungan

Tabel 4. 2 Data Geometrik Simpang 3 Jembatan Soekarno Hatta

Nama Jalan	Kode Pendekat	Tipe Lingkungan	Hambatan Samping	Median
Jl. Soekarno-Hatta	U	Komersial	Tinggi	Ada
Jl. MT.Haryono	T	Komersial	Rendah	Tidak Ada
Jl. Mayjend Panjaitan	B	Komersial	Rendah	Tidak Ada

No	Data	Jl. Soekarno-Hatta	Jl. MT Haryono	Jl. Mayjend Panjaitan
1	Kode pendekat	U (Utara)	B (Barat)	T (Timur)
2	Jumlah Jalur	2/2	1/1	2/2
3	Lebar Jalan	7,5 m	12 m	14 m
4	Median	Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Tipe	Komersial	Komersial	Komersial

Sumber : Hasil survei lapangan

4.1.3 Kondisi Geometrik Jalan

Lokasi penelitian berada di persimpangan tiga jembatan Soekarno-Hatta, Kota Malang. Survei ini dilakukan untuk mengumpulkan data umum terkait kondisi alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL), nama ruas jalan, marka jalan, hambatan di sisi jalan, serta sistem pengaturan APILL yang diterapkan. Persimpangan tersebut terdapat tiga lengan jalan, yaitu Jalan Soekarno-Hatta, Jalan MT.Haryono, serta Jalan Mayjend Panjaitan.

Simpang Tiga Soekarno-Hatta merupakan daerah dengan tipe lingkungan komersial sehingga aktivitas disekitar daerah simpang tergolong tinggi. Aktivitas yang tinggi ini juga dipengaruhi dengan jumlah penduduk kota Malang. Pada tahun 2024 Badan Pusat Statistik (BPS) kota Malang mencatat terdapat jumlah penduduk di kota Malang mencapai 889.359 jiwa yang dihitung berdasarkan jenis kelamin dan kelompok umur. Dengan luas wilayah 145,3 Km² maka kepadatan penduduk di kota malang mencapai angka 6.120,85 jiwa/km². Berdasarkan kategori ukuran kota berdasarkan jumlah popilasi penduduk kota malang termasuk dalam ukuran kota sedang dikarenakan jumlah populasi penduduknya kurang dari 1 juta jiwa. Kategori ukuran kota berdasarkan jumlah populasi penduduk dapat dillihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 3 Faktor Koreksi Ukuran Kota

Ukuran Kota	Populasi penduduk (Juta jiwa)	FUK
Sangat Kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat Besar	>3,0	1,05

Sumber : PKJI 2023, (Hal.269)

a. Kondisi Hambatan samping

Berdasarkan PKJI 2023 hal 120, kondisi hambatan samping ditentukan dengan melihat apakah aktivitas-aktivitas disamping jalan sepanjang pendekat mengganggu pergerakan arus lalu lintas atau tidak. Jika arus arus keberangkatan pendekat tidak terganggu maka hambatan samping di daerah pendekat tersebut rendah. Faktor koreksi untuk hambatan samping pada simpang Soekarno Hatta ditentukan dengan tabel berikut 4.3 berikut ini.

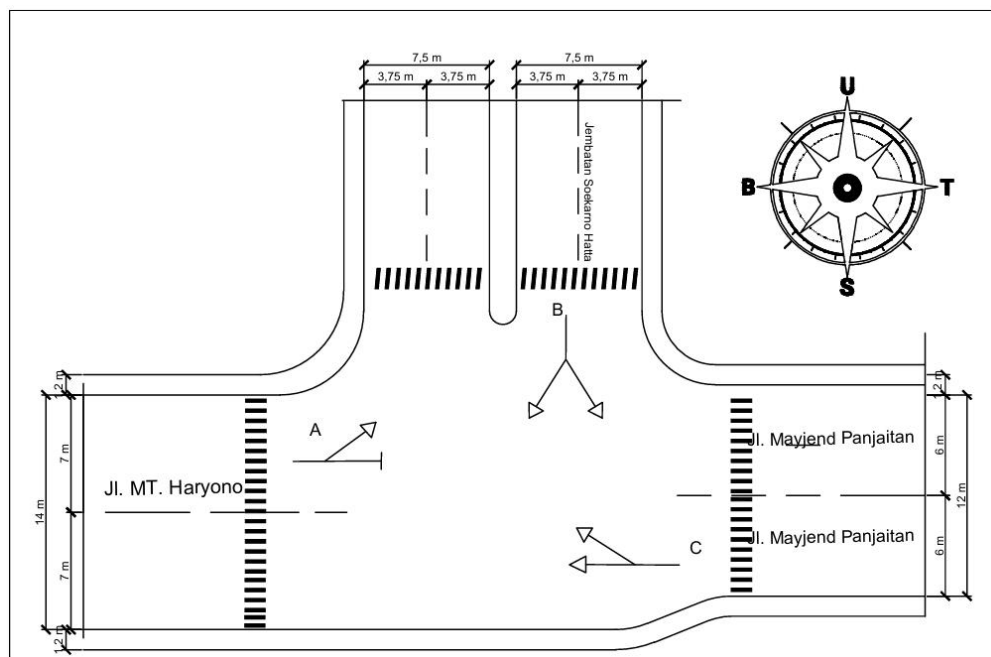
Tabel 4. 4 Faktor penyesuaian untuk tipe lingkungan jalan, hambatan samping dan kendaraan tak bermotor (FHS)

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	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	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	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	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,98	0,93	0,90	0,88

Sumber : PKJI 2023, (Hal. 270)

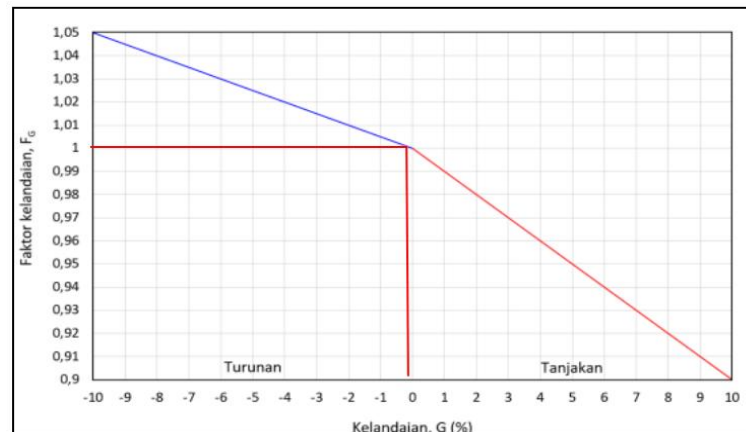
Simpang Tiga Soekarno-Hatta merupakan salah satu simpang bersinyal yang ada di kota Malang, tipe lingkungan disekitar simpang merupakan daerah komersial yang ditandai dengan adanya Kampus, Pertokoan, bengkel dan Sebagainya. Berdasarkan hasil pengamatan dilapangan arus keberangkatan dan kedatangan pada simpang Tiga Soekarno-Hatta dapat disimpulkan bahwa hambatan samping pada simpang Tiga Soekarno-Hatta termasuk Tinggi. Karena tipe pendekat pada simpang Soekarno Hatta merupakan tipe pendekat terlawan, maka faktor penyesuaian untuk tipe lingkungan dan hambatan samping yang dipakai adalah 0,93.

Sketsa AutoCad geometrik Simpang Tiga yang ditinjau, dapat dilihat pada **Gambar 4.1** Berikut ini :



Gambar 4. 1 Geometrik Simpang Tiga Soekarno-Hatta

a. Faktor penyesuaian semua tipe pendekat (Kelandaian FG)



Gambar 4. 2 Grafik Faktor penyesuaian semua tipe pendekat (Kelandaian FG)

Karena daerah lokasi studi termasuk datar, maka nilai FG yang digunakan adalah = 1

b. Faktor penyesuaian semua tipe pendekat (FP)

L_p = jarak antara garis henti dengan kendaraan pertama = 1 m

L = Lebar pendekat utara = 4,63

H = Waktu hijau pada pendekat utara = 60 det

$$F_p = (1/3 - (4,63 - 2) \times (1/3 - 60)/4,63)/60$$

$$= 0,75$$

Digunakan nilai FP = 1,0 karena lokasi studi termasuk datar.

c. Faktor penyesuaian belok kiri (FBKI)

Contoh perhitungan simpang Soekarno Hatta janti pendekat Utara:

Rasio belok kiri (RBKI) = 0,03

$$FBK_i = 1 - (RBK_i \times 0,16)$$

$$= 1 - (0,03 \times 0,16) = 0,99$$

d. Faktor penyesuaian belok kanan (FBKa)

Contoh perhitungan simpang Soekarno Hatta pendekat Timur.

Rasio belok kanan (RBKa) = 0

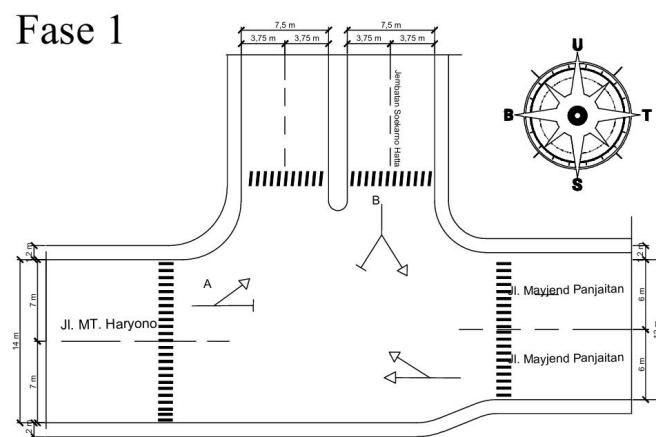
$$\begin{aligned} \text{FBKa} &= 1 + (\text{RBKa} \times 0,26) \\ &= 1 + (0 \times 0,26) = 1 \end{aligned}$$

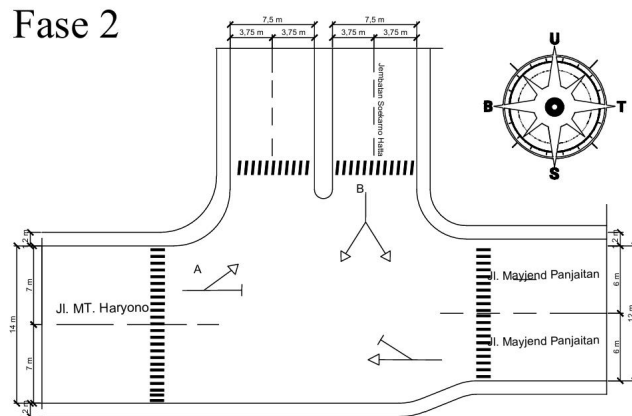
e. Aruh jenuh (S)

$$\begin{aligned} J &= J_o \times \text{FHS} \times \text{FUK} \times \text{FG} \times \text{FP} \times \text{FBKa} \times \text{FBKi} \\ J &= 2778 \times 0,95 \times 0,94 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,99 \\ &= 2465,33 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

4.1.3.1 Penetapan Penggunaan Isyarat APPIL pada Simpang Tiga Soekarno-Hatta

Fase merupakan bagian dari suatu siklus yang dialokasikan untuk kombinasi pergerakan secara bersamaan mengikuti isyarat lampu lalu lintas. Lampu lalu lintas merupakan peralatan yang dioperasikan secara mekanis, atau elektrik untuk memerintahkan kendaraan – kendaraan berhenti atau berjalan. Fase yang terdapat pada Simpang Tiga Soekarno-Hatta yaitu berjumlah 2 fase, dapat dilihat pada gambar berikut ini :





Gambar 4.3 Fase Simpang Tiga Jembatan Soekarno Hatta

Sumber : Hasil survei lapangan

- Fase 1 meliputi pergerakan arus lalu lintas ke arah timur lurus dan timur belok kanan mengikuti lampu hijau.
- Fase 2 meliputi pergerakan arus lalu lintas dari arah barat lurus dan belok kiri serta arus lalu lintas dari arah timur mengikuti lampu hijau.

Dalam menentukan waktu pada setiap fase dan total panjang siklus pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 5 Konfigurasi Waktu Sinyal Simpang Soekarno Hatta hasil pengamatan dilapangan

Nama Jalan	Pendekat	Fase	Waktu Sinyal			
			Merah	Kuning	Hijau	Merah Semua
Jl. Soekarno-Hatta	U	1	41	3	45	1
Jl. Mayjend Panjaitan	T	2	49	3	36	2

Sumber : Hasil survei lapangan

Berikut ini merupakan diagram waktu siklus pada simpang Soekarno Hatta sesuai dengan hasil pengamatan langsung dilapangan :

Fase 1



Fase 2



Gambar 4. 4 Fase dan Diagram waktu siklus simpang Soekarno Hatta

4.1.4 Analisis Volume Lalu Lintas

4.1.4.1 Ekuivalensi Mobil Penumpang

Data lalu-lintas yang dipakai merupakan data primer yang didapat berdasarkan survey lapangan dengan menggunakan counter. Pengamatan dilaksanakan selama 4 hari yaitu, dan waktu survey sendiri dilaksanakan selama 12 jam mulai pukul 06.00 – 18.00 dengan interval 15 menit sampai dengan 1 jam.

Tabel 4. 6 Nilai EMP untuk KS dan SM

Jenis kendaraan	EMP untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
MP	1,00	1,00
KS	1,30	1,30
SM	0,15	0,40

Sumber: PKJI 2023 (Hal. 114)

Tabel 4. 7 Total Arus Lalu Lintas pendekat utara. Sabtu, 22 Feb 2025

Periode	Sepeda Motor				Mobil Penumpang				Kendaraan Sedang				Total
	ekr =			0,15	ekr =			1	ekr =			1,3	
	Kanan	ekr	BKJT	ekr	Kanan	ekr	BKJT	ekr	Kanan	ekr	BKJT	ekr	
06.00-07.00	740	111	796	119,4	116	116	220	220	5	6,5	10	13	585,9
06.15-07.15	845	126,75	915	137,25	151	151	323	323	3	3,9	11	14,3	756,2
06.30-07.30	891	133,65	970	145,5	227	227	427	427	2	2,6	11	14,3	950,05
06.45-07.45	693	103,95	1009	151,35	270	270	450	450	4	5,2	12	15,6	996,1
07.00-08.00	914	137,1	1037	155,55	287	287	450	450	4	5,2	15	19,5	1054,35
11.00-12.00	893	133,95	1155	173,25	429	429	543	543	5	6,5	15	19,5	1305,2
11.15-12.15	896	134,4	1196	179,4	434	434	562	562	9	11,7	18	23,4	1344,9
11.30-12.30	918	137,7	1232	184,8	446	446	563	563	10	13	15	19,5	1364
11.45-12.45	896	134,4	1248	187,2	441	441	556	556	8	10,4	18	23,4	1352,4
12.00-13.00	936	140,4	1255	188,25	482	482	545	545	9	11,7	17	22,1	1389,45
16.00-17.00	967	145,05	1216	182,4	445	445	512	512	1	1,3	3	3,9	1289,65
16.15-17.15	933	139,95	1183	177,45	455	455	490	490	0	0	6	7,8	1270,2
16.30-17.30	899	134,85	1148	172,2	505	505	456	456	0	0	8	10,4	1278,45
16.45-17.45	859	128,85	1096	164,4	522	522	452	452	3	3,9	8	10,4	1281,55
17.00-18.00	808	121,2	1026	153,9	545	545	441	441	3	3,9	13	16,9	1281,9

Berikut merupakan contoh perhitungan volume lalu lintas pada JL. Soekarno Hatta Hari Sabtu pada jam puncak 12.00-13.00 :

A) Jumlah Kendaraan :

Sepeda Motor (SM) :

$$BK_{iJT} = 505 \text{ kend/jam}$$

$$BK_a = 518 \text{ kend/jam}$$

Mobil Penumpang (MP)

$$BK_{iJT} = 169 \text{ kend/jam}$$

$$BK_a = 143 \text{ kend/jam}$$

Kendaraan Sedang (KS)

$$BK_{iJT} = 11 \text{ kend/jam}$$

$$BK_a = 48 \text{ kend/jam}$$

B) Analisa arus kendaraan bermotor pendekat (utara)

Sepeda Motor (SM)

$$BK_{iJT} = 505 \times 0,15 = 75,75 \text{ smp/jam}$$

$$BK_a = 518 \times 0,15 = 77,7 \text{ smp/jam}$$

$$e_{kr} = e_{kr} = e_{kr} = 2.$$

Mobil Penumpang (MP)

$$BK_{iJT} = 169 \times 1 = 169 \text{ smp/jam}$$

$$BK_a = 143 \times 1 = 143 \text{ smp/jam}$$

Kendaraan Sedang (KS)

$$BK_{iJT} = 11 \times 1,3 = 14,3 \text{ smp/jam}$$

$$BK_a = 48 \times 1,3 = 62,4 \text{ smp/jam}$$

C) Total arus kendaraan bermotor (KBM)

1) Total arus kendaraan BK_{iJT}

- Sepeda Motor (SM) = 505 smp/jam
- Mobil Penumpang (MP) = 169 smp/jam
- Kendaraan Sedang (KS) = 11 smp/jam
- Total = $505 + 169 + 11 = 685 \text{ smp/jam}$

2) Total arus kendaraan BK_a

- Sepeda Motor (SM) = 518 smp/jam

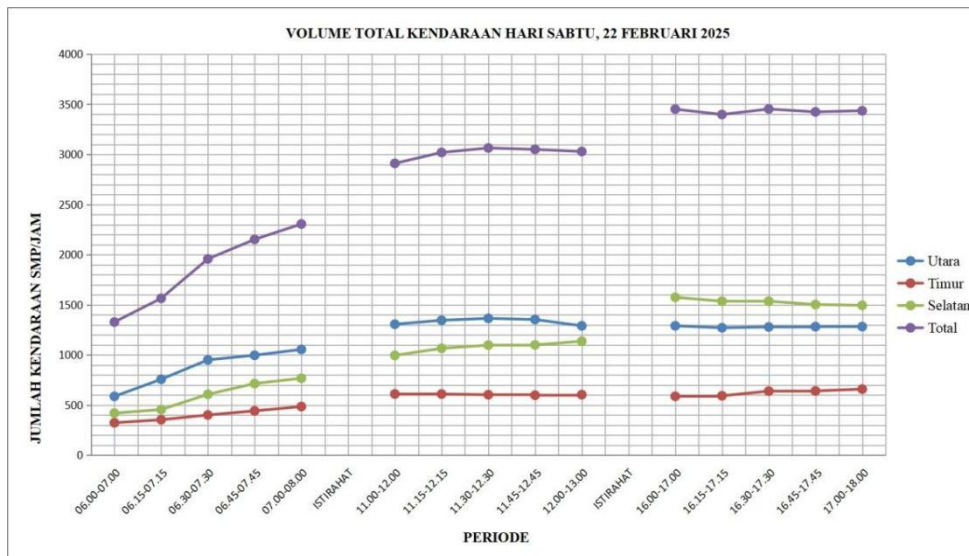
- Mobil Penumpang (MP) = 143 smp/jam
- Kendaraan Sedang (KS) = 48 smp/jam
- Total = 518 + 143 + 48 = 709 smp/jam

3.) Total arus kendaraan bermotor

- Kendaraan BKiJT = 685 smp/jam
- Kendaraan BKa = 709 smp/jam
- Total = 685 + 709 = 1394 smp/jam

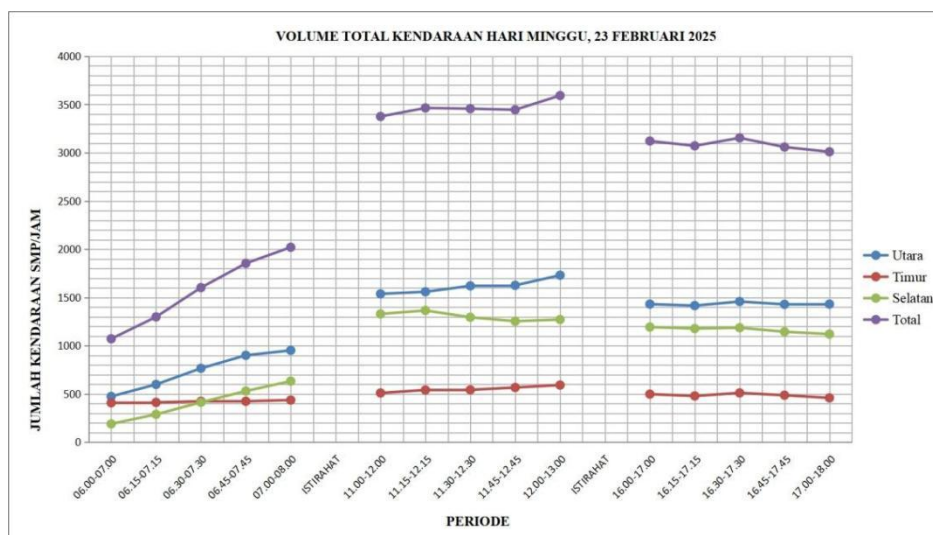
Tabel 4. 8 Volume Lalu Lintas Pada Simpang Soekarno-Hatta Sabtu
22-02-2025

Periode	Jumlah Kendaraan			Total
	Pendekat utara smp/jam Jalan S. Supriadi	Pendekat Timur smp/jam Jl. Janti Barat	Pendekat Selatan smp/jam Jl. S. Supriadi	
06.00-07.00	609,9	322,75	411,2	1343,85
06.15-07.15	787,7	352,8	447,2	1587,7
06.30-07.30	988,6	432	629	2049,6
06.45-07.45	1084,75	508,4	769,55	2362,7
07.00-08.00	1180,95	561	838,2	2580,15
ISTIRAHAT				
11.00-12.00	1877,6	776,95	1146,25	3800,8
11.15-12.15	1847,7	802,6	1176,15	3826,45
11.30-12.30	1866,6	821,5	1211,05	3899,15
11.45-12.45	1877,55	811,15	1213,45	3902,15
12.00-13.00	1804,95	846,7	1265,2	3916,85
ISTIRAHAT				
16.00-17.00	1804,95	717,3	2278,75	4801
16.15-17.15	1794,7	723,9	2220,6	4739,2
16.30-17.30	1733,85	785,6	2208,85	4728,3
16.45-17.45	1681,2	782,7	2172,4	4636,3
17.00-18.00	1655,45	807,65	2141,7	4604,8



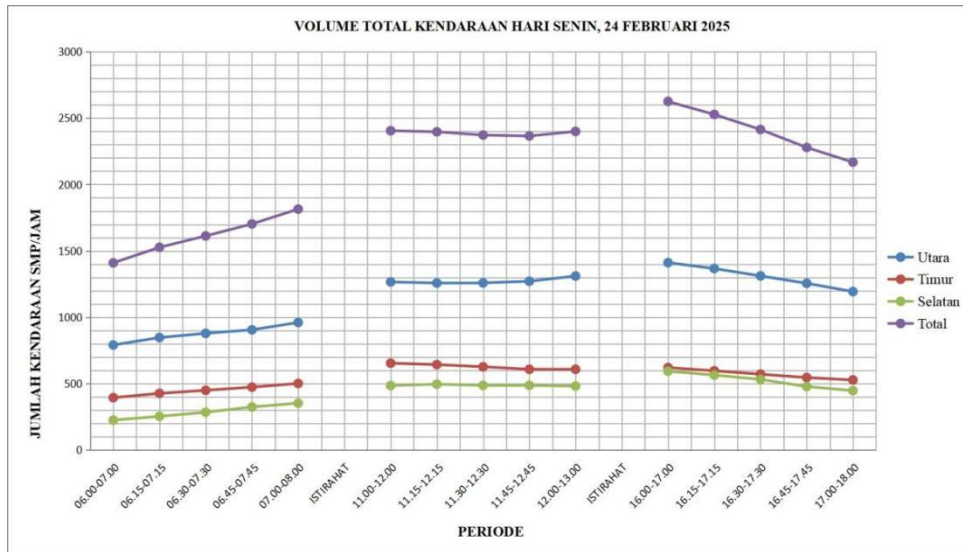
Gambar 4. 5 Volume Lalu Lintas Lengan Hari Sabtu, 22-02-25

Berdasarkan gambar grafik 4.5 Diketahui pada hari Sabtu 25-02-2025 bahwa jam puncak pagi yaitu pukul 07.00-08.00 dengan arus total kendaraan sebesar 2305,2 smp/jam, pada puncak siang 11.30-12.30 dengan arus total kendaraan sebesar 3063,45 smp/jam, dan pada puncak sore jam 16.00-17.00 dengan arus total kendaraan sebesar 3451,7 Smp/jam.



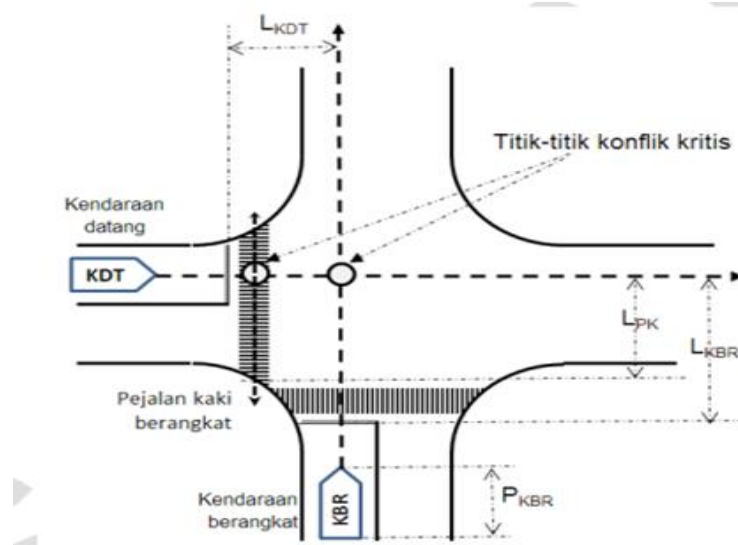
Gambar 4. 6 Volume Lalu Lintas Lengan Hari Minggu 23-02-2025

Berdasarkan grafik 4.6 Diketahui pada hari Minggu, 23-02-2025 bahwa jam puncak pagi yaitu pukul 07.00-08.00 dengan arus total kendaraan sebesar 2020,35 smp/jam, pada puncak siang 12.00-13.00 dengan arus total kendaraan sebesar 3593,05 smp/jam, dan pada puncak sore jam 16.30-17.30 dengan arus total kendaraan sebesar 3154,05 Smp/jam.



Gambar 4. 7 Volume Lalu Lintas Lengan Senin, 24-02-2025

Berdasarkan grafik 4.7 Diketahui pada hari Senin, 24-02-2025 bahwa jam puncak pagi yaitu pukul 07.00-08.00 dengan arus total kendaraan sebesar 1814,45 smp/jam, pada puncak siang 12.00-13.00 dengan arus total kendaraan sebesar 2405,1 smp/jam, dan pada puncak sore jam 16.00-17.00 dengan arus total kendaraan sebesar 2625,35 Smp/jam.



Sumber : PKJI 2023 (Hal 111)

Gambar 4.9 Titik Konflik dan Jarak untuk Menentukan Keberangkatan dan Kedatangan

Simpang Soekarno-Hatta :

LKBR = 15,73 m

LKDT = 15,29 m

VKBR = 10 m/detik

VKDT = 10 m/detik

PKBR = 5 m

Catatan :

Nilai VKDT, VKBR, dan PKBR yang digunakan dalam perhitungan ini adalah nilai-nilai yang dianjurkan berdasarkan PKJI 2023 jika nilai baku tidak tersedia.

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk fase 1 (Lengan Utara)

$$\text{Merah semua} = \frac{LKBR + PKBR}{VKBR} - \frac{LKDT}{VKDT}$$

$$\begin{aligned} \text{Merah semua} &= \frac{15,73 + 5}{10} - \frac{15,29}{10} \\ &= 0,846 \text{ detik} \end{aligned}$$

• Fase 1 – Fase 2 = 1 detik

• Fase 2 – Fase 1 = 2 detik

Total waktu pada setiap fase = 3 detik

Dimana :

- Waktu kuning total didapatkan dari detik pada tiap fase yaitu 3 detik, jadi total waktu kuning adalah 9 detik, hal ini karena terdapat 3 fase.
- Angka dibawah 1 detik dibulatkan ke atas menjadi 1 detik.
- Waktu hijau hilang total (HH) = $\sum$ (Merah semua + waktu kuning)
= 3 + 6 = 9 detik

Penentuan waktu antar hijau dan waktu hilang pada simpang Sukun Janti untuk masing-masing pendekat selanjutnya akan disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Hijau dan Waktu Hilang Total pada Simpang Soekarno Hatta

LALU LINTAS BERANGKAT		LALU LINTAS DATANG				Msemua
Kode Pendekat	Kecepatan Berangkat	Kode Pendekat	U	T	B	
	VKB, m/detik	Kecepatan datang, VKD, m/detik	10	10	10	
U	10	Jarak berangkat, LKB + PKBR, m	15,73			
		Jarak datang, LKD, m	15,29			1
T	10	Jarak berangkat, LKB + PKBR, m		24,24		
		Jarak datang, LKD, m		10,78		2
B	10	Jarak berangkat, LKB + PKBR, m				
		Jarak datang, LKD, m				
Catatan : $w_{MS} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}} \\ \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \end{array} \right.$						
				Fase 1 → Fase 2		1
				Fase 2 → Fase 1		2
				WKsemua fase (3 detik per		6
				$W_{HH} = \sum (W_{MS} + W_K)_{\text{SEMUA FASE}} \text{ (detik/siklus)}$		9

Sumber : Pengolahan Data

4.2 Analisa Kondisi Eksisting

4.2.1 Derajat Kejenuhan Pada Kondisi Eksisting (DJ)

Nilai derajat kejenuhan adalah rasio antara lalu lintas terhadap kapasitas. Berikut contoh perhitungan derajat kejenuhan pendekat utara pada Sabtu, 22 Februari 2025.

Tabel 4.10 Analisa Derajat Kejenuhan SA-IV

PENENTUAN WAKTU ISYARAT DAN KAPASITAS										Kota : Malang Simpang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta Ukuran Kota : < 1 Juta Jiwa		Perihal : Periode : Pagi															
Distribusi Arus Lalu Lintas (smp/jam)																											
Kode Pendekat	Hijau Dalam Fase	Tipe Pendekat	Rasio Arus Belok			Arus Belok Kanan qBKa		Lebar Efektif (m)	Arus Jenuh kend/jam hijau								Nilai Disesuaikan kend/jam hijau	Arus Lalu Lintas (skr/jam)	Rasio Arus RqS	Rasio Fase Rr	Waktu Hijau (detik)	Kapasitas (skr/jam)	Derajat Kejenuhan				
			RBKJT	RBKi	RBKa	Dari arah ditinjau skr/jam	Dari arah berlawanan skr/jam		Le	Arus Jenuh Kend/jam skr/jam	Faktor-faktor Penyesuaian																
											Semua Tipe Pendekat													Hanya Tipe P			
											Ukuran Kota	Hambatan Samping	Ketandatangan	Parkir	Belok Kanan	Belok Kiri								FLT	S	Q	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					
U	1	0	0,50	0,00	0,50	0,00	658	7,50	4500	0,94	0,95	1	1	1,13	0,92	4177,63	1409	0,34	0,47	45	1042,80	1,35					
B	2	0	1,00	0,00		0,00	0	7,30	4380	0,94	0,95	1	1	1,26	1,00	4928,29	928	0,19	0,26	90	2460,35	0,38					
T	3	0			0,70	0,00	881	12,00	7200	0,94	0,95	1	1	1,18	0,89	6749,13	1255	0,19	0,26	36	1347,75	0,93					
Waktu Hilang Total, HHI Total (detik)			9			Waktu Siklus Pra Penyesuaian - Cbs (detik)				90				Waktu Siklus Disesuaikan - c (detik)				180				RQ/S = Σ RQ/S				0,71	

$$DJ = q/c$$

$$= 1409/1042,80$$

$$= 1,35$$

4.2.2 Panjang Antrian Jam Puncak (PA)

Jumlah rata-rata kendaraan pada awal isyarat lampu hijau (Nq) dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (Nq1) ditambah jumlah kendaraan yang akan datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah (Nq2). Berikut contoh perhitungan Panjang antrian pendekat Utara pada Minggu, 23 Februari 2025.

1) Panjang Antrian

- Menentukan Nilai NQ1

Untuk mendapatkan nilai NQ1, maka digunakan rumus :

$$NQ1 = 0,25 \times s \times (DJ - 1) + \sqrt{(DJ - 1)^2 + \frac{8 \times (DJ - 0,5)}{s}}$$

Dimana :

- NQ1 = Jumlah skr yang tersisa dari fase hijau sebelumnya
- DJ = derajat kejenuhan
- S = waktu siklus disesuaikan

Diketahui :

Waktu siklus = 180

Derajat kejenuhan untuk pendekat Barat periode pagi hari adalah =

Maka nilai Nq1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$NQ1 = 0,25 \times 120 \times (0,53-1) + \sqrt{(0,53 - 1)^2 + \frac{8 \times (0,53-0,5)}{120}}$$

$$NQ1 = 0,07 \text{ smp/jam}$$

- Menentukan Nilai NQ2

Untuk menentukan nilai NQ2 digunakan rumus :

$$NQ2 = s \times \frac{(1-RH)}{(1-RH \times DJ)} \times \frac{q}{3600}$$

$$NQ2 = 180 \times \frac{(1-0,50)}{(1-0,50 \times 0,53)} \times \frac{658}{3600}$$

$$NQ2 = 14,95 \text{ smp/jam}$$

- Jumlah Kendaraan Terhenti

$$NQ = NQ1 + NQ2$$

$$NQ = 0,07 + 14,95$$

$$= 15,02 \text{ smp/jam}$$

- Panjang Antrian

$$QL = \frac{NQ \times 20}{LM}$$

Diketahui :

$$NQ = 15,02 \text{ smp/jam}$$

$$LM = 4,63 \text{ m}$$

Maka nilai Panjang antrian pada pendekat utara periode Sabtu 25 2 2025 adalah:

$$QL = \frac{15,02 \times 20}{4,63}$$

$$QL = 64,88 \text{ m}$$

- 1.) Mencari nilai Rasio Kendaraan Henti (RKH)

$$RKH = 0,9 \frac{NQ}{Q \times s} \times 3600$$

Nilai Q merupakan arus lalu lintas dalam smp/jam

$$RKH = 0,9 \frac{113,9}{1409 \times 180} \times 3600$$

$$RKH = 1,45 \text{ stop/jam}$$

- 2.) Mencari jumlah kendaraan berhenti (NKH)

Digunakan rumus :

$$NKH = Q \times RKH$$

$$NKH = 1409 \times 1,45$$

$$NKH = 2047 \text{ det/kend}$$

4.2.3 Tundaan (T)

Tundaan pada suatu simpang terjadi karena dua hal yaitu tundaan lalu lintas dan tundaan geometrik. Berikut contoh perhitungan tundaan pada pendekatan Utara pada Sabtu, 22 Februari 2025.

- a. Tundaan Lalu Lintas Rata-Rata

Berdasarkan PKJI 2023, Untuk menghitung tundaan lalu lintas rata rata digunakan rumus berikut :

$$TL = s \times \frac{0,5 \times (1-RH)^2}{(1-RH \times DJ)} + \frac{NQ \times 3600}{C}$$

$$TL = 180 \times \frac{0,5 \times (1-0,25)^2}{(1-1,35)} + \frac{1042,80}{1042,80}$$

$$TL = 193,81 \text{ det/smp}$$

- b. Tundaan Geometrik Rata-Rata

Tundaan Geometrik Rata-Rata dihitung dengan rumus berikut :

$$TG = (1-RKH) \times PB \times 6 + (RKH \times 4)$$

$$TG = (1 - 1,45) \times 0,5 \times 6 + (1,45 \times 4)$$

$$TG = 4,45 \text{ det/smp}$$

- c. Tundaan Rata-Rata (T)

$$T = TL + TG$$

$$T = 141,84 + 4,25$$

$$T = 145,84 \text{ det/smp}$$

- d. Tundaan Total (T total) pendekat utara

$$T_{tot} = T \times Q$$

$$T_{tot} = 145,84 \times 1240$$

$$T_{tot} = 180798$$

- e. Tundaan Total Simpang

$$= 145,84 + 4,25$$

$$= 198,27 \text{ emp.det}$$

- f. Tundaan Rata Rata Simpang

$$= \frac{\text{Tundaan Total Simpang}}{\text{Arus Total}}$$

$$= \frac{254435}{2590,25}$$

$$= 98,228 \text{ det/smp}$$

4.2.4 Tingkat pelayanan pada simpang Tiga Jembatan Soekarno -Hatta

Berdasarkan hasil pengolahan data diatas diketahui bahwa Tingkat pelayanan simpang Soekarno Hatta untuk masing- masing pendekat belum memenuhi persyaratan untuk tingkat pelayanan yang ditetapkan untuk kelas jalan arteri sekunder dan jalan lokal sekunder sesuai yang terdapat dalam Peraturan Menteri Pehubungan no.96 tahun 2015, Tingkat pelayanan pada persimpangan dibagi menjadi enam klasifikasi berdasarkan waktu tundaan perkendaraan :

- Tingkat Pelayanan A: Kondisi Tundaan kurang dari 5 detik
- Tingkat Pelayanan B: Kondisi Tundaan lebih dari 5–15 detik
- Tingkat Pelayanan C: Kondisi Tundaan antara lebih dari 15–25 detik
- Tingkat Pelayanan D: Kondisi Tundaan lebih dari 25–40 detik
- Tingkat Pelayanan E: Kondisi Tundaan lebih dari 40–60 detik
- Tingkat Pelayanan F: Kondisi Tundaan lebih dari 60 detik

Penetapan tingkat pelayanan pada persimpangan

Penetapan tingkat pelayanan yang diinginkan pada ruas jalan primer adalah:

- Jalan arteri primer Tingkat pelayanan sekurang-kurangnya minimal B
- Jalan kolektor primer Tingkat pelayanan sekurang-kurangnya minimal B
- Jalan lokal primer Tingkat pelayanan sekurang-kurangnya minimal C
- Jalan tol minimal B

Sedangkan pada ruas jalan sekunder:

- Jalan arteri sekunder minimal Tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C
- Jalan kolektor sekunder minimal Tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C
- Jalan lokal sekunder minimal Tingkat pelayanan sekurang-kurangnya D
- Jalan lingkungan minimal Tingkat pelayanan sekurang-kurangnya D

Tingkat pelayanan ditetapkan oleh Direktur Jenderal, Gubernur, Bupati, atau Walikota sesuai kewenangannya. Dimana untuk fungsi Jalan Simpang Tiga Soekarno Hatta yang merupakan jalan arteri sekunder dengan tingkat pelayanan simpang sekurang kurangnya C atau 15-25 detik sehingga perlu dilakukan perbaikan untuk meningkatkan kinerja simpang Soekarno Hatta.

4.3 Alternatif Perbaikan Simpang

Alternatif solusi yang direncanakan untuk perbaikan simpang tersebut yaitu Pengoptimalan waktu siklus.

4.3.1 Pengoptimalan waktu siklus

Solusi alternatif 1 dilakukan dengan cara pengoptimalan waktu siklus. Untuk perencanaan alternatif 1 digunakan volume lalu lintas jam puncak pada hari Selasa 25 Feb 2025 sebagai contoh perhitungan. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya nilai Rasio arus total (R_q/J) >1 maka untuk waktu siklus digunakan nilai sesuai pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 11 Waktu siklus (S) yang layak

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

Sumber : PKJI 2023

Tipe pengaturan fase pada simpang Soekarno Hatta adalah pengaturan 2 – fase, oleh karena itu digunakan waktu siklus yang layak yaitu 40 – 80 detik. (PKJI 2023) Waktu isyarat mencakup periode siklus (s) dan waktu hijau (WH). Langkah pertama adalah menentukan periode siklus untuk sistem kontrol waktu tetap yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus Webster (1966). Rumus ini dirancang untuk mengurangi total penundaan. Langkah berikutnya adalah menetapkan waktu hijau (wH) untuk setiap fase (i). Nilai s ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum Rq/J \text{ kritis})} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

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

Diketahui :

$$S = 40 - 80 \text{ detik}$$

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

$$S = \frac{(1,5 \times 14 + 5)}{(1 - 0,54)}$$

$$= 57 \text{ detik}$$

- Penentuan waktu hijau hilang total :

$$W_{hh} = \text{Waktu merah semua} + \text{waktu kuning}$$

$$W_{ms} = 6 \text{ detik}$$

$$\text{Waktu kuning} = 4 \text{ detik untuk setiap fase, karena terdapat 2 fase maka nilai}$$

$$W_k \text{ total} = 8 \text{ detik}$$

$$W_{hh} = 6 + 8$$

$$W_{hh} = 14 \text{ detik}$$

$$S = (24 + 6 + 13) + 14$$

$$S = 57 \text{ detik}$$

Tabel 4. 12 Kinerja simpang Soekarno Hatta setelah dilakukan pengoptimalan waktu siklus

FORMULIR SIS IV - PENENTUAN WAKTU SINYAL DAN KAPASITAS																																
SIMPANG APILL						Hari/Tanggal : Selasa, 25 Februari 2025						Perihal :						Simpang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta						Periode : Pagi								
PENENTUAN WAKTU ISYARAT DAN KAPASITAS						Ukuran Kota : < 1 Juta Jiwa																										
Distribusi Arus Lalu Lintas (smp/jam)						FASE 1						FASE 2						FASE 3						FASE 4								
Kode Pendekat	Hijau Dalam Fase	Tipe Pendekat	Rasio Arus Belok			Arus Belok Kanan qBKa		Lebar Efektif (m)	Arus Jejak kend/jam hijau																	Nilai Disesuaikan aru kend/jam hijau	Arus Lalu Lintas (skr/jam)	Rasio Arus R20	Rasio Face Rr	Waktu Hijau (detik) wu = (s + wum) x RF	Kapasitas (skr/jam)	Derajat Kejenuhan
			RBKLT	RBKI	RBKa	Dari arah ditinjau skr/jam	Dari arah berlawanan skr/jam		Faktor-faktor Penyesuaian																							
									Semua Tipe Pendekat																							
									Hanya Tipe P																							
									Ukuran Kota																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25								
U	1	O	0,50	-	0,50	0,00	634,30	7,50	4500	0,94	0,95	1	1	1,13	0,92	4177,63	1240	0,30	0,62	24	1767,79	0,70										
B	2	O	1,00	-	0,00	0,00	14,00	8400	0,94	0,95	1	1	1,26	0,84	7939,27	482	0,06	0,13	6	835,71264	0,58											
T	3	O	0,00	0,56	0,00	368,60	12,00	7200	0,94	0,95	1	1	1,14	1,00	7358,57	869	0,12	0,25	13	1686,66	0,51											
Waktu Hilang Total, HHT Total (detik)		14	Waktu Siklus Pro Penyesuaian - C (detik)					57					57					RQ'S = $\frac{C}{RQ'S} \times \frac{1}{(1 - \sum R_i / R_{max})}$					0,48									

FORMULIR SIG - V PANJANG ANTRIAN, JUMLAH KENDARAAN TERHENTI DAN TUNDAAN															
SIMPANG BERSINYAL					Hari/Tanggal : Selasa, 25 Februari 2025					Perihal :					
Formulir SIG V					Kota : Malang					Simpang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta					
JUMLAH KENDARAAN TERHENTI TUNDAAN					Periode : Pagi										
Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas Q skr/jam	Kapasitas C skr/jam	Derajat Kejenuhan	Rasio Hijau RH	Jumlah Kendaraan Antri (kend)				Panjang Antrian (m)	Rasio Kendaraan Terhenti	Jumlah Kendaraan Terhenti (det/kend)	Tundaan			
					NQ1	NQ2	Total NQ1+NQ2 = NQ	NQMAX				Tundaan Lalu Lintas Rata-rata det/skr	Tundaan Geometrik Rata-rata det/skr	Tundaan Rata-rata det/skr	Tundaan Total ekr.det
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
U	1240	1042,80	0,70	0,25	1	17,85	18	17,85	49,28	0,85	1051	21,62	3,85	25,47	31571
B	482	3963,53	0,58	0,50	0	5,4	5,5	5,37	7,92	0,65	315	10,20	3,65	13,85	6678
T	869	1469,45	0,51	0,20	0	12	12	12,27	20,49	0,80	699	20,42	3,80	24,22	21039
LTOR (sema)		skr/jam													
Arus Kor. QKOR															
Arus Total QTOT	2590,25	skr/jam							Jumlah Total Kend. Terhenti	2064,79		total tundaan			59288
									Kendaraan Terhenti Rata-rata (hent/skr)	0,80		Tundaan Rata-rata Seluruh Simpang (det/skr)			22,889

Sumber : Pengolahan Data

Dari hasil perhitungan alternatif diatas, dapat dilihat bahwa derajat kejenuhan pada masing masing pendekat > 0,85 dan tundaan rata-rata pada simpang Soekarno Hatta masih memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan berdasarkan PM no.96 tahun 2015 dimana, tingkat pelayanan simpang untuk jalan arteri sekunder sekurang kurangnya C atau 15 – 25 detik/smp.

4.3 Analisa Kualitas Udara

Berdasarkan hasil analisis kualitas udara yang diambil sampel parameter karbon monoksida (CO) pada Simpang Tiga Soekarno-Hatta Kota Malang dalam kurun waktu selama 12 jam. Berikut hasil Analisa kualitas udara parameter CO.

Tabel 4.13 Analisa perhitungan emisi CO untuk hasil survey yang dilakukan selama Workday dan Weekday

Hari	Periode Waktu (WIB)	CO (PPM)	Cuaca
Senin (25/2/2025)	06.00 - 07.00	16	Cerah
	07.00 - 08.00	10	Cerah
	11.00 - 12.00	15	Cerah
	12.00 - 13.00	9	Mendung
	16.00 - 17.00	7	Hujan
	17.00 - 18.00	6	Hujan
Selasa (24/2/2025)	06.00 - 07.00	12	Cerah
	07.00 - 08.00	13	Cerah
	11.00 - 12.00	14	Cerah
	12.00 - 13.00	14	Mendung
	16.00 - 17.00	11	Mendung
	17.00 - 18.00	7	Mendung
Sabtu (22/2/2025)	06.00 - 07.00	13	Cerah
	07.00 - 08.00	10	Mendung
	11.00 - 12.00	14	Mendung
	12.00 - 13.00	8	Mendung
	16.00 - 17.00	6	Hujan
	17.00 - 18.00	6	Hujan
Minggu (23/2/2025)	06.00 - 07.00	15	Cerah
	07.00 - 08.00	12	Cerah
	11.00 - 12.00	16	Cerah
	12.00 - 13.00	6	Mendung
	16.00 - 17.00	9	Hujan
	17.00 - 18.00	6	Hujan

Tabel 4.14 Hasil Konversi emisi CO untuk hasil survey yang dilakukan selama Workday dan Weekday

Hari	Periode Waktu (WIB)	CO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuaca
Senin (25/2/2025)	06.00 - 07.00	1832.311	Cerah
	07.00 - 08.00	1832.311	Cerah
	11.00 - 12.00	1717.791	Cerah
	12.00 - 13.00	1030.675	Mendun g
	16.00 - 17.00	801.636	Hujan
	17.00 - 18.00	687.117	Hujan
Selasa (24/2/2025)	06.00 - 07.00	1374.233	Cerah
	07.00 - 08.00	1488.753	Cerah
	11.00 - 12.00	1603.272	Cerah
	12.00 - 13.00	1603.272	Mendun g
	16.00 - 17.00	1259.714	Mendun g
	17.00 - 18.00	801.636	Mendun g
Sabtu (22/2/2025)	06.00 - 07.00	1488.753	Cerah
	07.00 - 08.00	1145.194	Mendun g
	11.00 - 12.00	1603.272	Mendun g
	12.00 - 13.00	916.155	Mendun g
	16.00 - 17.00	687.117	Hujan
	17.00 - 18.00	687.117	Hujan
Minggu (23/2/2025)	06.00 - 07.00	1717.791	Cerah
	07.00 - 08.00	1374.233	Cerah
	11.00 - 12.00	1259.714	Cerah
	12.00 - 13.00	687.117	Mendun g
	16.00 - 17.00	1030.675	Hujan
	17.00 - 18.00	687.117	Hujan

Nilai Konversi CO

$$\begin{aligned} \text{C} &= 12 & \text{O} &= 16 \\ \text{CO} &= 28 & 1 \text{ Molar Gas} &= 24.45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi } (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= \text{Konsentrasi (ppm)} \times \frac{M \times 100}{\text{Molar Gas}} \\ &= 12 \text{ PPM} \times \frac{28 \times 100}{24.45} \\ &= 1374,23 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4.15 Standar Konversi ISPU, Molekul CO

ISPU	24 Jam Karbon monoksida (CO) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0 - 50	4000
51 - 100	8000
101 - 200	15000
201 - 300	30000
> 300	45000

(Sumber : (Indeks Standar Pencemaran Udara) ISPU, 2020)

Perhitungan ISPU (CO)

$$I = \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) + I_b$$

Keterangan :

I_a = ISPU batas atas kategori baik X_a = 4000

I_b = ISPU batas bawah kategori baik X_b = 0

X_x = (Hasil Rata-Rata pengukuran CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)) = 1355,147

$$I = \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) + I_b$$

$$I = \frac{(50 - 0)}{(4000 - 0)} (1355,147 - 0) + 0$$

$$= 16.939$$

Konsentrasi CO yang terdeteksi di lokasi pengamatan mempunyai konsentrasi yang masih dibawah ambang batas baku mutu dengan hasil ISPU . Konsentrasi ini masih berada di bawah ambang batas baku mutu ISPU sebesar 1 – 50 dengan kategori **BAIK**, dan untuk mengetahui skala kualitas lingkungannya dapat dilakukan analisis dengan standar ISPU menggunakan data Carbon Monoksida (CO) yang tertinggi.

4.3.1 Nitrogen Dioksida (NO₂)

Tabel 4.16 Analisa perhitungan emisi NO₂ untuk hasil survey yang dilakukan selama Workday dan Weekday

Hari	Periode Waktu (WIB)	NO ₂ (PPM)	NO ₂ µg/m ³
Senin (25/2/2025)	06.00 - 07.00	0.3	56.442
	07.00 - 08.00	0.10	18.814
	11.00 - 12.00	0.12	22.577
	12.00 - 13.00	0.7	131.697
	16.00 - 17.00	0.4	75.256
	17.00 - 18.00	0.2	37.628
Selasa (24/2/2025)	06.00 - 07.00	0.2	37.628
	07.00 - 08.00	0.7	131.697
	11.00 - 12.00	0.6	112.883
	12.00 - 13.00	0.2	37.628
	16.00 - 17.00	0.2	37.628
	17.00 - 18.00	0.2	37.628
Sabtu (22/2/2025)	06.00 - 07.00	0.3	56.442
	07.00 - 08.00	0.7	131.697
	11.00 - 12.00	0.6	112.883
	12.00 - 13.00	0.7	131.697
	16.00 - 17.00	0.4	75.256
	17.00 - 18.00	0.2	37.628
Minggu (23/2/2025)	06.00 - 07.00	0.2	37.628
	07.00 - 08.00	0.4	75.256
	11.00 - 12.00	0.7	131.697
	12.00 - 13.00	0.3	56.442
	16.00 - 17.00	0.2	37.628
	17.00 - 18.00	0.2	37.628

(Sumber : Hasil Survey)

Nilai Konversi NO₂

$$N = 14 \qquad O_2 = 16 \times 2 = 32$$

$$NO_2 = 46 \qquad 1 \text{ Molar Gas} = 24.45$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi } (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= \text{Konsentrasi (ppm)} \times \frac{M \times 100}{\text{Molar Gas}} \\ &= 0.2 \text{ PPM} \times \frac{46 \times 100}{24.45} \\ &= 37,628 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4.17 Standar Konversi ISPU, Molekul NO₂

ISPU	24 Jam Nitrogen Dioksida (NO ₂) μg/m ³
0 - 50	4000
51 - 100	8000
101 - 200	15000
201 - 300	30000
> 300	45000

(Sumber : (Indeks Standar Pencemaran Udara) ISPU, 2020)

4.3.2 Model Hubungan Kinerja Lalu Lintas Dan Kualitas Udara

Tabel 4.18 Rekapitulasi Analisis Korelasi nilai CO dan Tundaan pada simpang
Soekarno Hatta hari Selasa 25, Feb 2025

N o	Nama Jalan	Periode Waktu	Nilai Tundaan (X)	Nilai Emisi CO (Y)	X2	y2	(X.Y)
1	Keseluruhan Simpang Tiga Jembatan Soekarno Hatta	06.00 - 07.00	98.23	1374.233	9648.73	1888516.692	134988.08
2		07.00 - 08.00	98.23	1488.753	9648.73	2216384.174	146237.09
3		11.00 - 12.00	64.66	1603.272	4180.49	2570481.054	103662.33
4		12.00 - 13.00	64.66	1603.272	4180.49	2570481.054	103662.33
5		16.00 - 17.00	92.06	1259.714	8475.01	1586878.610	115969.01
6		17.00 - 18.00	92.06	801.636	8475.01	642620.263	73798.46
Total			417.83	7329.24	36133.45	10832741.58	604518.84

Perhitungan hasil uji korelasi (r) Nilai CO dan Nilai Tundaan :

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}}$$

$$r = \frac{6 \times 604518.84 - 417.83 \times (7329.24)}{\sqrt{\{6 \times 36133.45 - (417.83)^2\} \times \{6 \times 10832741.58 - (10832741.58)\}}}$$

$$r = 0,67471$$

Total nilai korelasi berdasarkan indeks CO dan Tundaan pada Simpang Soekarno Hatta adalah 0,67471 . Maka hubungan korelasi tersebut masuk ke dalam hubungan korelasi **kuat**.

Sedangkan nilai R² (koefisien determinasi) pada **Gambar 4.7** sebesar :

$$R^2 = 0,45524$$

$$r = \sqrt{0,67471} = 0,45524$$

Perhitungan persamaan linear Nilai CO dan Nilai Tundaan menggunakan rumus regresi :

$$Y = a + bX$$

Mencari nilai a :

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

$$= \frac{(7329.24) \times (36133.45) - (417.83) \times (604518.84)}{6 \times (36133.45) - (417.83)^2}$$

$$= 285,692$$

Mencari nilai b :

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

$$= \frac{6 \times (103662.33) - (64.66) \times (1603.27)}{6 \times (4180.49) - (64.66)^2}$$

$$= 24.7967$$

Jadi dapat dibuat persamaan garis regresinya :

$$Y = 285,692x + 24,7967$$

Keterangan :

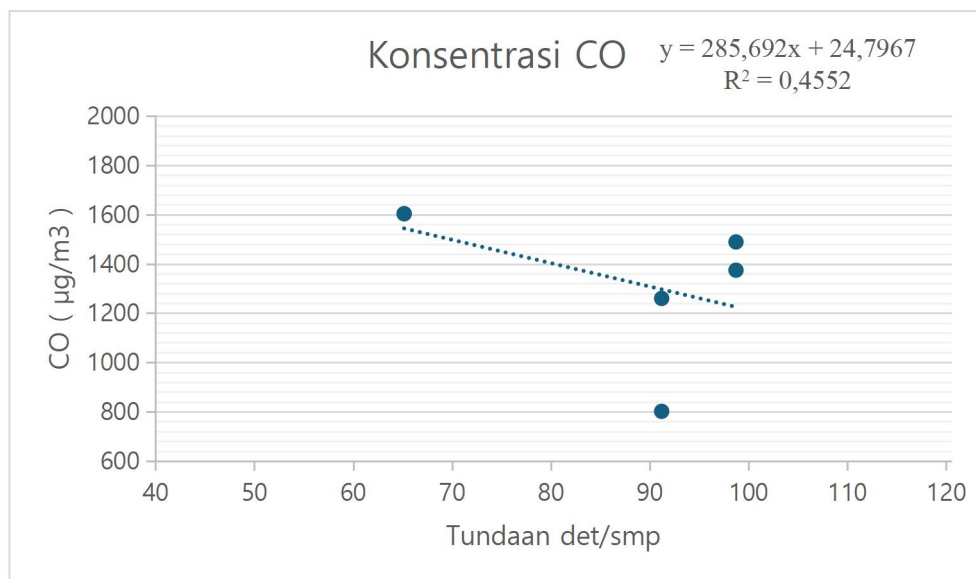
$$Y = \text{CO } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

$$X = \text{Tundaan (det/smp)}$$

$$a = 290.038 \text{ (konstanta)}$$

$$b = \text{(koefisien regresi)}$$

Dari perhitungan uji korelasi Nilai CO dan Nilai Tundaan diatas didapat grafik model hubungan seperti di bawah ini :



Gambar 4.10 Grafik konsentrasi CO Terhadap tundaan

Berdasarkan hasil analisa data pengamatan di lapangan serta model korelasi , diketahui Tundaan (X) bernilai 98.23 det/smp dan CO (Y) bernilai 1374.233 µg/m³. Grafik diatas, bisa dicermati bahwa konsentrasi CO terhadap tundaan mempunyai (r) bernilai 0,8214, pada contoh korelasi

konstanta (a) bernilai 285,692 dan koefisien regresi (b) bernilai 24.7967. Maka hubungan korelasi tersebut masuk ke pada arah korelasi

4.3.3 Nitrogen Dioksida (NO₂)

Tabel 4.19 Rekapitulasi Analisis Korelasi nilai NO₂ dan Tundaan pada simpang Soekarno Hatta pada hari Selasa, 25 Feb 2025

No	Periode Waktu	Tundaan (X)	Nilai Emisi NO ₂ (Y)	X ²	y ²	(X.Y)
1	06.00 - 07.00	98,23	37,628	9648,73	1415,852	3696,10
2	07.00 - 08.00	98,23	131,697	9648,73	17344,190	12936,36
6	11.00 - 12.00	64,66	112,883	4180,49	12742,670	7298,67
7	12.00 - 13.00	64,66	37,628	4180,49	1415,852	2432,89
11	16.00 - 17.00	90,71	37,628	8227,43	1415,852	3413,04
12	17.00 - 18.00	90,71	37,628	8227,43	1415,852	3413,04
Total		507,18	395,09	44113,30	35750,27	33190,10

(Sumber : Hasil Annalists korelasi)

Perhitungan hasil uji korelasi (r) Nilai NO₂ dan Nilai Tundaan :

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}}$$

$$r = \frac{12 \times -2490.50 \times (214.53)}{\sqrt{\{12 \times 1579.45 - (18788.85)^2\} \times \{12 \times 4065.30 - (214.53)^2\}}}$$

$$r = -0,05955$$

Total nilai korelasi berdasarkan indeks NO₂ dan Tundaan pada simpang Soekarno-Hatta adalah r = -0,05955. Maka hubungan korelasi kualitas udara tersebut tidak berhubungan.

Sedangkan nilai R² (koefisien determinasi) sebesar :

$$R^2 = 0,0035$$

$$r = \sqrt{0,0035} = -0,05955$$

Perhitungan persamaan linear Nilai NO₂ dan Nilai Tundaan menggunakan rumus regresi :

$$Y = aX + b$$

Mencari nilai a :

$$\begin{aligned} a &= \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \\ &= \frac{(214.53) \times (1579.45) - (137.07) \times (2490.50)}{12 \times (1579.45) - (137.07)^2} \\ &= 79,944 \end{aligned}$$

Mencari nilai b :

$$\begin{aligned} b &= \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \\ &= \frac{12 \times (2490.50) - (137.07) \times (214.53)}{12 \times (1579.45) - (137.07)^2} \\ &= -0,1668 \end{aligned}$$

Jadi dapat dibuat persamaan garis regresinya :

$$Y = 79,944X - 0,1668$$

Keterangan :

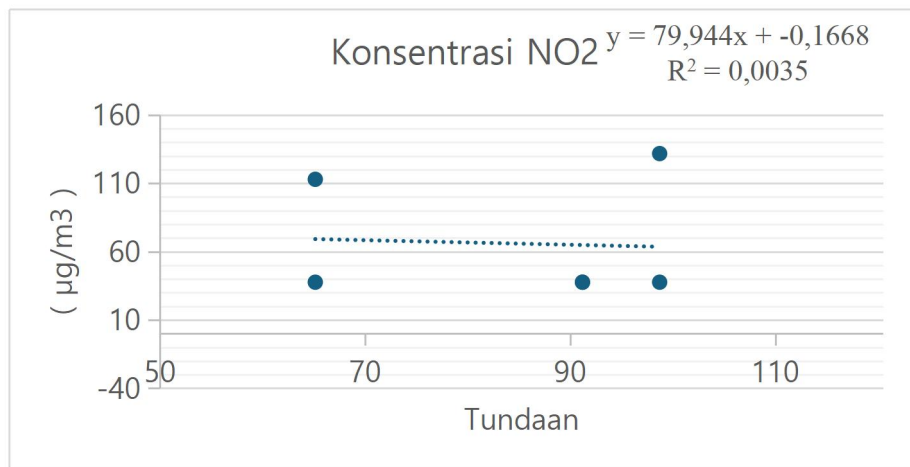
$$Y = \text{NO}_2 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}$$

$$X = \text{Tundaan (det/smp)}$$

$$a = \text{(konstanta)}$$

$$b = \text{(koefisien regresi)}$$

Dari perhitungan uji korelasi Nilai NO₂ dan Nilai Tundaan diatas didapat grafik model hubungan seperti di bawah ini :



Gambar 4.11 Grafik konsentrasi NO₂ Terhadap tundaan

Berdasarkan hasil analisa data pengamatan di lapangan serta model korelasi , diketahui Tundaan (X) bernilai 98,23 det/smp dan NO₂ (Y) bernilai 37,628 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Grafik diatas, bisa dicermati bahwa konsentrasi NO₂ terhadap tundaan mempunyai (r) bernilai -0,05955, dan R² bernilai 0,0035 pada dapat contoh korelasi kontanta (a) bernilai 79,9441 dan koefisien regresi (b) bernilai -0,1668. Maka hubungan korelasi tesebut tidak berhubungan.

Tabel 4.20 Rekapitulasi Analisis Korelasi nilai NO₂ dan Tundaan pada simpang Soekarno Hatta pada hari Selasa, 25 Feb 2025

No	Periode Waktu	Tundaan (X)	Nilai Emisi NO2 (Y)	X ²	y ²	(X.Y)
1	06.00 - 07.00	98,23	37,628	9648,73	1415,852	3696,10
2	07.00 - 08.00	98,23	131,697	9648,73	17344,190	12936,36
6	11.00 - 12.00	64,66	112,883	4180,49	12742,670	7298,67
7	12.00 - 13.00	64,66	37,628	4180,49	1415,852	2432,89
11	16.00 - 17.00	90,71	37,628	8227,43	1415,852	3413,04
12	17.00 - 18.00	90,71	37,628	8227,43	1415,852	3413,04
Total		507,18	395,09	44113,30	35750,27	33190,10

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan data pada simpang tiga Dari hasil evaluasi kinerja simpang kondisi eksisting dan hasil perhitungan diperoleh kesimpulan :

1. Setelah dilakukan analisis kinerja pada simpang, kondisi eksisting lalu lintas didapatkan nilai derajat kejenuhan tertinggi : (Dj) sebesar 1,56 , Tundaan (T) tertinggi sebesar 152,53 det/smp dengan tingkat pelayanan F

Dari analisa kinerja selama empat hari diperoleh rata rata Dj = 1,00 - 1,56 dimana tingkat pelayanan tidak sesuai dengan ketentuan dalam PKJI 2023 dimana nilai Dj yang memenuhi standar adalah $\leq 0,85$ dan ketentuan dalam peraturan menteri No. 96 Tahun 2015 dengan tingkat pelayanan C dianggap bahwa simpang masih mempunyai tingkat pelayanan yang belum mencukupi.

2. Dari hasil analisa dan kondisi eksisting didapat rata rata variabel Kualitas udara dengan nilai CO : $16,939 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan NO₂ : $37,628 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari hasil analisa kualitas udara menurut Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) 2020 masih dibawah ambang batas baku mutu dengan nilai ISPU untuk rentang 1-50 dengan kategori BAIK.

Karena di lokasi studi sedang terjadi hujan maka kualitas udara pada saat tundaan jam puncak tidak tinggi.

3. Didapat model hubungan tingkat kemacetan terhadap kualitas udara di simpang APILL Soekarno-Hatta sebagai berikut : Untuk parameter CO = $285,692x + 24,7967$ dan Variabel CO memiliki korelasi (r) = 0.6747 terhadap Tundaan yang berarti hubungan korelasi tersebut masuk kedalam hubungan korelasi kuat. Untuk parameter NO₂ = $79,944x + -0,1668$ dan Variabel NO₂ memiliki korelasi (r) = -0,05955 terhadap Tundaan yang berarti hubungan korelasi tersebut tidak berhubungan. Yang berarti Tundaan lalu lintas berperan dalam tingkatan polusi CO dan NO₂ di jam sibuk.

4. Solusi alternatif untuk Kinerja Simpang adalah dengan melakukan Optimasi Waktu Siklus, dimana hasil DJ (Derajat Kejenuhan) serta Tundaan setelah dilakukan Optimasi telah memenuhi standar PKJI 2023 $\leq 0,85$ dan Total Tundaan sebesar 22 detik yang dimana memenuhi LOS/Tingkat Pelayanan Simpang yaitu C 15-25 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan Hasil Analisis dari survey yang dilakukan, berikut merupakan Saran dari hasil studi yang dilakukan :

1. Solusi Alternatif Perlu dilakukan adalah Pengaturan Ulang Waktu Siklus untuk mengurangi panjang antrian kendaraan sehingga waktu tundaan kendaraan pada simpang tiga dapat berkurang.
2. Bagi Studi kasus Selanjutnya, diharapkan menggunakan persamaan dan perbandingan yang lebih bervariasi dan menambahkan faktor pembanding yang lebih spesifik seperti Perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dan Penggunaan aplikasi (VISSIM) studi kasus di simpang tiga ini agar tidak terbatas pada pengaruh Tundaan dan dampak Kualitas Udara.

DAFTAR PUSTAKA

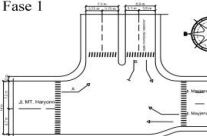
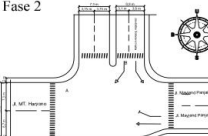
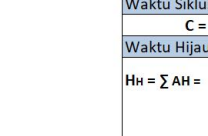
- Agung, S. L., Sa'dillah, M., & Primasworo, R. A. (2023). *Analisis kinerja simpang tak bersinyal di Kota Malang (Studi kasus Jalan S. Supriadi–Jalan Satsui Tubun Kecamatan Sukun)*. Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur), 6, D2-1. Penerbit: Panitia/penyelenggara Seminar SENTIKUIN.
- Anonym. (1993). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 1993 tentang Prasarana Lalu Lintas*. Penerbit: Pemerintah Republik Indonesia.
- Fauzan, M. K., Sebayang, N., & Surbakti, D. S. (2024). *Analisa hubungan antara kemacetan dan pencemaran udara Kota Malang*. *Student Journal GELAGAR*, 2(1). Penerbit: Program/Jurusan penerbit Student Journal GELAGAR.
- Mahardika, H. Y. (2024). *Model hubungan tingkat kinerja simpang dengan kualitas udara (Studi kasus di dua simpang berdekatan Jalan Ranugrati Kota Malang)*. *Skripsi. Institut Teknologi Nasional Malang*. Penerbit: Institut Teknologi Nasional Malang.
- Morlok, E. K. (1991). *Pengantar teknik dan perencanaan transportasi (Introduction to transportation engineering and planning)*. Jakarta: Erlangga. Penerbit: Erlangga.
- Nurmaya, E. M., Murti, S. H., & Nurjani, E. (2024). *Kajian pencemaran lingkungan terhadap kesehatan masyarakat akibat gas buangan CO kendaraan bermotor di kawasan Universitas Gadjah Mada*. *Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia*, 5(1). Penerbit: Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.
- Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Penerbit: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga.

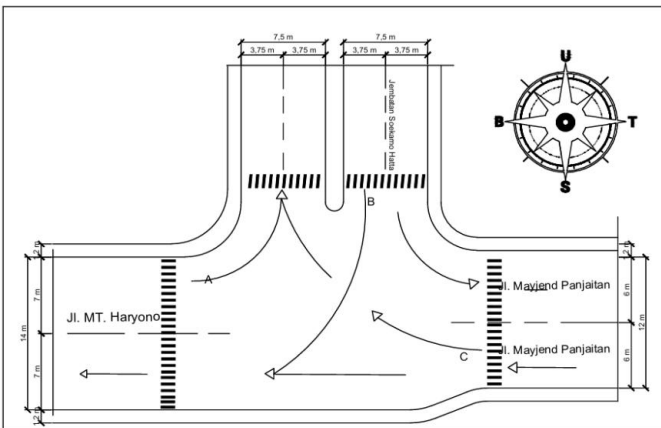
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). (2020). Penerbit: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/163466/permen-lhk-no-14-tahun-2020>
- Ramzy, M., Rahardjo, B., & Supriyanto, B. (2024). Analisis kinerja simpang bersinyal di Kota Malang menggunakan PKJI 2023 (Studi kasus: Simpang Dieng Malang). *Jurnal Inovasi Teknologi dan Edukasi Teknik*, 4(7). Penerbit: Universitas Negeri Malang (UM).

LAMPIRAN

Formulir SIG 1 Perhitungan Kapasitas Simpang APILL

SIMPANG APILL DATA : GEOMETRIK PENGATURAN LALU LINTAS LINGKUNGAN	Hari/Tanggal : Sabtu, 7 Juni 2025 Kota : Malang Simpang : Simpang Tiga Soekarno Hatta Ukuran Kota : < 1 jiwa penduduk Perihal : Periode :	
---	--	--

Fase 1 	Fase 2 	Fase 3 	Fase 4 	Waktu Siklus, C C = 80 detik Waktu Hijau Hilang Total, H _H H _H = Σ AH = 3 detik
H = AH =	H = AH =	H = AH =	H = AH =	H = Waktu Hijau AH = Waktu Antar Hijau

Sketsa Simpang


Kondisi Lapangan										
Kode Pendekat	Tipe Lingkungan Jalan	Kelas Hambatan T (tinggi)/R (rendah)	Median : A (ada)/ T (tidak)	Kelandaian Pendekat : + (nanjak)/ - (turun) %	BKJ/T Y(ada) atau T (tidak)	Jarak Ke kendaraan Parkir Pertama	Lebar Pendekat			
							Pada Lajur Awal	Pada Garis Henti	Pd Lajur Belok Kiri	Pada Lajur Keluar
							L (m)	LH (m)	LBKJ/T (m)	LK (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
U	KOM	R	T	0	Y	0	7,50	3,75	3,75	7,50
B	KOM	R	T	0	Y	0	14,00	14,00	7,3	14,00
T	KOM	R	T	0	T	0	12,00	12,00	0,0	12,00

FORMULIR SIS II : TABEL ARUS LALU LINTAS																			
SIMPANG APILL		Tanggal : Sabtu, 22 Februari 2025 Kota : Malang Simpang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta Ukuran Kota : < 1 jiwa penduduk Perihal : Periode : Pagi																	
Kode Pendekat	Arah	KENDARAAN BERMOTOR												KENDARAAN TAK BERMOTOR					
		qSM ekr Terlindung = 0,15 ekr Terlawan = 0,4				qKR ekr Terlindung = 1 ekr Terlawan = 1				qKB ekr Terlindung = 1,3 ekr Terlawan = 1,3				QKBM Total Arus Kendaraan Bermotor		RBKI Rasio belok ke kiri	RBKa Rasio belok ke kanan	QKTB Arus kendaraan tak bermotor Kend/jam	RKTB Rasio QKBR terhadap (QKTB + QKBM)
		kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam	kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam	kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam	kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam	kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
U	Bki/BKJT	1037	155,55	0	450	450	0	15	19,5	0	1502	625,1	0,0	0,50			15		
	Kanan	914	0,00	366	287	0	287	4	0	5,2	1205	0,0	657,8			0,50	16		
	Total	1951	156	366	737	450	287	19	19,5	5,2	2707	625	658				31	0,011	
B	Bki/BKJT	956	0,0	382,4	333	0	333	6	0,0	7,8	1295	0	723,2			1,00	16		
	Total	956	0	382	333	0	333	6	0	8	1295	0	723				16	0,012	
	Lurus	198	0,00	79,2	287	0,00	287	6	0,00	7,80	1284	0,0	374,0				16		
T	Bka	991	0,00	396,4	287	0,00	287	5	0,00	6,50	1481	0,0	689,9			0,65	17		
	Total	1189	0	476	574	0	574	11	0	14	2765	0	1064				33	0,012	
		0,720724049	0,272257111	0,0070188		0,738223938	0,2571429	0,0046332		0,430018083	0,207595		0						

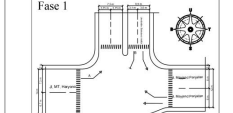
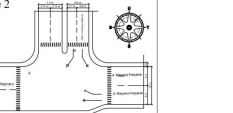
FORMULIR SIS II : TABEL ARUS LALU LINTAS																			
SIMPANG APILL			Tanggal : Sabtu, 22 Februari 2025																
			Kota : Malang																
ARUS LALU LINTAS			Simpang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta																
			Ukuran Kota : < 1 jiwa penduduk																
			Perihal :																
			Periode : Siang																
			KENDARAAN BERMOTOR													KENDARAAN TAK BERMOTOR			
			qSM ekr Terlindung = 0,15 ekr Terlawan = 0,4			qKR ekr Terlindung = 1 ekr Terlawan = 1			qKB ekr Terlindung = 1,3 ekr Terlawan = 1,3			QKBM Total Arus Kendaraan Bermotor			RBKi	RBKa	QKTB Arus kendaraan tak bermotor Kend/jam	RKTb Rasio QKBR terhadap (QKTB + QKBM)	
Arah	kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam	kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam	kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam	kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam	kend/jam	Terlindung SMP/Jam	Terlawan SMP/Jam	Rasio belok ke kiri	Rasio belok ke kanan		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
U	Bki/BKJT	1255	188,25		545	545	0	17	22,1	0	1817	755,35	0	0,50			3		
	Kanan	936		374,40	482	0	482	9	0	11,7	1427	0	868,10		0,50	4			
	Total	2191	188	374	1027	545	482	26	22	12	3244	755	868			7	0,002		
B	Bki/BKJT	978	0,0	391,2	442	0	442	11	0,0	14,3	1431	0,0	847,5		1,00	6			
	Total	978	0	391	442	0	442	11	0	14	1431	0	848			6	0,004		
	Lurus	506	0,0	202,4	417	0	417	11	0,0	14,3	934	0,0	633,7	0,42		6			
T	Bka	1006	0,0	402,4	462	0	462	12	0,0	15,6	1480	0,0	880,0		0,58	6			
	Total	1512	0	605	879	0	879	23	0	30	2414	0	1514			12	0,005		

FORMULIR SIS II : TABEL ARUS LALU LINTAS																			
SIMPANG APILL			Tanggal : Sabtu, 22 Februari 2025																
			Kota : Malang																
			Simpang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta																
			Ukuran Kota : < 1 jiwa penduduk																
			Perihal :																
ARUS LALU LINTAS			Periode : Sore																
Kode Perekat	Arah	KENDARAAN BERMOTOR															KENDARAAN TAK BERMOTOR		
		qSM ekr Terlindung = 0,15 ekr Terlawan = 0,4				qKR ekr Terlindung = 1 ekr Terlawan = 1			qKB ekr Terlindung = 1,3 ekr Terlawan = 1,3			QKBM Total Arus Kendaraan Bermotor			RBKi Rasio belok ke kiri	RBKa Rasio belok ke kanan	QKTB Arus kendaraan tak bermotor Kend/jam	RKTb Rasio QKBR terhadap (QKTB + QKBM)	
		kend/jam	Terlindung	Terlawan	kend/jam	Terlindung	Terlawan	kend/jam	Terlindung	Terlawan	kend/jam	Terlindung	Terlawan	kend/jam	Terlindung	Terlawan			
			SMP/Jam	SMP/Jam		SMP/Jam	SMP/Jam		SMP/Jam	SMP/Jam		SMP/Jam	SMP/Jam		SMP/Jam	SMP/Jam			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
U	Bki/BKJT	1216	182		512	512	0	3	4		1731	698	0	0,50			0		
	Kanan	967	0	387	445	0	445	1	0	1	1413	0	833		0,50	2			
	Total	2183	182	387	957	512	445	4	4	1	3144	698	833			2	0,001		
B	Bki/BKJT	706	0	282	545	0	545	6	0	8	1257	0	835		1	0			
	Total	706	0	282	545	0	545	6	0	8	1257	0	835			0	0,000		
	Lurus	413	0	165	515	0	515	4	0	5	932	0	685	0,37		4			
T	Bka	824	0	330	824	0	824	4	0	5	1652	0	1159		0,63	2			
	Total	1237	0	495	1339	0	1339	8	0	10	2584	0	1844			6	0,002		

FORMULIS SIS III : PENENTUAN WAKTU ANTAR HIJAU DAN WAKTU HILANG								
SIMPANG APILL		Tanggal		: Sabtu, 22 Februari 2025				
		Kota		: Malang				
WAKTU ANTAR HIJAU WAKTU HILANG		Simpang		: Tiga Jembatan Soekarno Hatta				
		Ukuran Kota		: < 1 juta jiwa				
		Perihal		:				
		Periode		:				
LALU LINTAS BERANGKAT		LALU LINTAS DATANG						Msemua
Kode Pendekat	Kecepatan Berangkat VKB, m/detik	Kode Pendekat		U	T	B		
		Kecepatan datang, VKD, m/detik		10	10	10	(detik)	
U	10	Jarak berangkat, LKB + PKBR, m		15,73				
		Jarak datang, LKD, m		15,29			1	
T	10	Jarak berangkat, LKB + PKBR, m			24,24			
		Jarak datang, LKD, m			10,78		2	
B	10	Jarak berangkat, LKB + PKBR, m						
		Jarak datang, LKD, m						
Catatan :								
					Fase 1 → Fase 2		1	
					Fase 2 → Fase 1		2	
					WKsemua fase (3 detik per		6	
$w_{MS} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}} \\ \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \end{array} \right.$					W _{HT} = Σ(W _{MS} + W _K) _{SEMA FASE} (detik/siklus)		9	

$$w_{MS} = \max \left\{ \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}}, \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \right\}$$

SIMPANG APILL										FORMULIR SIS IV : PENENTUAN WAKTU SINYAL DAN KAPASITAS																
PENENTUAN WAKTU ISYARAT DAN KAPASITAS										Hari/Tanggal Kota Simpang Ukuran Kota					: Sabtu, 22 Februari 2025 : Malang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta : < 1 Juta Jiwa					Perihal : Periode : Pagi						
										Fase 1										Fase 2						
Distribusi Arus Lintas (smp/jam)																										
Kode Pendekat	Hijau Dalam Fase	Tipe Pendekat	Rasio Arus Belok			Arus Belok Kanan qBKa		Lebar Efektif (m)	Arus Jenuh Dasar So (skr/jam)	Arus Jenuh kend/jam hijau							Nilai Disesuaikan kend/jam hijau	Arus Lulu Lintas (skr/jam)	Rasio Arus Rqs	Rasio Fase Rr	Waktu Hijau (detik)	Kapasitas (skr/jam)	Derajat Kejenhuan			
			RBKJIT	RBKI	RBKa	Dari arah ditinjau skr/jam	Dari arah berlawanan skr/jam			Faktor-faktor Penyesuaian																
										Semua Tipe Pendekat														Hanya Tipe P		
										Hambatan Sampling	Kelandaan	Parkir	Belok Kanan	Belok Kiri	FLT	S								Q		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	FHS	FG	FP	FBKa	FLT	S	Q	Q/S	FR	WH	C	Q/C				
U	1	O	0,50	0,00	0,50	0,00	658	7,50	4500	0,94	0,95	1	1	1,13	0,92	4177,63	1283	0,31	0,57	45	1042,80	1,23				
B	2	O	1,00	0,00		0,00	0	14,00	8400	0,94	0,95	1	1	1,26	1,00	9451,51	723	0,08	0,14	90	4718,48	0,15				
T	3	O			0,65	0,00	690	12,00	7200	0,94	0,95	1	1	1,17	0,90	6734,06	1064	0,16	0,29	36	1344,74	0,79				
Waktu Hilang Total, HH Total (detik)			9		Waktu Siklus Pra Penyesuaian - Cbs (detik)						180									RQ/S = Σ RQ/S		0,54				

FORMULIR SIS IV : PENENTUAN WAKTU SINYAL DAN KAPASITAS																							
SIMPANG APILL PENENTUAN WAKTU ISYARAT DAN KAPASITAS			Hari/Tanggal Kota Simpang Ukuran Kota								: Sabtu, 22 Februari 2025 : Malang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta : < 1 Juta Jiwa								Perihal Periode				
			Fase 1								Fase 2												
Distribusi Arus Lahu Lintas (smp/jam)																							
Kode Pendekat	Hijau Dalam Fase	Tipe Pendekat	Rasio Arus Belok			Arus Belok Kanan qBKa		Lebar Efektif (m)	Arus Jenuh Dasar So skr/jam	Arus Jenuh kend/jam hijau							Nilai Disesuaikan kend/jam hijau	Arus Lahu Lintas (skr/jam)	Rasio Arus Rqs	Rasio Fase Rr	Waktu Hijau (detik)	Kapasitas (skr/jam)	Derajat Kejenhuan
			RBKJIT	RBKi	RBKa	Dari arah ditinjau skr/jam	Dari arah berlawanan skr/jam			Faktor-faktor Penyesuaian													
										Semua Tipe Pendekat			Hanya Tipe P										
										Ukuran Kota	Hambatan Sampling	Kelandaian	Parkir	Belok Kanan	Belok Kiri	FLT	S	Q	Q/S	PR	H	C	Q/C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	FHS	FG	FP	FBKa	FLT	S	Q	Q/S	PR	H	C	Q/C	
U	1	O	0,50		0,50	0,00	848	7,50	4500	0,94	0,95	1	1	1,13	0,92	4177,63	1623	0,39	0,72	45	1042,801161	1,56	
B	2	O	1,00	0,00		0,00	0	14,00	8400	0,94	0,95	1	1	1,26	1,00	9451,51	848	0,09	0,13	90	4718,484671	0,18	
T	3	O		0,00	0,58	0,00	880	12,00	7200	0,94	0,95	1	1	1,15	1,00	7401,45	1514	0,20	0,38	36	1478,012751	1,02	
Waktu Hilang Total, HH Total (detik)			9	Waktu Siklus Pra Penyesuaian - Cbs (detik)							180								RQ/S = $\sum \frac{RQ}{S}$		0,68		
				Waktu Siklus Disesuaikan - c (detik)							180												

FORMULIR SIS IV : PENENTUAN WAKTU SINYAL DAN KAPASITAS																												
SIMPANG APILL PENENTUAN WAKTU ISYARAT DAN KAPASITAS						Hari/Tanggal Kota Simpang Ukuran Kota						Perihal Periode																
						: Sabtu, 22 Februari 2025 : Malang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta : < 1 Juta Jiwa						: Sore																
Distribusi Arus Lahu Lintas (smp/jam)						Fase 1						Fase 2																
Kode Pendekat	Hijau Dalam Fase	Tipe Pendekat	Rasio Arus Belok			Arus Belok Kanan qBKa			Lebar Efektif (m)	Arus Jenuh Dasar So (skr/jam)	Arus Jenuh kend/jam hijau Faktor-faktor Penyesuaian						Nilai Disesuaikan kend/jam hijau	Arus Lahu Lintas (skr/jam)	Rasio Arus Rqs	Rasio Fase Rr	Waktu Hijau (detik)	Kapasitas (skr/jam)	Derajat Kejenhuan					
			RBKJIT	RBKI	RBKa	Dari arah ditinjau skr/jam	Dari arah berlawanan skr/jam	Le	So	FUK	Hambatan Sampling	Kelandaan	Parkir	Belok Kanan	Belok Kiri	S	Q	Q/S	PR	H	C	Q/C						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	FHS	FG	FP	FBKa	FLT	17	18	19	20	21	22	23						
U	1	O	0,50		0,50	0,00	833	7,50	4500	0,94	0,95	1	1	1,13	0,92	4177,63	1531	0,37	0,68	45	1042,801161	1,47						
B	2	O	1,00	0,00		0,00	0	14,00	8400	0,94	0,95	1	1	1,26	1,00	9451,51	835	0,09	0,13	90	4718,484671	0,18						
T	3	O		0	0,63	0,00	1159	12,00	7200	0,94	0,95	1	1	1,16	1,00	7480,01	1844	0,25	0,46	36	1493,699643	1,23						
Waktu Hilang Total, HH Total (detik)			9		Waktu Siklus Pra Penyesuaian - Cbs (detik)						180						RQ/S = Σ RQ/S						0,70					
					Waktu Siklus Disesuaikan - c (detik)						180																	

FORMULIR SIG - V PANJANG ANTRIAN, JUMLAH KENDARAAN TERHENTI DAN TUNDAAN																
SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG V PANJANG ANTRIAN JUMLAH KENDARAAN TERHENTI TUNDAAN				Hari/Tanggal : Sabtu, 22 Februari 2025 Kota : Malang Simpang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta Perihal : Periode : Pagi												
				Jumlah Kendaraan Antri (kend)					Panjang Antrian (m)	Rasio Kendaraan Terhenti	Jumlah Kendaraan Terhenti (det/kend)	Tundaan				
												Tundaan Lalu Lintas Rata-rata det/smp	Tundaan Geometrik Rata-rata det/smp	Tundaan Rata-rata emp/det	Tundaan Total ckr.det	
Kode Pendekat	Arus Lahu Lintas Q	Kapasitas C	Derajat Kejenhuan	Rasio Hijau	NQ1	NQ2	Total NQ1+NQ2 = NQ	NQMAX	PA	RKH	NKH (skr)	TL	TG	T = TL+TG	T x Q	
	Q	C	Dj = Q/C	RH	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
U	1283	1042,80	1,23	0,25	23,5	69,57	93,1	69,57	248,30	1,30	1673	154,53	4,30	158,84	203762	
B	723	4718,48	0,15	0,50	0	19,6	19,2	19,64	27,47	0,48	346	24,16	3,48	27,64	19990	
T	1064	1344,74	0,79	0,20	1	51	51	50,64	85,37	0,87	921	70,12	3,87	73,99	78718	
LTOR (semua)		skr/jam														
Arus Kor. QKOR																
Jumlah Total Kend. Terhenti											2939,56	total tundaan			302469	
Kendaraan Terhenti Rata-rata (henti/skr)											0,96	Tundaan Rata-rata Seluruh Simpang (det/smp)			98,526	
Arus Total QTOT	3069,95	skr/jam														

FORMULIR SIG - V PANJANG ANTRIAN, JUMLAH KENDARAAN TERHENTI DAN TUNDAAN															
SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG V PANJANG ANTRIAN JUMLAH KENDARAAN TERHENTI TUNDAAN				Hari/Tanggal : Sabtu, 22 Februari 2025 Kota : Malang Simpang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta Perihal : Periode : Slang											
Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas Q skr/jam	Kapasitas C skr/jam	Derajat Kejenruhan Dj = Q/C	Rasio Hijau RH	Jumlah Kendaraan Antri (kend)				Panjang Antrian (m)	Rasio Kendaraan Terhenti	Jumlah Kendaraan Terhenti (det/kend)	Tundaan			
					NQ1	NQ2	Total NQ1+NQ2 = NQ	NQMAX				Tundaan Lalu Lintas Rata-rata det/skr	Tundaan Geometrik Rata-rata det/skr	Tundaan Rata-rata det/skr	Tundaan Total ekr.det
	Q	C	Dj = Q/C	RH	6	7	8	9	PA	RKH	NKH (skr)	TT	TG	T = TT+TG	T x Q
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
U	1623	1042,80	1,56	0,25	52	99,78	152	99,78	404,80	1,68	2728	262,61	4,68	267,29	433928
B	848	4718,48	0,18	0,50	0	23,3	23,0	23,35	32,79	0,49	413	24,53	3,49	28,02	23745
T	1514	1478,01	1,02	0,20	8	76	84	76,26	140,51	1,00	1515	92,18	4,00	96,18	145585
LTOR (semua)		skr/jam													
Arus Kor. QKOR															
Arus Total QTOT	3984,65	skr/jam							Jumlah Total Kend. Terhenti	4655,96		total tundaan			603258
									Kendaraan Terhenti Rata-rata (henti/skr)	1,17		Tundaan Rata-rata Seluruh Simpang (det/skr)			151,395

FORMULIR SIG - V PANJANG ANTRIAN, JUMLAH KENDARAAN TERHENTI DAN TUNDAAN															
SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG V PANJANG ANTRIAN JUMLAH KENDARAAN TERHENTI TUNDAAN				Hari/Tanggal : Sabtu, 22 Februari 2025 Kota : Malang Simpang : Tiga Jembatan Soekarno Hatta Perihal : Periode : Sore											
Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas Q skr/jam	Kapasitas C skr/jam	Derajat Kejenruhan Dj = Q/C	Rasio Hijau RH	Jumlah Kendaraan Antri (kend)				Panjang Antrian (m)	Rasio Kendaraan Terhenti	Jumlah Kendaraan Terhenti (det/kend)	Tundaan			
					NQ1	NQ2	Total NQ1+NQ2 = NQ	NQMAX				Tundaan Lalu Lintas Rata-rata det/skr	Tundaan Geometrik Rata-rata det/skr	Tundaan Rata-rata det/skr	Tundaan Total ekr.det
	Q	C	Dj = Q/C	RH	6	7	8	9	PA	RKH	NKH (skr)	TT	TG	T = TT+TG	T x Q
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
U	1531	1042,80	1,47	0,25	44	90,85	135	90,85	360,15	1,59	2427	232,75	4,59	237,33	363450
B	835	4718,48	0,18	0,50	0	23,0	22,6	22,97	32,26	0,49	406	24,49	3,49	27,98	23369
T	1844	1493,70	1,23	0,20	24	98	122	98,10	203,36	1,19	2193	134,27	4,19	138,46	255355
LTOR (semua)		skr/jam													
Arus Kor. QKOR															
Arus Total QTOT	4210,80	skr/jam							Jumlah Total Kend. Terhenti	5025,99		total tundaan			642174
									Kendaraan Terhenti Rata-rata (henti/skr)	1,19		Tundaan Rata-rata Seluruh Simpang (det/skr)			152,506

Solusi Alternatif

Formulir SIG 1 Perhitungan Kapasitas Simpang APILL										
SIMPANG APILL DATA : GEOMETRIK PENGATURAN LALU LINTAS LINGKUNGAN		Hari/Tanggal : Sabtu, 7 Juni 2025 Kota : Malang Simpang : Simpang Tiga Soekarno Hatta Ukuran Kota : < 1 jiwa penduduk Perihal : Periode :								
Fase 1 		Fase 2 		Fase 3		Fase 4		Waktu Siklus, C C = 80 detik Waktu Hijau Hilang Total, H _H H _H = Σ A _H = 3 detik		
H =		H =		H =		H =		H = Waktu Hijau		
A _H =		A _H =		A _H =		A _H =		A _H = Waktu Antar Hijau		
Sketsa Simpang 										
Kondisi Lapangan										
Kode Pendekat	Tipe Lingkungan Jalan	Kelas Hambatan T (tinggi)/R (rendah)	Median : A (ada)/ T (tidak)	Kelandaian Pendekat : + (nanjak)/ - (turun) %	BKUT Y(ada) atau T (tidak)	Jarak Ke kendaraan Parkir Pertama	Lebar Pendekat			
1	2	3	4	5	6	7	Pada Lajur Awal L (m)	Pada Garis Henti LH (m)	Pd Lajur Belok Kiri LBKUT (m)	Pada Lajur Keluar LK (m)
U	KOM		TIDAK		YA	0	7,50	3,75	3,8	7,50
B	KOM		TIDAK		YA	0	14,00	14,00	7,3	14,00
T	KOM		TIDAK		TIDAK	0	12,00	12,00	0,0	12,00

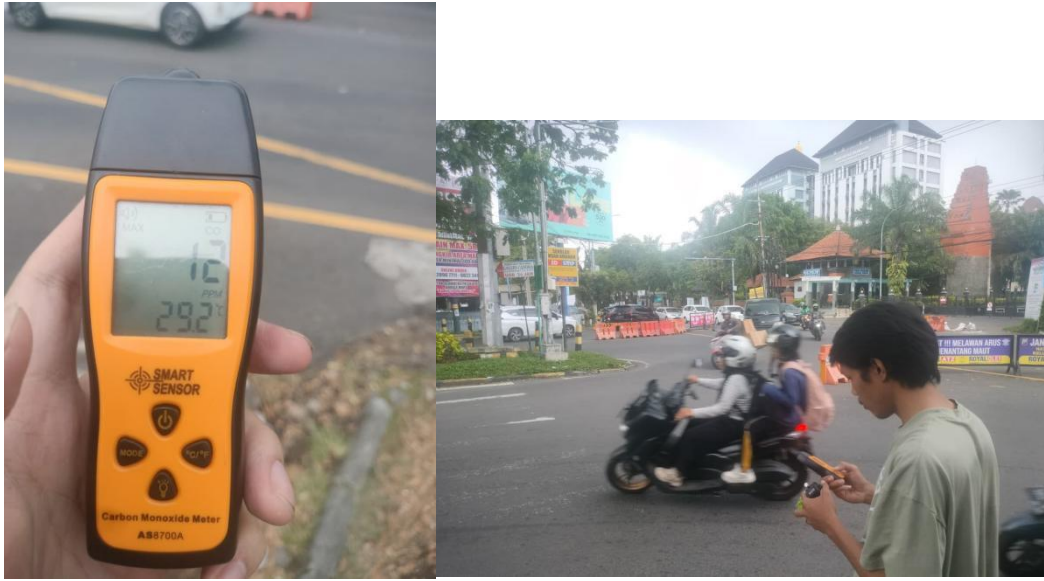
Dokumentasi



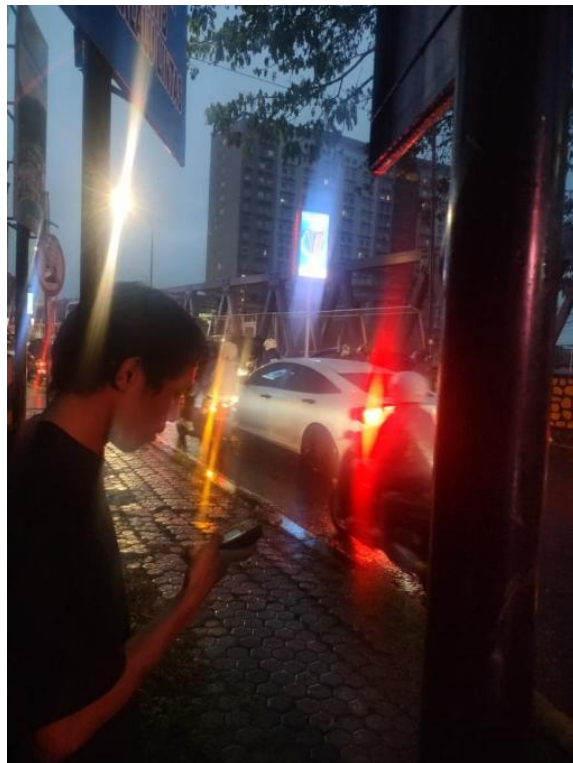
Kemacetan Pada Siang Hari, Hari Sabtu



Survey Volume Kendaraan



Survey Kualitas Udara Hari Sabtu, Surveyor : Yehezkiel & Rhino



Survey Kualitas Udara Hari Minggu



Kondisi Kemacetan pada arus menuju jalan Soekarno Hatta



Survey Kualitas Udara Hari Senin



Survey Volume Kendaraan, Jl. Mayjend Panjaitan - Jl . Mt. Haryono, & Jl.
Mayjend Panjaitan - Soekarno Hatta



Gambar Pengukuran Lebar Jalan menggunakan WIPRO Metering Wheel



Survey Volume Kendaraan, Jl. Mayjend Panjaitan - Jl . Mt. Haryono, & Jl.
Mayjend Panjaitan - Soekarno Hatta



Pengukuran Kualitas Udara Hari Selasa



Survey Volume Kendaraan, Jl. Mt. Haryono- Jl . Soekarno Hatta