

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. Simpang 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 Simpang

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

- Simpang 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

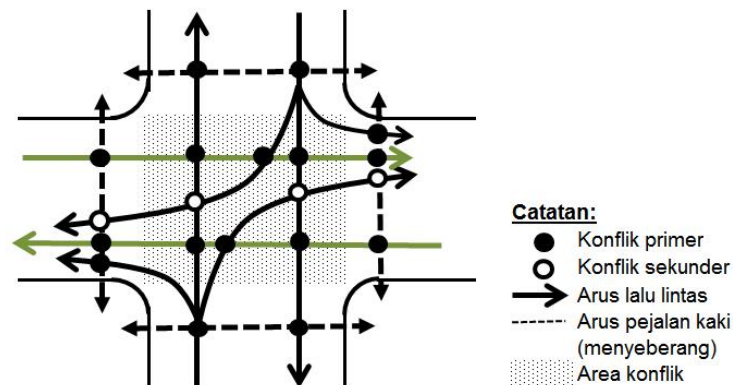
Kode Tipe Simpang	Jumlah Lengan Simpang	Jumlah Lajur Jalan Minor	Jumlah Lajur Jalan Mayor
322	3	2	2
324	3	2	4
422	4	2	2
424	4	2	4

(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, fase untuk masing-masing arah terpisah		
Terlawan (Tipe O)	Arus berangkat konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	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)

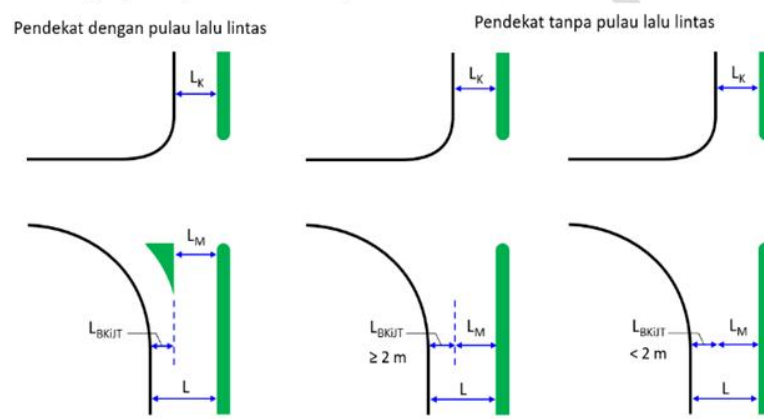
Penentuan lebar pendekat efektif (LE) didasarkan pada beberapa parameter, yaitu:

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:

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

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)

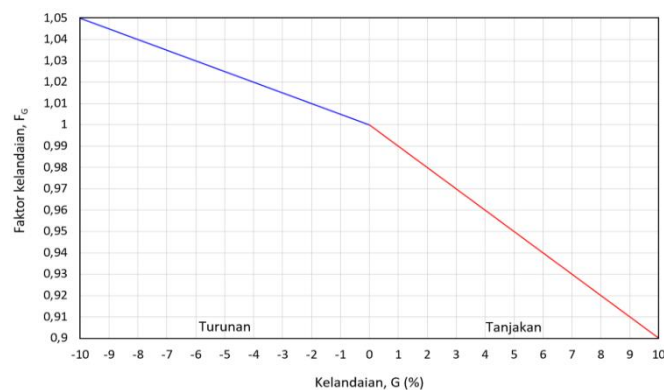
Ukuran Kota	Populasi penduduk, Juta Jiwa	F _{UK}
Sangat kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat Besar	> 3,0	1,05

(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)

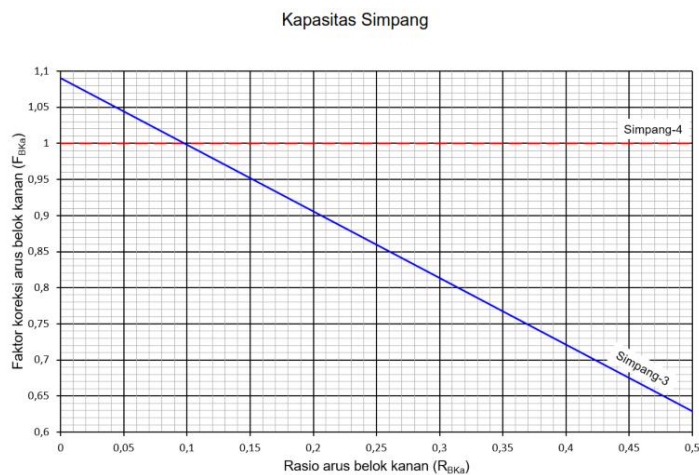
- Faktor koreksi belok kanan (FBKa) :

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)



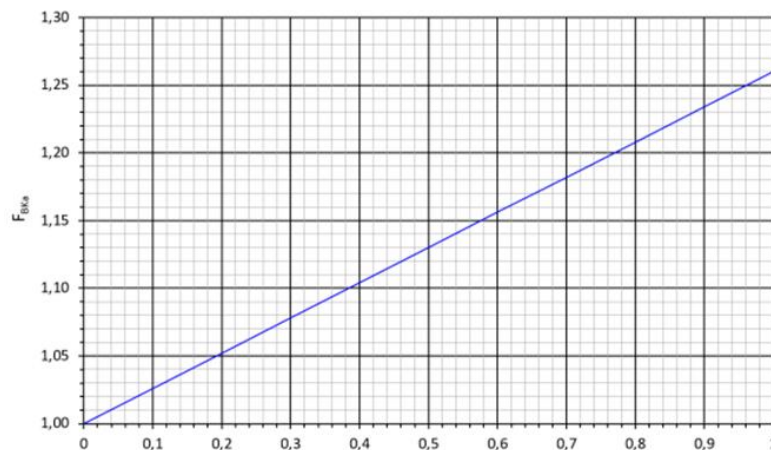
Gambar 2. 5 Faktor koreksi untuk belok kanan (FBKa), pada pendekat tipe P dengan jalan dua arah, dan LE ditentukan oleh LM

(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.

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

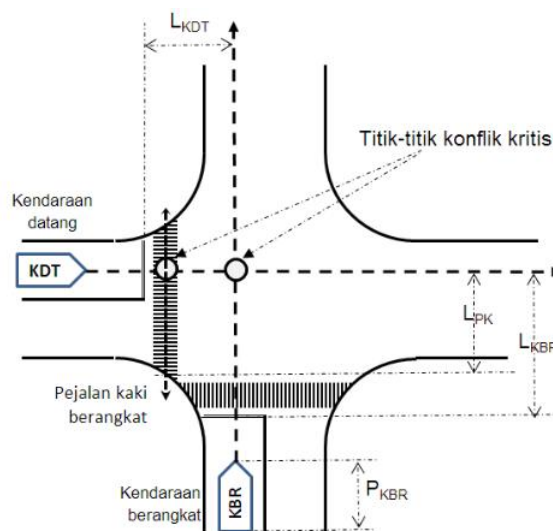
Rumus menghitung rasio fase (R_F) masing-masing fase sebagai rasio antara R_{q/J} Kritis dan R_{AS}

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

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:

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

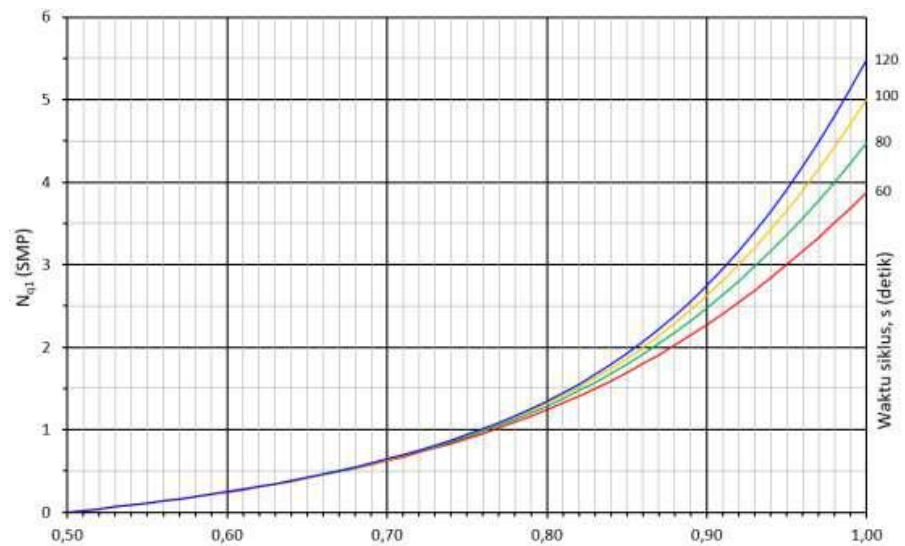
Jika $DJ \leq 0,5$ maka :

$$N_{q1} = 0$$

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

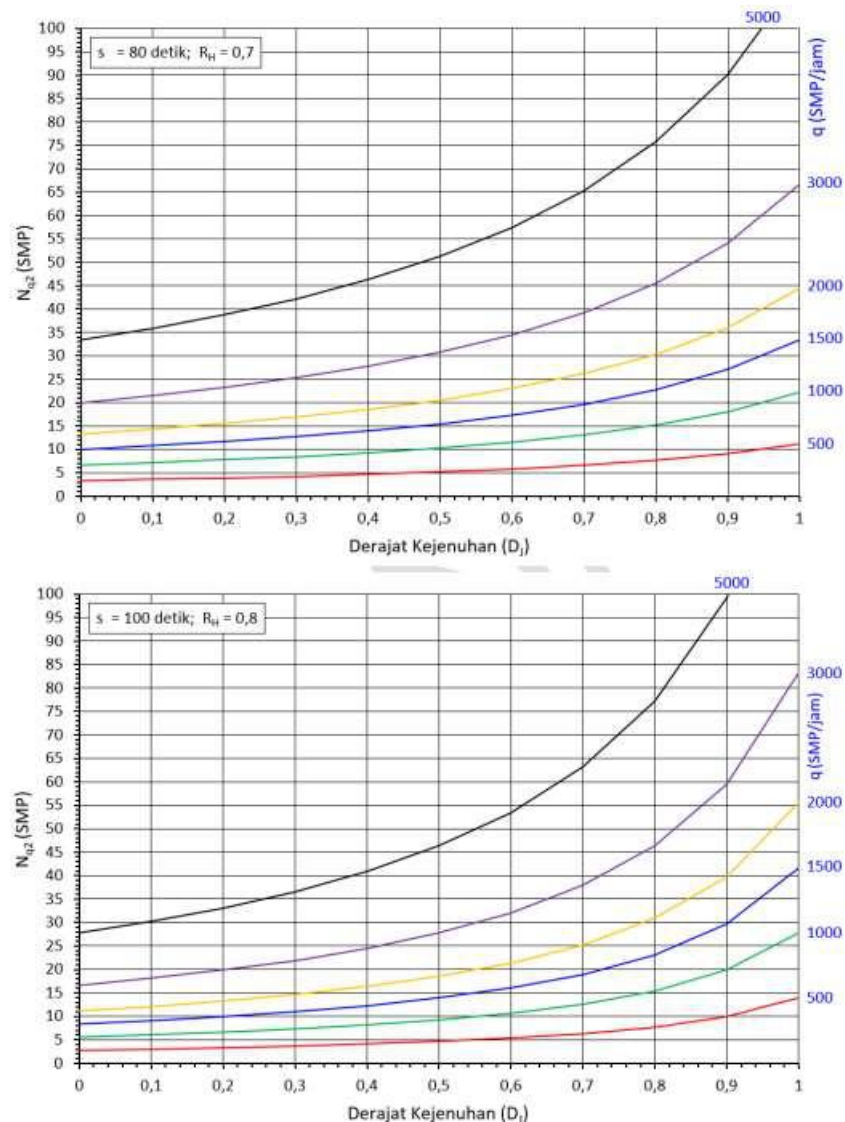
$$N_{q1} = 0,25 \times s \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{s}} \right\} \dots\dots\dots (2.20)$$

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 :

- **N_{q1}** : Jumlah kendaraan terhenti (SMP) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya.
- **N_{q2}** : 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 :

- **N_q** : 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 pendekatan 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 pendekatan 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 Pencemaran 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 Pencemaran 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)

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