Vol. 12 No. 02 Oktober (2026) Halaman Artikel (133-142)

JURNAL TEKNIK SIPIL : RANCANG BANGUN

Website: https://ejournal.um-sorong.ac.id/index.php/rancangbangun

VALIDASI PANJANG ANTRIAN SIMPANG APILL BERDASARKAN PENGUKURAN EMPIRIS DAN PKJI 2023

VALIDATION OF SIGNALIZED INTERSECTION QUEUE LENGTH USING FIELD MEASUREMENTS AND THE 2023 INDONESIAN HIGHWAY CAPACITY GUIDELINES

Etika Herdiarti[1*], Iin Irawati[2], dan Sutik[3]

[(1,2,3)] Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Semarang, Jalan Arteri Soekarno Hatta, Semarang, Indonesia

Abstrak

Panjang antrean merupakan indikator penting untuk mengevaluasi kinerja simpang dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL). Perbedaan antara panjang antrean hasil pengamatan lapangan dan hasil perhitungan menggunakan pedoman kapasitas dapat memengaruhi ketepatan evaluasi kinerja simpang. Penelitian ini bertujuan memvalidasi panjang antrean hasil pengukuran empiris terhadap hasil analisis berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Penelitian dilakukan pada simpang Majapahit dan simpang Soekarno Hatta di Kota Semarang. Data dikumpulkan melalui survei volume lalu lintas, geometri pendekat, waktu sinyal, dan pengukuran panjang antrean pada hari Senin, Rabu, dan Sabtu pukul 16.30–17.30. Analisis dilakukan dengan menghitung arus lalu lintas, kapasitas, derajat kejenuhan, serta panjang antrean berdasarkan PKJI 2023. Validasi menggunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE), dengan panjang antrean empiris sebagai nilai aktual. Hasil menunjukkan panjang antrean hasil perhitungan PKJI 2023 berada pada rentang 81–184 m, sedangkan hasil pengamatan empiris berada pada rentang 64–155 m. Rata-rata MAPE dari 24 pasangan pengamatan mencapai 30,39%. Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan yang berarti antara estimasi pedoman dan kondisi lapangan. Evaluasi lebih lanjut terhadap parameter kapasitas, khususnya arus jenuh dasar dan faktor penyesuaiannya, diperlukan sebelum hasil analisis digunakan untuk pengambilan keputusan rekayasa lalu lintas.

Kata Kunci: derajat kejenuhan; panjang antrean; pengukuran empiris; PKJI 2023; simpang APILL

Abstract

Queue length is an important indicator for evaluating the operational performance of signalized intersections. Differences between field-observed queue lengths and estimates obtained from capacity guidelines may affect the reliability of intersection performance assessments. This study validates empirically measured queue lengths against estimates calculated using the 2023 Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI 2023). The investigation was conducted at the Majapahit and Soekarno Hatta intersections in Semarang, Indonesia. Traffic volume, approach geometry, signal timing, and queue length data were collected on Monday, Wednesday, and Saturday between 16:30 and 17:30. Traffic flow, capacity, degree of saturation, and queue length were analyzed according to PKJI 2023. Validation was conducted using the mean absolute percentage error (MAPE), with the field-observed queue length treated as the actual value. The results indicate that queue lengths estimated using PKJI 2023 ranged from 81 to 184 m, whereas field observations ranged from 64 to 155 m. The mean MAPE calculated from 24 paired observations was 30.39%. These findings indicate a substantial difference between guideline-based estimates and observed traffic conditions at the investigated approaches. Further assessment of intersection capacity parameters, particularly base saturation flow and its adjustment factors, is warranted before the estimates are used to support traffic engineering decisions.

Keywords: *empirical measurement; PKJI 2023; queue length; signalized intersection; saturation degree.*

PENDAHULUAN

Simpang bersinyal merupakan bagian penting dari jaringan jalan perkotaan karena mempertemukan arus kendaraan dari beberapa pendekat dalam ruang dan waktu yang terbatas. Pengaturan menggunakan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) bertujuan mengatur prioritas pergerakan, mengurangi konflik, dan mendukung kelancaran lalu lintas. Namun, kinerja simpang tetap dipengaruhi oleh volume lalu lintas, distribusi pergerakan, geometri pendekat, waktu sinyal, komposisi kendaraan, dan hambatan samping. Pada kondisi tertentu, antrean panjang masih dapat terjadi meskipun simpang telah dilengkapi APILL. Evaluasi kapasitas dan derajat kejenuhan karena itu menjadi bagian penting dalam pengelolaan simpang (Al-Turki et al., 2022; Wang et al., 2020).

Di Indonesia, analisis kapasitas dan kinerja simpang bersinyal mengacu pada Pedoman Kapasitas

(*)Corresponding author
Telp : +62 895-3323-12278
E-mail : etikaherdiarti7@gmail.com
http://doi.org/0.33506/rb.v12i02.6282
Received xx Bulan Tahun; Accepted xx Bulan Tahun; Available online xx Bulan Tahun
E-ISSN: 2614-4344 P-ISSN: 2476-8928

Jalan Indonesia (PKJI) 2023 yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga. Pedoman tersebut menyediakan prosedur untuk menganalisis arus lalu lintas, kapasitas, derajat kejenuhan, dan indikator kinerja lalu lintas berdasarkan karakteristik geometrik, komposisi kendaraan, serta pengaturan sinyal (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023). Meskipun pedoman menjadi acuan teknis yang diperlukan, hasil perhitungan tetap perlu dievaluasi terhadap kondisi lapangan agar tingkat keterwakilannya terhadap kondisi operasional dapat diketahui.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa panjang antrean pada simpang bersinyal dapat diestimasi melalui pendekatan yang berbeda. Estimasi dapat menggunakan pengamatan langsung, data lintasan kendaraan, data kendaraan penjejak, detektor, maupun model berdasarkan karakteristik arus lalu lintas. Luo (2023) mengembangkan estimasi panjang antrean berdasarkan data kendaraan penjejak, sedangkan Pudasaini et al. (2023) mengembangkan estimasi waktu nyata menggunakan data detektor. Jithender dan Mehar (2023) juga menunjukkan pentingnya mempertimbangkan kondisi lalu lintas yang tidak selalu mengikuti pembagian lajur secara disiplin ketika mengestimasi antrean. Pendekatan-pendekatan tersebut menegaskan bahwa estimasi antrean sensitif terhadap karakteristik arus dan data yang digunakan.

Selain metode estimasi antrean, parameter kapasitas dan arus jenuh turut memengaruhi hasil analisis simpang. Wang et al. (2020) mengembangkan pendekatan estimasi dinamis arus jenuh berdasarkan informasi lalu lintas, sedangkan Patel dan Dhamaniya (2021) meneliti faktor ekuivalensi kendaraan pada kondisi lalu lintas campuran. Sushmitha et al. (2022) menunjukkan bahwa hambatan samping dapat memengaruhi arus jenuh. Irawati et al. (2023) mengkaji model arus jenuh dasar untuk meningkatkan kesesuaian analisis kapasitas simpang dengan kondisi lapangan di Indonesia. Dengan demikian, perbedaan panjang antrean antara hasil perhitungan dan pengamatan dapat berkaitan dengan beberapa parameter sekaligus, bukan hanya satu faktor.

Studi mengenai penerapan PKJI 2023 di Indonesia juga telah dilakukan untuk mengevaluasi kinerja simpang, derajat kejenuhan, panjang antrean, dan alternatif penanganan lalu lintas. Penelitian-penelitian tersebut mencakup evaluasi kinerja simpang di Malang, Aceh, Pontianak, Semarang, dan wilayah lainnya (Auliya et al., 2024; Doansyah et al., 2025; Koto et al., 2025; Lailiyah, 2024; Ramzy & Supriyanto, 2024; Tanjungpura et al., 2025). Kajian lain membandingkan pendekatan PKJI 2023 dengan MKJI 1997 dan simulasi lalu lintas, sehingga memperlihatkan pentingnya mengevaluasi hasil pedoman terhadap kondisi operasional (Tanjungpura et al., 2025).

Meskipun analisis kinerja simpang berdasarkan PKJI 2023 semakin banyak dilakukan, pengujian kesesuaian panjang antrean yang dihitung dengan pedoman terhadap hasil pengukuran lapangan tetap diperlukan. Validasi semacam ini penting karena hasil analisis yang lebih tinggi daripada pengamatan tidak secara otomatis berarti pedoman tidak sesuai; perbedaan dapat berasal dari asumsi model, variasi arus selama periode survei, pengukuran panjang antrean, maupun parameter kapasitas yang digunakan. Penelitian terkait pengendalian sinyal dan estimasi derajat kejenuhan juga menekankan pentingnya keterwakilan data dan evaluasi terhadap kondisi aktual (Al-Ahmad et al., 2026; Song et al., 2025).

Penelitian ini bertujuan membandingkan panjang antrean hasil perhitungan PKJI 2023 dengan panjang antrean hasil pengukuran empiris pada simpang Majapahit dan simpang Soekarno Hatta di Kota Semarang. Kontribusi penelitian terletak pada evaluasi langsung terhadap 24 pasangan data antrean yang dikumpulkan pada tiga hari survei, serta pengukuran besarnya perbedaan menggunakan MAPE. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar untuk menentukan kebutuhan evaluasi lebih lanjut terhadap parameter analisis kapasitas simpang bersinyal.

TINJAUAN PUSTAKA

Kinerja Simpang APILL dan PKJI 2023

Kinerja simpang APILL dipengaruhi oleh hubungan antara arus lalu lintas yang datang, kapasitas pendekat, serta pembagian waktu hijau dan merah. Kapasitas pendekat menunjukkan kemampuan pendekat melayani arus kendaraan dalam periode tertentu. Derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara arus lalu lintas dan kapasitas; semakin besar nilainya, semakin besar tekanan arus terhadap kapasitas yang tersedia. Hubungan tersebut digunakan dalam evaluasi operasional simpang dan perencanaan pengaturan lalu lintas (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Penelitian mengenai kapasitas simpang menunjukkan bahwa arus jenuh merupakan salah satu parameter yang berpengaruh langsung terhadap kapasitas. Arus jenuh dipengaruhi oleh lebar efektif pendekat, komposisi kendaraan, kondisi lingkungan, hambatan samping, dan faktor penyesuaian lainnya. Wang et al. (2020) menunjukkan potensi estimasi arus jenuh secara dinamis, sedangkan Patel dan Dhamaniya (2021) menjelaskan bahwa faktor ekuivalensi kendaraan pada lalu lintas campuran

dapat bervariasi mengikuti kondisi lalu lintas dan interaksi kendaraan. Sushmitha et al. (2022) juga menemukan bahwa hambatan samping perlu dipertimbangkan dalam pemodelan arus jenuh.

Dalam konteks Indonesia, Irawati et al. (2023) membahas kebutuhan pengembangan model arus jenuh dasar untuk meningkatkan kesesuaian analisis kapasitas simpang dengan kondisi lapangan. Kajian-kajian penerapan PKJI 2023 juga menunjukkan bahwa hasil analisis kinerja simpang perlu dibaca bersama karakteristik lokasi dan kondisi lalu lintas yang diamati (Auliya et al., 2024; Koto et al., 2025; Ramzy & Supriyanto, 2024). Oleh sebab itu, validasi empiris merupakan langkah yang relevan untuk menilai kesesuaian estimasi panjang antrean dengan kondisi lapangan.

Panjang Antrean dan Metode Estimasi

Panjang antrean menggambarkan akumulasi kendaraan yang menunggu pelayanan pada pendekat simpang. Besarnya dipengaruhi oleh volume kedatangan, kapasitas pelayanan selama fase hijau, durasi siklus, distribusi kendaraan, serta kondisi antrean pada awal periode pengamatan. Pengukuran langsung di lapangan dapat digunakan sebagai pembanding bagi hasil estimasi berbasis pedoman maupun model matematis.

Luo (2023) menggunakan data kendaraan penjejak untuk mengestimasi panjang antrean berdasarkan karakteristik kendaraan dan teori gelombang kejut. Pudasaini et al. (2023) mengembangkan metode estimasi antrean waktu nyata menggunakan data detektor tunggal. Jithender dan Mehar (2023) mengkaji estimasi antrean pada kondisi lalu lintas tanpa pembagian lajur yang konsisten. Song et al. (2025) menggabungkan identifikasi kendaraan otomatis dengan data lintasan kendaraan untuk mengestimasi antrean pada simpang perkotaan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa estimasi antrean dapat dipengaruhi oleh ketersediaan data, karakteristik deteksi, dan asumsi model.

Perbedaan antara hasil model dan pengamatan lapangan juga ditemukan dalam penelitian kinerja simpang yang menggunakan pendekatan pedoman kapasitas. Studi penerapan PKJI 2023 di Indonesia menilai antrean bersama derajat kejenuhan, tundaan, dan kondisi geometrik untuk menyusun rekomendasi penanganan (Doansyah et al., 2025; Lailiyah, 2024; Purwitoatmojo et al., 2026; Tanjungpura et al., 2025). Hasil-hasil tersebut mendukung perlunya pengukuran antrean lapangan sebagai pembanding, bukan semata-mata mengandalkan nilai hasil perhitungan.

Validasi Menggunakan MAPE

Validasi diperlukan untuk mengetahui besarnya perbedaan antara hasil estimasi dan pengamatan. Penelitian ini menggunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE), yaitu rata-rata selisih absolut antara nilai estimasi dan nilai pengamatan yang dinyatakan sebagai persentase dari nilai pengamatan. Dalam penelitian ini, panjang antrean empiris diperlakukan sebagai nilai aktual, sedangkan panjang antrean PKJI 2023 diperlakukan sebagai nilai estimasi.

MAPE yang semakin kecil menunjukkan bahwa hasil estimasi semakin dekat dengan nilai pengamatan secara relatif. Namun, interpretasi MAPE harus mempertimbangkan karakteristik data dan tujuan analisis. Nilai MAPE bukan satu-satunya ukuran kualitas model, dan ambang kategori kesalahan tidak boleh dianggap universal untuk semua konteks. Oleh karena itu, penelitian ini melaporkan nilai MAPE sebagai ukuran kuantitatif perbedaan, kemudian menafsirkan hasilnya berdasarkan selisih panjang antrean serta kondisi lapangan.

Penelitian mengenai estimasi antrean dan arus jenuh menggunakan ukuran kesalahan untuk membandingkan hasil model dengan data lapangan atau data acuan (Luo, 2023; Pudasaini et al., 2023; Wang et al., 2020). Penggunaan ukuran kesalahan relatif dalam penelitian ini dimaksudkan untuk merangkum perbedaan 24 pasangan pengamatan pada dua simpang.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada dua simpang bersinyal di Kota Semarang, yaitu simpang Majapahit dan simpang Soekarno Hatta (Gambar 1). Kedua simpang merupakan simpang empat lengan di kawasan perkotaan yang memiliki aktivitas perdagangan dan pergerakan lalu lintas yang cukup tinggi. Survei dilakukan pada hari Senin, Rabu, dan Sabtu pada pukul 16.30–17.30.

Pengumpulan Data

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer meliputi volume lalu lintas berdasarkan jenis kendaraan, waktu sinyal, kondisi geometrik pendekat, dan panjang antrean empiris. Data sekunder digunakan untuk mendukung identifikasi karakteristik wilayah dan klasifikasi ukuran kota. Volume lalu lintas dikelompokkan menjadi kendaraan ringan (KR), kendaraan sedang dan kendaraan berat (KS+KB), sepeda motor (SM), serta kendaraan tak bermotor (KTB).

Survei dilakukan pada empat pendekat di setiap simpang. Pengukuran panjang antrean empiris dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan selama periode survei pukul 16.30–17.30 pada hari Senin, Rabu, dan Sabtu. Panjang antrean didefinisikan sebagai jarak dari garis henti pada pendekat hingga posisi kendaraan paling belakang dalam antrean yang terbentuk akibat lampu merah.

Untuk menjaga kesetaraan dengan hasil perhitungan berdasarkan PKJI 2023, pengukuran empiris perlu mengacu pada kondisi antrean maksimum pada akhir fase merah, sebelum kendaraan mulai bergerak pada fase hijau. Pengukuran dilakukan pada setiap siklus sinyal yang diamati, kemudian hasilnya dirangkum untuk setiap pendekat dan hari survei. Panjang antrean empiris selanjutnya dibandingkan dengan panjang antrean hasil perhitungan PKJI 2023 pada pendekat dan periode survei yang bersesuaian.

Analisis Kinerja Simpang

Analisis dilakukan dengan mengacu pada prosedur PKJI 2023. Data volume kendaraan dikonversi menjadi satuan mobil penumpang sesuai nilai ekuivalensi yang digunakan dalam perhitungan. Arus lalu lintas kemudian dibandingkan dengan kapasitas masing-masing pendekat untuk memperoleh derajat kejenuhan. Perhitungan kapasitas menggunakan arus jenuh dan waktu hijau efektif dibandingkan dengan waktu siklus, sedangkan arus jenuh dihitung berdasarkan arus jenuh dasar dan faktor penyesuaian yang relevan menurut PKJI 2023.

Penelitian ini menggunakan nilai hasil perhitungan arus, kapasitas, dan derajat kejenuhan sebagaimana tercantum dalam data penelitian. Analisis kapasitas simpang dilakukan dengan mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Perhitungan kapasitas setiap pendekat didasarkan pada arus jenuh dasar, faktor-faktor penyesuaian yang relevan, lebar efektif pendekat, serta perbandingan antara waktu hijau efektif dan waktu siklus. Arus jenuh disesuaikan menggunakan faktor-faktor yang ditetapkan dalam PKJI 2023 untuk memperoleh arus jenuh terkoreksi. Selanjutnya, kapasitas pendekat dihitung berdasarkan arus jenuh terkoreksi dan rasio hijau. Untuk memastikan keterlacakan dan keterverifikasian hasil analisis, parameter perhitungan setiap pendekat disajikan secara terperinci, meliputi lebar efektif pendekat, arus jenuh dasar, nilai setiap faktor penyesuaian, arus jenuh terkoreksi, waktu hijau efektif, waktu siklus, rasio hijau, dan kapasitas pendekat. Parameter tersebut menjadi dasar dalam penentuan derajat kejenuhan dan perhitungan panjang antrean berdasarkan PKJI 2023.

Validasi Panjang Antrean

Panjang antrean hasil PKJI 2023 dibandingkan dengan hasil pengukuran empiris pada pendekat dan hari survei yang sama. Tingkat perbedaan dihitung menggunakan MAPE, dengan panjang antrean empiris sebagai nilai aktual. Nilai kesalahan absolut relatif setiap pasangan dihitung, kemudian dirata-ratakan untuk seluruh 24 pasangan data. Nilai akhir dinyatakan dalam persen. Seluruh perhitungan MAPE pada penelitian ini menggunakan angka panjang antrean yang tercantum pada tabel perbandingan.



Gambar 1. Lokasi penelitian pada simpang Majapahit dan simpang Soekarno Hatta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas merupakan data dasar untuk menghitung arus kendaraan dalam satuan mobil penumpang. Tabel 1 menyajikan volume per jenis kendaraan pada kedua simpang untuk tiga hari survei. Data memperlihatkan variasi volume antarpendekat dan antarhari, sehingga perbandingan antrean perlu dilakukan berdasarkan pendekat dan waktu pengamatan yang sama.

Tabel 1. Volume lalu lintas menurut jenis kendaraan pada simpang Majapahit dan Soekarno Hatta

Simpang dan hari survei	Pendekat	KR (kend/jam)	KS+KB (kend/jam)	SM (kend/jam)	KTB (kend/jam)
Soekarno Hatta, Senin	Citarum	1841	533	1302	0
Soekarno Hatta, Senin	Tlogosari	1444	487	953	0

Simpang dan hari survei	Pendekat	KR (kend/jam)	KS+KB (kend/jam)	SM (kend/jam)	KTB (kend/jam)
Soekarno Hatta, Senin	Gajah	1608	400	1200	0
Soekarno Hatta, Senin	Sawah Besar	886	262	617	1
Soekarno Hatta, Rabu	Citarum	1797	463	1328	0
Soekarno Hatta, Rabu	Tlogosari	1467	409	1050	0
Soekarno Hatta, Rabu	Gajah	1393	299	1088	0
Soekarno Hatta, Rabu	Sawah Besar	754	185	565	0
Soekarno Hatta, Sabtu	Citarum	1469	389	1074	1
Soekarno Hatta, Sabtu	Tlogosari	1538	466	1068	0
Soekarno Hatta, Sabtu	Gajah	1239	308	928	0
Soekarno Hatta, Sabtu	Sawah Besar	828	200	626	0
Majapahit, Senin	Majapahit (A)	2549	614	1929	0
Majapahit, Senin	Majapahit (B)	2266	535	1726	0
Majapahit, Senin	Gajah	2048	500	1544	0
Majapahit, Senin	Lamper	2005	422	1780	0
Majapahit, Rabu	Majapahit (A)	2255	587	1663	0
Majapahit, Rabu	Majapahit (B)	1986	421	1559	0
Majapahit, Rabu	Gajah	1798	377	1417	0
Majapahit, Rabu	Lamper	1575	310	1262	0
Majapahit, Sabtu	Majapahit (A)	2365	535	1824	0
Majapahit, Sabtu	Majapahit (B)	2330	600	1725	0
Majapahit, Sabtu	Gajah	2027	442	1781	1
Majapahit, Sabtu	Lamper	2020	420	1594	0

Berdasarkan Tabel 1, volume kendaraan pada pendekat Majapahit (A) pada hari Senin relatif tinggi dibandingkan beberapa pendekat lainnya. Sepeda motor merupakan bagian besar dari komposisi lalu lintas pada seluruh pendekat. Kondisi lalu lintas campuran ini relevan dalam analisis kapasitas karena ekuivalensi kendaraan dan interaksi antarjenis kendaraan dapat memengaruhi arus jenuh (Patel & Dhamaniya, 2021; Sushmitha et al., 2022). Meskipun demikian, besarnya volume kendaraan saja tidak cukup untuk menjelaskan panjang antrean; waktu hijau, waktu siklus, kapasitas pendekat, dan distribusi kedatangan juga perlu dipertimbangkan.

Waktu Sinyal dan Kapasitas Pendekat

Waktu siklus yang diamati pada simpang Majapahit adalah 172 detik, sedangkan pada simpang Soekarno Hatta adalah 134 detik. Rincian waktu sinyal yang digunakan dalam analisis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Waktu sinyal pada simpang penelitian

Simpang	Pendekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah (detik)	Merah semua (detik)	Siklus (detik)
Majapahit	Majapahit (A)	29	3	137	3	172
Majapahit	Majapahit (B)	45	3	121	3	172
Majapahit	Gajah	45	3	121	3	172
Majapahit	Lamper	29	3	137	3	172
Soekarno Hatta	Citarum	20	3	108	3	134
Soekarno Hatta	Tlogosari	35	3	93	3	134
Soekarno Hatta	Gajah	25	3	103	3	134
Soekarno Hatta	Sawah Besar	27	3	101	3	134

Tabel 2 menunjukkan bahwa waktu hijau bervariasi antarpendekat, sedangkan waktu siklus pada masing-masing simpang relatif tetap. Perbedaan waktu hijau tersebut memengaruhi kemampuan masing-masing pendekat untuk melayani arus kendaraan selama satu siklus. Oleh karena itu, dua pendekat dengan volume yang serupa belum tentu memiliki kapasitas atau panjang antrean yang sama.

Penelitian mengenai arus jenuh dan kapasitas menunjukkan bahwa waktu sinyal harus dievaluasi bersama kondisi geometrik, komposisi kendaraan, dan faktor lingkungan. Estimasi arus jenuh dinamis

serta faktor ekuivalensi lalu lintas campuran telah digunakan untuk meningkatkan ketepatan model kapasitas (Wang et al., 2020; Patel & Dhamaniya, 2021). Dalam konteks penelitian ini, perbedaan waktu hijau menjadi salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan ketika menafsirkan variasi hasil antrean.

Arus Lalu Lintas, Kapasitas, dan Derajat Kejenuhan

Hasil analisis arus lalu lintas, kapasitas, dan derajat kejenuhan berdasarkan data penelitian disajikan pada Tabel 3. Nilai derajat kejenuhan diperoleh dari perbandingan arus lalu lintas terhadap kapasitas masing-masing pendekat.

Tabel 3. Arus lalu lintas, kapasitas, dan derajat kejenuhan pada pendekat simpang

Simpang dan hari	Pendekat	Arus (smp/jam)	Kapasitas (smp/jam)	Derajat kejenuhan
Soekarno Hatta, Senin	Citarum	736	1022	0,72
Soekarno Hatta, Senin	Tlogosari	635	1040	0,61
Soekarno Hatta, Senin	Gajah	590	958	0,62
Soekarno Hatta, Senin	Sawah Besar	362	676	0,54
Soekarno Hatta, Rabu	Citarum	670	1006	0,67
Soekarno Hatta, Rabu	Tlogosari	577	1031	0,56
Soekarno Hatta, Rabu	Gajah	470	777	0,60
Soekarno Hatta, Rabu	Sawah Besar	275	412	0,67
Soekarno Hatta, Sabtu	Citarum	557	1038	0,54
Soekarno Hatta, Sabtu	Tlogosari	631	1002	0,63
Soekarno Hatta, Sabtu	Gajah	451	841	0,54
Soekarno Hatta, Sabtu	Sawah Besar	296	506	0,59
Majapahit, Senin	Majapahit (A)	911	1211	0,75
Majapahit, Senin	Majapahit (B)	800	1053	0,76
Majapahit, Senin	Gajah	737	1023	0,72
Majapahit, Senin	Lamper	693	921	0,75
Majapahit, Rabu	Majapahit (A)	743	1009	0,74
Majapahit, Rabu	Majapahit (B)	663	1113	0,60
Majapahit, Rabu	Gajah	595	1011	0,59
Majapahit, Rabu	Lamper	503	1003	0,50
Majapahit, Sabtu	Majapahit (A)	816	1124	0,73
Majapahit, Sabtu	Majapahit (B)	865	1217	0,71
Majapahit, Sabtu	Gajah	713	1039	0,69
Majapahit, Sabtu	Lamper	667	1109	0,60

Berdasarkan Tabel 3, derajat kejenuhan tertinggi yang dilaporkan adalah 0,76 pada pendekat Majapahit (B) pada hari Senin. Arus lalu lintas pada pendekat tersebut tercatat 800 smp/jam dengan kapasitas 1.053 smp/jam. Derajat kejenuhan terendah yang dilaporkan adalah 0,50 pada pendekat Lamper di simpang Majapahit pada hari Rabu. Variasi ini menunjukkan bahwa tingkat pemanfaatan kapasitas berbeda antarpendekat dan hari survei.

Nilai arus, kapasitas, dan derajat kejenuhan pada Tabel 3 dipertahankan sesuai data hasil penelitian yang diberikan. Sebelum publikasi, seluruh nilai perlu dicocokkan kembali dengan lembar hitung asli, karena beberapa pasangan arus dan kapasitas dalam tabel tidak menghasilkan derajat kejenuhan yang persis sama ketika dihitung ulang dengan pembulatan biasa. Pemeriksaan tersebut diperlukan agar konsistensi aritmetika antarkolom terjamin.

Perbandingan Panjang Antrean Empiris dan PKJI 2023

Tabel 4 menyajikan perbandingan panjang antrean hasil perhitungan PKJI 2023 dan pengukuran empiris. Nilai MAPE dihitung ulang menggunakan panjang antrean empiris sebagai nilai aktual. Dengan demikian, persentase kesalahan pada setiap pendekat diperoleh dari selisih absolut antara panjang antrean PKJI 2023 dan panjang antrean empiris, dibagi panjang antrean empiris.

Tabel 4. Perbandingan panjang antrean hasil PKJI 2023 dan pengukuran empiris

Simpang dan hari	Pendekat	PKJI 2023 (m)	Empiris (m)	Kesalahan absolut relatif (%)
Soekarno Hatta, Senin	Citarum	123	95	29,47
Soekarno Hatta, Senin	Tlogosari	102	75	36,00
Soekarno Hatta, Senin	Gajah	100	72	38,89
Soekarno Hatta, Senin	Sawah Besar	91	65	40,00
Soekarno Hatta, Rabu	Citarum	112	89	25,84
Soekarno Hatta, Rabu	Tlogosari	100	73	36,99
Soekarno Hatta, Rabu	Gajah	88	68	29,41
Soekarno Hatta, Rabu	Sawah Besar	81	64	26,56
Soekarno Hatta, Sabtu	Citarum	117	85	37,65
Soekarno Hatta, Sabtu	Tlogosari	121	96	26,04
Soekarno Hatta, Sabtu	Gajah	96	69	39,13
Soekarno Hatta, Sabtu	Sawah Besar	91	64	42,19
Majapahit, Senin	Majapahit (A)	184	145	26,90
Majapahit, Senin	Majapahit (B)	174	152	14,47
Majapahit, Senin	Gajah	181	155	16,77
Majapahit, Senin	Lamper	178	153	16,34
Majapahit, Rabu	Majapahit (A)	166	124	33,87
Majapahit, Rabu	Majapahit (B)	152	118	28,81
Majapahit, Rabu	Gajah	161	114	41,23
Majapahit, Rabu	Lamper	159	111	43,24
Majapahit, Sabtu	Majapahit (A)	182	155	17,42
Majapahit, Sabtu	Majapahit (B)	172	133	29,32
Majapahit, Sabtu	Gajah	180	155	16,13
Majapahit, Sabtu	Lamper	175	128	36,72
Rata-rata MAPE				**30,39**

Tabel 4 menunjukkan bahwa panjang antrean hasil perhitungan PKJI 2023 lebih besar daripada panjang antrean empiris pada seluruh 24 pasangan data. Panjang antrean berdasarkan PKJI 2023 berada pada rentang 81–184 m, sedangkan pengukuran empiris berada pada rentang 64–155 m. Selisih absolut antara panjang antrean hasil perhitungan PKJI 2023 dan hasil pengukuran empiris berkisar antara 17 m dan 48 m. Selisih minimum sebesar 17 m ditemukan pada pendekat Sawah Besar di Simpang Soekarno Hatta pada hari Rabu, yaitu antara 81 m dan 64 m. Sementara itu, selisih maksimum sebesar 48 m ditemukan pada pendekat Lamper di Simpang Majapahit pada hari Rabu, yaitu antara 159 m dan 111 m. Nilai kesalahan relatif bervariasi, dengan beberapa pendekat menunjukkan perbedaan kurang dari 20%, sedangkan sejumlah pendekat lainnya memiliki perbedaan di atas 40%.

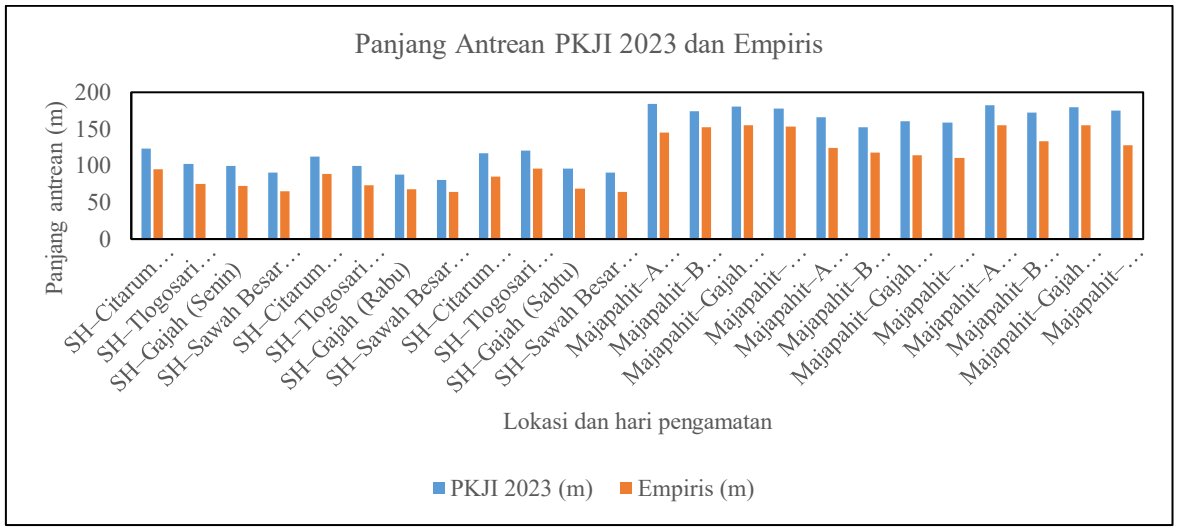
Rata-rata MAPE sebesar 30,39% menunjukkan bahwa secara rata-rata terdapat perbedaan relatif sekitar 30% antara estimasi PKJI 2023 dan pengamatan empiris, ketika nilai empiris diperlakukan sebagai nilai aktual. Angka tersebut merupakan hasil perhitungan ulang dari data yang tersedia, bukan nilai 25% yang tercantum pada naskah awal. Perbedaan ini menegaskan pentingnya memastikan definisi nilai aktual dan cara menghitung persentase kesalahan secara konsisten.

Seperti ditunjukkan pada Tabel 4 dan perlu divisualisasikan dalam Gambar 2, nilai panjang antrean hasil PKJI 2023 selalu lebih tinggi dibandingkan hasil pengamatan pada data yang dianalisis. Namun, hasil ini tidak cukup untuk menyimpulkan bahwa seluruh parameter PKJI 2023 tidak sesuai. Perbedaan dapat berasal dari parameter kapasitas, variasi arus kedatangan, perilaku kendaraan, kondisi hambatan samping, durasi antrean selama periode pengamatan, maupun prosedur pengukuran di lapangan. Penelitian tentang estimasi antrean menunjukkan bahwa metode dan sumber data yang digunakan dapat memengaruhi hasil estimasi

(Jithender & Mehar, 2023; Luo, 2023; Pudasaini et al., 2023).

Salah satu aspek yang patut diteliti lebih lanjut adalah arus jenuh dasar. Irawati et al. (2023) menunjukkan bahwa pengembangan model arus jenuh dasar dapat menjadi bagian dari upaya meningkatkan kesesuaian analisis kapasitas simpang dengan kondisi lapangan. Sementara itu, penelitian terkait faktor ekuivalensi kendaraan dan hambatan samping memperlihatkan bahwa komposisi kendaraan dan kondisi lingkungan dapat memengaruhi arus jenuh (Patel & Dhamaniya, 2021; Sushmitha et al., 2022). Oleh karena itu, perbedaan antrean pada penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk menyusun penelitian lanjutan yang menguji sensitivitas hasil terhadap parameter-parameter tersebut.

Penelitian ini memiliki keterbatasan. Pertama, pengamatan hanya mencakup dua simpang dan tiga hari survei pada satu jam pengamatan sore hari. Kedua, data yang tersedia belum mencakup seluruh siklus antrean dan distribusi kedatangan kendaraan secara kontinu. Ketiga, lembar perhitungan lengkap untuk semua faktor penyesuaian kapasitas tidak tersedia dalam data yang dianalisis kembali. Keempat, beberapa nilai derajat kejenuhan perlu diperiksa ulang terhadap pembagian arus dan kapasitas. Dengan demikian, hasil penelitian sebaiknya ditafsirkan sebagai validasi empiris pada lokasi dan periode yang diamati, bukan sebagai generalisasi untuk seluruh simpang APILL di Indonesia.



Gambar 2. Perbandingan panjang antrean hasil PKJI 2023 dan pengukuran empiris.

KESIMPULAN

Penelitian ini membandingkan panjang antrean hasil perhitungan PKJI 2023 dengan pengukuran empiris pada simpang Majapahit dan simpang Soekarno Hatta di Kota Semarang. Survei dilakukan pada hari Senin, Rabu, dan Sabtu pukul 16.30–17.30. Berdasarkan data yang dianalisis, panjang antrean hasil PKJI 2023 berada pada rentang 81–184 m, sedangkan panjang antrean empiris berada pada rentang 64–155 m. Pada seluruh 24 pasangan data, hasil perhitungan PKJI 2023 lebih besar daripada hasil pengamatan lapangan.

Perhitungan ulang menggunakan panjang antrean empiris sebagai nilai aktual menghasilkan MAPE rata-rata sebesar 30,39%. Nilai ini menunjukkan adanya perbedaan relatif yang cukup berarti antara hasil perhitungan dan pengamatan untuk lokasi serta periode survei yang diteliti. Perbedaan tersebut tidak dengan sendirinya membuktikan bahwa PKJI 2023 tidak sesuai, tetapi menunjukkan perlunya evaluasi parameter dan asumsi perhitungan terhadap karakteristik lalu lintas setempat.

Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas lokasi dan periode survei, melakukan pengamatan antrean secara kontinu, serta menguji pengaruh arus jenuh dasar, komposisi kendaraan, hambatan samping, dan waktu sinyal terhadap estimasi panjang antrean. Sebelum naskah dipublikasikan, nilai arus, kapasitas, dan derajat kejenuhan perlu dicocokkan kembali dengan lembar hitung asli, dan gambar lokasi serta grafik perbandingan perlu dilengkapi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Semarang atas dukungan terhadap pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

Al-Ahmad, M. H., Puspasari, W. A., & Artawan, I. P. (2026). Evaluasi kinerja simpang bersinyal terhadap tingkat pelayanan jalan menggunakan metode PKJI 2023. *HORIZON: Indonesian Journal of Multidisciplinary, 4*(4), 5770–5790. https://doi.org/10.54373/hijm.v4i4.7183

Al-Turki, M., Ratrout, N. T., Rahman, S. M., & Assi, K. J. (2022). Signalized intersection control in mixed autonomous and regular vehicles traffic environment—A critical review focusing on future control. *IEEE Access, 10*, 16942–16951. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3148706

Auliya, M. D., Darma, Y., et al. (2024). Perhitungan ulang ekivalensi mobil penumpang pada simpang bersinyal AMD dan Lhong Raya. *[Data volume, nomor, halaman, dan DOI perlu dikonfirmasi pada laman penerbit sebelum submit]*.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023)* (No. 09/P/BM/2023). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/09pbm2023-pedoman-kapasitas-jalan-indonesia-

Doansyah, F., Hidayat, W., Irawati, I., Pratiwi, Y., & Herdiarti, E. (2025). Analisis kinerja simpang APILL dengan metode PKJI 2023 (studi kasus: Simpang Majapahit Kota Semarang). *Indonesian Journal of Civil Engineering Study, 2*(2). https://doi.org/10.26623/ijces.v2i2.11788

Irawati, I., Munawar, A., & Setiadji, B. H. (2023). Model of base saturation flow to improve Indonesia Highway Capacity Manual at signalized intersection. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, 25*(1), 62–70. https://doi.org/10.15294/jtsp.v25i1.42975

Jithender, J., & Mehar, A. (2023). Estimation of queue length at signalized intersection under non-lane based traffic conditions. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 51*(1), 31–39. https://doi.org/10.3311/PPtr.17454

Koto, S. K., Anzal, R. A. A., Sunandar, A., & Veronica. (2025). Optimalisasi kinerja simpang bersinyal berdasarkan PKJI 2023 pada Simpang Empat Patung Pangeran Diponegoro Semarang. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation, 9*(2), 33–42. https://doi.org/10.31289/jcebt.v9i2.17633

Lailiyah, H. (2024). Evaluasi simpang tiga bersinyal menggunakan PKJI 2023 pada Jalan Irian Jaya–Raya Mojowarno–Ngoro Jombang. *[Nama jurnal, volume, nomor, dan DOI perlu dikonfirmasi pada laman penerbit]*.

Luo, H. (2023). Queue length estimation based on probe vehicle data at signalized intersections. *Journal of Advanced Transportation, 2023*, Article 3241207. https://doi.org/10.1155/2023/3241207

Munandar, W. A., Fadhly, N., & Lulusi. (2023). Perancangan koordinasi sinyal antar simpang pada ruas Jalan Tgk. H. Mohd. Daud Beureueh. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan, 6*(4), 246–255. https://doi.org/[perlu verifikasi pada laman penerbit]

Patel, P. N., & Dhamaniya, A. (2021). Developing mixed traffic equivalency factors to estimate saturation flow at urban signalized intersections. *Transportation Research Record, 2675*(11), 601–611. https://doi.org/10.1177/03611981211018694

Pudasaini, P., Karimpour, A., & Wu, Y.-J. (2023). Real-time queue length estimation for signalized intersections using single-channel advance detector data. *Transportation Research Record, 2677*(7), 144–156. https://doi.org/10.1177/03611981221151066

Purwitoatmojo, M. H., Wardani, A., & Ikhwanudin. (2026). Optimalisasi kinerja simpang tiga bersinyal ruas Jalan Gapuro–Kalikupang dan ruas Jalan Basuki Rachmat Pasar Warungasem Kabupaten Batang menggunakan metode PKJI 2023. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil, 4*(2), 116–131. https://doi.org/10.61132/konstruksi.v4i2.1550

Putri, R. A., & Mahendra, M. O. (2026). Evaluation of traffic management at a signalized intersection with a critical right-turn-dominated approach in a commercial area using PKJI 2023. *Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur, 14*(2). https://doi.org/10.33603/jki.v14i2.12600

Ramzy, M. R., & Supriyanto, B. R. B. (2024). Analisis kinerja simpang bersinyal di Kota Malang menggunakan PKJI 2023 (studi kasus: Simpang Dieng Malang). *[Data jurnal, volume, dan halaman perlu dikonfirmasi]*. https://doi.org/10.17977/um068.v4.i7.2024.4

Song, J., Hellinga, B., Cao, Q., & Ren, G. (2025). Queue length estimation on urban signalized intersection combining automatic vehicle identification and vehicle trajectory data. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 151*(1). https://doi.org/10.1061/JTEPBS.TEENG-8541

Sushmitha, R., Srikanth, S., & Ravi Shankar, K. V. R. (2022). Impact of side friction on saturation flow at signalized intersections in mixed traffic conditions. *U.Porto Journal of Engineering, 8*(6), 90–101. https://doi.org/10.24840/2183-6493_008.006_0007

Tanjungpura, A. P., Azwansyah, H., & Mayuni, S. (2025). Performance evaluation of signalized

intersections using MKJI 1997, PKJI 2023, and PTV VISSIM software. *Jurnal Teknik Sipil, 24*(4). https://doi.org/10.26418/jts.v24i4.87046

Wang, D., Yang, G., Tian, Z., & Wei, D. (2022). Traffic queue length estimation at permissive left-turn signalized intersections with probabilistic priority. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 148*(12). https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000764

Wang, Y., Rong, J., Zhou, C., & Gao, Y. (2020). Dynamic estimation of saturation flow rate at information-rich signalized intersections. *Information, 11*(4), Article 178. https://doi.org/10.3390/info11040178

Yao, J., Dai, Y., Ni, Y., & Wei, Y. (2020). Estimation of queue length at signalized intersection based on vehicle trajectory. *Journal of Highway and Transportation Research and Development, 37*(5), 123–130. https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0268.2020.05.015

Su, H., Ma, W., & Zhao, J. (2024). Cycle-length optimization of isolated signalized intersection with mixed-traffic condition. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 150*(1). https://doi.org/10.1061/JTEPBS.TEENG-7871

Suweda, I. W., & Wedagama, D. M. P. (2021). The influence of motorcycles on discharge headway and saturation flows at signalized intersections under mixed traffic conditions. *Civil Engineering and Architecture, 9*(3), 595–604. https://doi.org/10.13189/cea.2021.090303

Alvisyahri, et al. (2023). Studies of level of service (LOS) at signalized intersection with mixed traffic flow. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi, 9*(2). https://doi.org/10.35308/jts-utu.v9i2.8378

Aydin, M. M. (2022). Modeling of effective parameters for capacity prediction at signalized intersection lanes. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 17*(4), 35–62. https://doi.org/10.7250/bjrbe.2022-17.578

Damayanti, D. A., Pradigta, M. D. I., & Cahyono, A. D. (2026). Traffic movement regulation in overcoming queuing and delay problems at the Branggahan intersection in Kabupaten Kediri. *Journal of Civil Engineering Study, 6*(1). https://doi.org/10.34001/ces.v6i01.1578