

Perbandingan Waktu Tempuh, Konsumsi Bahan Bakar, dan Ambang Nilai Waktu pada Jalan Tol dan Jalan Arteri Padang-Sicincin

¹Muhammad Jihadvi Athiya Bahri, ²Donny Fernandez, ³Wagino, ⁴Toto Sugiarto

^{1,2}Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

*Corresponding author e-mail: muhjihadvi@student.unp.ac.id

Received: June 2026; Revised: July 2026; Published: July 2026

Abstrak

Studi komparatif lapangan berpasangan ini membandingkan waktu tempuh, konsumsi bahan bakar per perjalanan, intensitas konsumsi bahan bakar (L/100 km), variabilitas waktu tempuh yang teramati, dan ambang nilai waktu antara rute tol dan arteri Padang-Sicincin. Satu Honda Jazz RS 1.497 cc bertransmisi CVT digunakan pada 24 perjalanan yang membentuk 12 pasangan berdasarkan kategori hari, sesi, dan arah. Unit inferensial penelitian adalah 12 pasangan perjalanan. Waktu dan jarak direkam dengan stopwatch/GPS, sedangkan bahan bakar diukur dengan metode full-to-full; keterbatasan presisi metode ini diperlakukan secara eksplisit. Perbedaan berpasangan dianalisis menggunakan uji Wilcoxon signed-rank eksak, korelasi rank-biserial, dan interval kepercayaan bootstrap. Rata-rata waktu tempuh tol adalah 32,62 menit, sedangkan arteri 57,06 menit. Penghematan rata-rata 24,44 menit (42,83%; IK 95% 18,88-30,39) konsisten pada seluruh pasangan ($W = 0$; p eksak = 0,0005; $r_{rb} = 1,00$). Konsumsi total rata-rata sebesar 2,25 L pada tol dan 2,15 L pada arteri tidak berbeda secara statistik (selisih 0,10 L; IK 95% -0,46-0,57; $W = 29,5$; $p = 0,5186$). Intensitas konsumsi juga tidak berbeda (5,79 versus 6,43 L/100 km; $p = 0,7334$). IQR waktu tempuh tol lebih sempit (1,51 versus 18,22 menit), tetapi ukuran sampel belum memadai untuk menyimpulkan reliabilitas populasi. Dengan tarif Golongan I Rp50.500 dan tanpa memasukkan selisih bahan bakar yang tidak pasti, ambang impas berbasis penghematan waktu rata-rata adalah sekitar Rp123.977 per jam. Temuan menunjukkan keuntungan operasional utama tol pada sampel ini adalah penghematan waktu; bukti mengenai keuntungan bahan bakar belum konklusif.

Kata kunci: ambang nilai waktu; jalan arteri; jalan tol; konsumsi bahan bakar; waktu tempuh

Travel Time, Fuel Consumption, and Break-Even Value of Time on the Padang-Sicincin Toll and Arterial Routes

Abstract

This paired field-comparison study examined travel time, trip-level fuel use, distance-normalized fuel intensity (L/100 km), observed travel-time variability, and the break-even value of time for the Padang-Sicincin toll and arterial routes. One 1,497-cc Honda Jazz RS with a continuously variable transmission completed 24 trips forming 12 pairs matched by day category, time period, and direction. The inferential unit was the 12 trip pairs. Travel time and distance were recorded using a stopwatch/GPS, while fuel use was measured with the full-to-full method; the method's limited precision was explicitly considered. Paired differences were evaluated with the exact Wilcoxon signed-rank test, rank-biserial correlation, and bootstrap confidence intervals. Mean travel time was 32.62 min on the toll route and 57.06 min on the arterial route. The mean saving of 24.44 min (42.83%; 95% CI 18.88-30.39) occurred in every pair ($W = 0$; exact $p = 0.0005$; $r_{rb} = 1.00$). Mean trip-level fuel use was 2.25 L on the toll route and 2.15 L on the arterial route, with no statistical difference (mean difference 0.10 L; 95% CI -0.46 to 0.57; $W = 29.5$; $p = 0.5186$). Distance-normalized fuel intensity also did not differ (5.79 versus 6.43 L/100 km; $p = 0.7334$). The toll route had a narrower observed travel-time IQR (1.51 versus 18.22 min), but the sample was insufficient for population-level reliability claims. Using the IDR 50,500 Class I toll and excluding the uncertain fuel difference, the mean-time-based break-even value was approximately IDR 123,977 per hour. The main observed operational benefit was therefore travel-time savings, whereas evidence of a fuel-use advantage remained inconclusive.

Keywords: arterial road; break-even value of time; fuel consumption; toll road; travel time

How to Cite: Bahri, M. J. A. B., Fernandez, D., Wagino, W., & Sugiarto, T. (2026). Perbandingan Waktu Tempuh, Konsumsi Bahan Bakar, dan Ambang Nilai Waktu pada Jalan Tol dan Jalan Arteri Padang-Sicincin. *Journal of Authentic Research*, 5(3), 5056-5072. <https://doi.org/10.36312/wjtyt004>



<https://doi.org/10.36312/wjtyt004>

Copyright© 2026, Bahri et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Koridor Padang-Sicincin berperan dalam pergerakan antara Kota Padang, Bandara Internasional Minangkabau, Kabupaten Padang Pariaman, dan kawasan menuju Bukittinggi. Ruas Tol Padang-Sicincin sepanjang sekitar 35,45 km mulai dioperasikan secara fungsional pada 2025 dan dirancang untuk mempersingkat perjalanan pada koridor tersebut (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025; Badan Pengatur Jalan Tol, 2025). Namun, manfaat operasional bagi pengguna tidak cukup dinilai dari keberadaan infrastruktur atau kecepatan rencana. Penilaian perlu membandingkan biaya waktu, bahan bakar, dan biaya tunai pada perjalanan yang memiliki titik asal-tujuan sebanding.

Pada rute arteri, arus regional berinteraksi dengan akses lokal, kegiatan tepi jalan, persimpangan sebidang, kendaraan berhenti, dan pejalan kaki. Observasi penelitian juga mencatat kondisi dari ramai-lancar hingga macet serta hujan pada beberapa perjalanan. Secara teoritis, hambatan samping dan konflik lateral dapat menurunkan kecepatan operasi dan meningkatkan variasi waktu tempuh; Highway Capacity Manual karena itu menilai kinerja jalan melalui kombinasi kecepatan, kepadatan, tundaan, dan kestabilan arus, bukan satu indikator tunggal (Transportation Research Board, 2022). Kajian lokal pada kawasan Pasar Koto Baru juga menunjukkan bahwa aktivitas tepi jalan dapat menurunkan tingkat pelayanan ruas (Yermadona, 2019).

Waktu tempuh rata-rata dan reliabilitas perjalanan merupakan konsep yang berbeda. Reliabilitas membutuhkan distribusi waktu tempuh yang cukup padat untuk menilai ketidakpastian, buffer time, atau persentil perjalanan, sedangkan rentang dari sedikit observasi hanya menggambarkan variabilitas sampel (Carrion & Levinson, 2012; Zang et al., 2022). Karena penelitian ini hanya memiliki 12 perjalanan per rute, analisis diarahkan pada waktu tempuh dan variabilitas yang teramati melalui simpangan baku, rentang antarkuartil, serta koefisien variasi. Istilah 'reliabilitas' tidak digunakan sebagai klaim inferensial populasi.

Hubungan antara jenis jalan dan konsumsi bahan bakar juga tidak linear. Pola stop-and-go meningkatkan idling dan kebutuhan energi untuk akselerasi, sedangkan kecepatan lebih tinggi meningkatkan kebutuhan daya untuk mengatasi hambatan gerak. Besarnya konsumsi nyata juga dipengaruhi jarak, gradien, suhu, penggunaan penyejuk udara, beban, dan perilaku pengemudi (Ericsson, 2001; Ahn & Rakha, 2008; Fontaras et al., 2017; Zhou et al., 2023). Studi berbasis trajektori menunjukkan bahwa profil kecepatan dan akselerasi memberikan informasi yang lebih kuat daripada label kelas jalan semata (Yuan et al., 2022), sementara gaya mengemudi agresif dapat meningkatkan konsumsi secara material (Mohammadnazar et al., 2024). Oleh sebab itu, rute tol yang lebih stabil dapat menghemat energi per kilometer, tetapi tambahan jarak dapat tetap meningkatkan volume bahan bakar per perjalanan.

Penelitian Indonesia yang relevan umumnya mengevaluasi kelayakan ekonomi ruas, biaya operasi kendaraan, manfaat langsung pengguna, atau dampak jaringan dan emisi. Primadia dan Purnawan (2023) menilai kelayakan ekonomi-finansial ruas Padang-Sicincin, Anas et al. (2023) menghitung manfaat langsung pengguna Tol Medan-Binjai, sedangkan Syafi'i et al. (2024) menganalisis perubahan kinerja jaringan dan emisi setelah pembangunan tol. Pendekatan tersebut penting untuk perencanaan,

tetapi tidak secara langsung menjawab apakah satu kendaraan yang menempuh rute tol yang lebih panjang akan menggunakan lebih sedikit bahan bakar per perjalanan atau per 100 km.

Tabel 1. Sintesis penelitian terdahulu dan posisi penelitian

Sumber	Fokus	Pendekatan	Relevansi dan keterbatasan
Ahn & Rakha (2008)	Pemilihan rute, energi, dan emisi kendaraan	Pemodelan/analisis mikroskopis	Menunjukkan efek profil operasi; bukan pasangan lapangan koridor ini
Pavlovic et al. (2021)	Akurasi pengukuran konsumsi nyata	OBFCM, laboratorium, dan jalan	Menekankan ketidakpastian alat dan keuntungan perjalanan lebih panjang
Primadia & Purnawan (2023)	Kelayakan Tol Padang-Sicincin	Analisis ekonomi-finansial proyek	Tidak mengukur konsumsi satu kendaraan secara berpasangan
Anas et al. (2023)	Manfaat langsung pengguna Tol Medan-Binjai	Biaya operasi kendaraan dan waktu	Berbasis evaluasi manfaat; tidak memisahkan L/trip dan L/100 km
Syafi'i et al. (2024)	Kinerja jaringan dan emisi setelah tol	Pemodelan jaringan	Skala jaringan; bukan observasi kendaraan individual
Penelitian ini	Trade-off waktu, L/trip, L/100 km, dan ambang impas	12 pasangan perjalanan lapangan	Bukti spesifik kasus dengan inferensi berpasangan dan klaim terbatas

Kesenjangan pengetahuan penelitian ini terletak pada perbedaan kesimpulan yang mungkin muncul dari dua estimand bahan bakar: liter per perjalanan merepresentasikan biaya aktual untuk mencapai tujuan, sedangkan L/100 km merepresentasikan intensitas penggunaan bahan bakar. Studi kelayakan atau simulasi jaringan tidak dapat secara langsung menyelesaikan trade-off tersebut pada kendaraan yang sama di koridor Padang-Sicincin. Penelitian ini juga menghubungkan selisih biaya tunai dengan penghematan waktu sebagai ambang impas, bukan sebagai estimasi nilai waktu perilaku pengguna. Kontribusinya bersifat empiris-metodologis: data lapangan diperlakukan sebagai 12 pasangan, kedua indikator bahan bakar dianalisis terpisah, ketidakpastian pengukuran dibahas, dan klaim dibatasi sesuai kekuatan desain.

Penelitian bertujuan untuk: (1) mengestimasi perbedaan berpasangan waktu tempuh antara rute tol dan arteri; (2) mengestimasi perbedaan konsumsi bahan bakar per perjalanan; (3) mengestimasi perbedaan intensitas konsumsi dalam L/100 km; (4) mendeskripsikan variabilitas waktu tempuh yang teramati; dan (5) menghitung ambang impas nilai waktu serta sensitivitasnya terhadap besarnya penghematan waktu. Hipotesis nol yang diuji adalah median selisih berpasangan sama dengan nol untuk waktu tempuh (H01), konsumsi per perjalanan (H02), dan L/100 km (H03). Ruang lingkup dibatasi pada satu mobil penumpang Golongan I, satu koridor, dan periode pengamatan singkat; hasil tidak digeneralisasi langsung kepada bus, truk, kendaraan listrik, emisi, atau populasi seluruh pengguna.

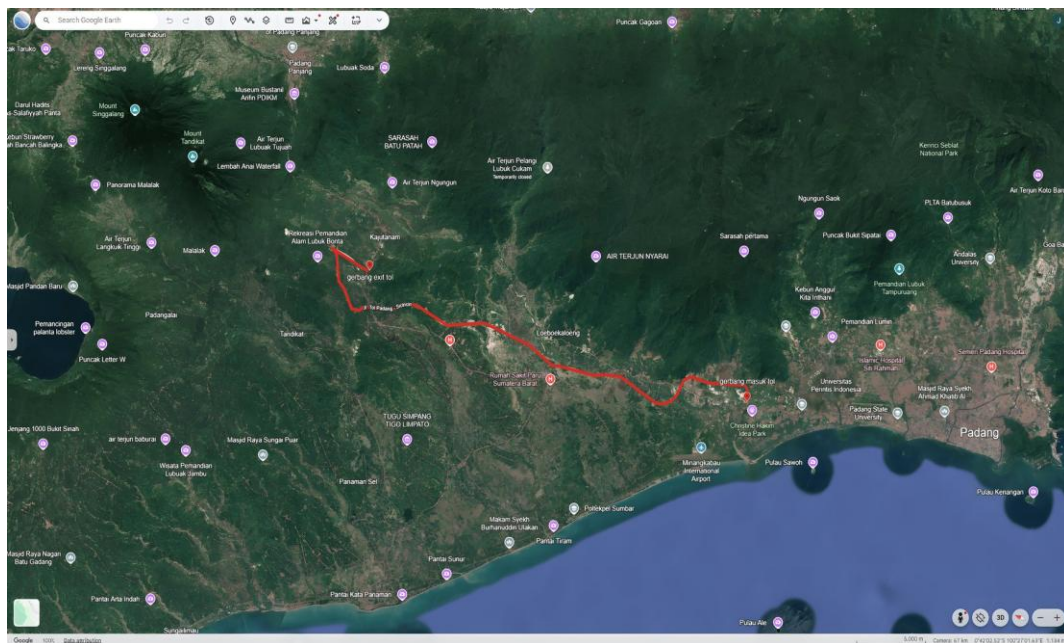
METODE

Desain penelitian, lokasi, dan unit analisis

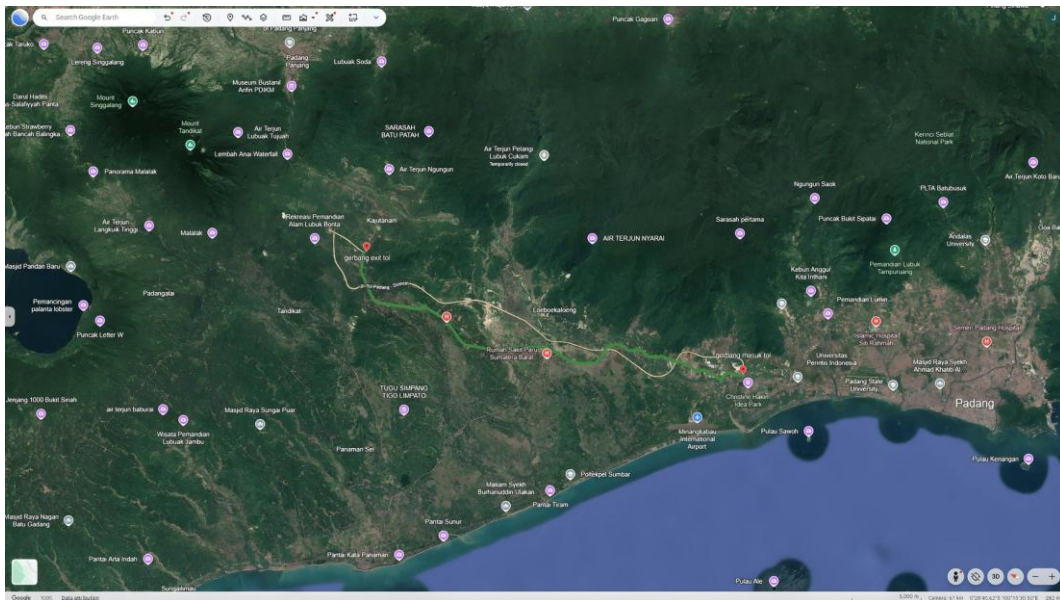
Penelitian menggunakan studi komparatif lapangan berpasangan dengan karakter kuasi-eksperimental lintas rute. Istilah 'eksperimen terkendali penuh' tidak digunakan karena urutan rute tidak didokumentasikan sebagai randomisasi, waktu keberangkatan antarrute tidak simultan, dan cuaca serta lalu lintas tidak identik. Faktor pembanding adalah jenis rute (tol atau arteri), sedangkan hasil primer adalah waktu tempuh dan konsumsi bahan bakar per perjalanan. Hasil sekunder mencakup L/100 km, kecepatan rata-rata, variabilitas waktu teramati, dan ambang impas nilai waktu.

Objek uji adalah satu kendaraan. Kendaraan menyelesaikan 24 perjalanan yang membentuk 12 pasangan analisis. Setiap pasangan ditetapkan berdasarkan kategori hari (hari kerja/hari libur), sesi (pagi/siang/sore), dan arah (Padang-Sicincin/Sicincin-Padang). Dengan demikian, ukuran sampel inferensial adalah 12 pasangan, bukan 24 observasi independen. Titik awal dan akhir dibuat sama pada koordinat sekitar -0,803177; 100,323662 dan -0,550484; 100,303446. Rute GPS mencakup akses ke ruas utama, sehingga jarak perjalanan terukur tidak identik dengan panjang resmi ruas tol.

A. Rute Jalan Tol



B.Rute Jalan Arteri



Gambar 1. Rute Jalan Tol dan jalan arteri Padang-Sicincin

Sumber peta: Google Earth 7 Juli 2026

Kendaraan uji dan pengendalian variabel

Tabel 2. Spesifikasi kendaraan dan variabel yang dikendalikan

Parameter	Keterangan
Merek/model/tahun	Honda Jazz RS, 2018
Mesin	1.497 cc, empat silinder, i-VTEC, PGM-FI
Transmisi	Continuously variable transmission (CVT)
Kapasitas tangki	40 L
Jumlah orang	Satu pengemudi dan tiga penumpang
Massa penghuni	284 kg, dipertahankan pada seluruh perjalanan
Tekanan ban	32-33 psi
Ukuran dan kondisi ban	GT Radial Champiro Ecotec 185/55 R16 kondisi baru
Odometer awal dan riwayat servis	111.179 Km / servis terakhir tepat sebelum pengujian 3 Juli 2026
Bahan bakar	Pertalite RON 90
Penyejuk udara dan beban listrik	Ac menyala dan Pemutar Radio menyala

Kendaraan, pengemudi, jumlah penghuni, massa penghuni, tekanan ban, dan prosedur umum dipertahankan sejauh yang didokumentasikan. Sebelum analisis, penulis perlu melengkapi ukuran ban, odometer, status AC, jenis bahan bakar, dan protokol pemanasan karena variabel tersebut dapat memengaruhi konsumsi nyata. Pengendalian ini mengurangi variasi internal kendaraan, tetapi tidak mengisolasi efek rute dari perubahan waktu, cuaca, lalu lintas, dan urutan perjalanan.



Gambar 2. Kendaraan uji Honda Jazz RS yang digunakan dalam eksperimen lapangan.

Keterangan: informasi ilmiah kendaraan dipindahkan ke Tabel 2; gambar dipertahankan hanya untuk dokumentasi unit uji.

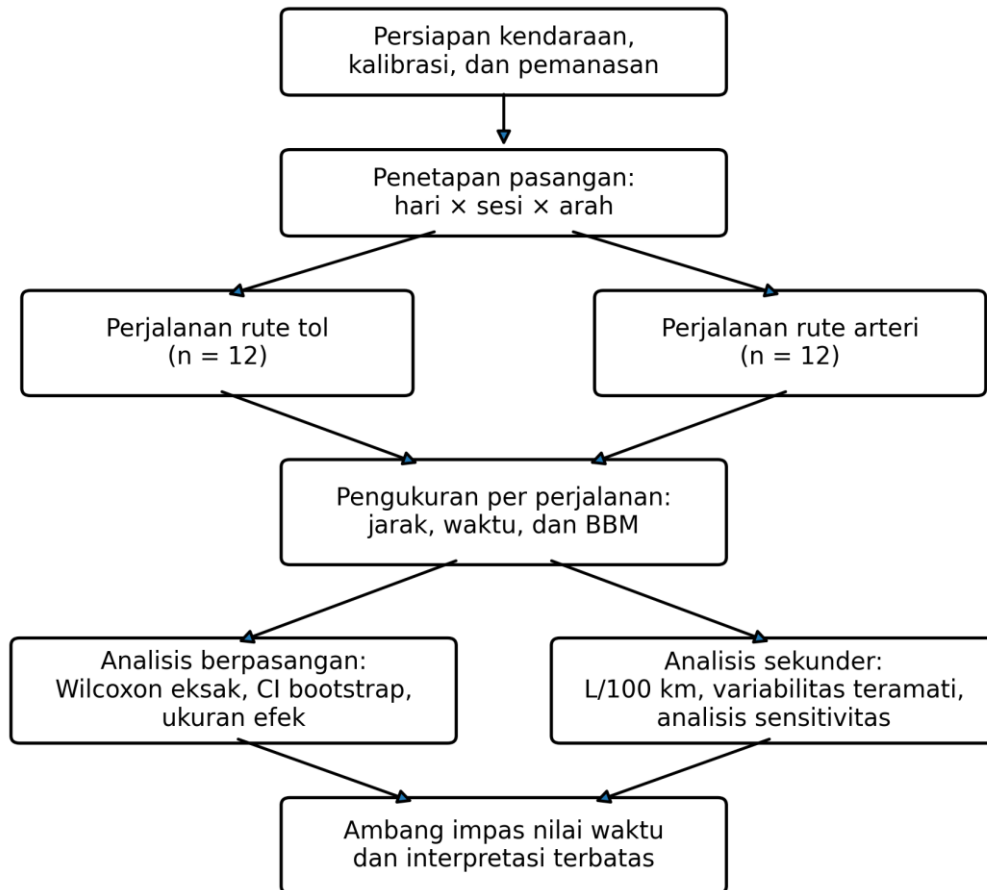
Instrumen dan prosedur pengumpulan data

Instrumen mencakup stopwatch digital dengan resolusi tampilan 0,01 detik, aplikasi GPS, odometer kendaraan, dispenser SPBU, gelas ukur, dan lembar observasi. Resolusi tampilan stopwatch tidak dianggap sebagai akurasi 0,01 detik karena pencatatan manual mengandung galat reaksi. Penulis harus menetapkan apakah GPS atau stopwatch menjadi sumber waktu primer dan menjelaskan cara merekonsiliasi perbedaan keduanya. Nama aplikasi GPS, interval logging, akurasi nominal, kriteria kehilangan sinyal, serta identitas perjalanan yang jaraknya dikoreksi dengan odometer juga harus dilaporkan.

Konsumsi bahan bakar dicatat dengan metode full-to-full. Metode ini dapat digunakan untuk perbandingan lapangan, tetapi ketidakpastian penghentian nosel, kemiringan kendaraan, suhu bahan bakar, busa, dan posisi permukaan bahan bakar menjadi penting ketika volume perjalanan kecil dan selisih antarrute hanya sekitar 0,10 L. Penelitian pengukuran konsumsi dunia nyata menunjukkan bahwa ketelitian perangkat perlu dinilai terhadap volume total perjalanan dan bahwa perjalanan lebih panjang umumnya menghasilkan proporsi galat yang lebih kecil (Pavlovic et al., 2021). Prosedur final harus mengikuti satu kriteria penghentian yang konsisten dan melaporkan resolusi alat sesuai prinsip pengujian jalan (SAE International, 2023). Angka bahan bakar pada tabel sementara ditampilkan dua desimal; pembulatan akhir harus disesuaikan dengan resolusi dispenser yang diverifikasi.

1. Memeriksa tekanan ban, cairan, kondisi mekanis, massa penghuni, dan status beban listrik kendaraan.
2. Melakukan pemanasan kendaraan dengan protokol yang sama sebelum setiap perjalanan.
3. Menempatkan kendaraan pada posisi pengisian yang konsisten dan mengisi bahan bakar menggunakan kriteria penghentian yang sama.
4. Mencatat tanggal, jam, urutan rute, cuaca, kondisi lalu lintas, dan status AC sebelum keberangkatan.
5. Memulai pencatatan waktu/GPS pada titik awal; waktu antre di gerbang tol diperlakukan secara konsisten.
6. Mengemudi mengikuti arus dan peraturan tanpa akselerasi yang disengaja secara agresif.

7. Mengakhiri pencatatan pada titik akhir, lalu melakukan pengisian ulang dengan prosedur yang sama.
8. Merekam volume, jarak, waktu, serta setiap kejadian khusus; tidak menghapus observasi ekstrem dari analisis primer.



Gambar 3. Alur eksperimen, pengukuran, analisis, dan interpretasi data penelitian.

Tabel 3. Log pasangan perjalanan yang harus dilengkapi untuk reproduksibilitas

ID	Hari/sesi	Arah	Tanggal	Berangkat tol	Berangkat arteri	Urutan rute	Selang (menit)
P1	Hari libur - Pagi	Padang-Sicincin	4 dan 5 Juli 2026	06.45	06.47	1	2 menit
P2*	Hari libur - Pagi	Sicincin-Padang	4 dan 5 Juli 2026	07.35	07.44	2	9 menit
P3	Hari libur - Siang	Padang-Sicincin	4 dan 5 Juli 2026	12.18	13.07	3	49 menit
P4	Hari libur - Siang	Sicincin-Padang	4 dan 5 Juli 2026	12.59	14.06	4	67 menit
P5	Hari libur - Sore	Padang-Sicincin	4 dan 5 Juli 2026	16.58	17.16	5	18 menit
P6	Hari libur - Sore	Sicincin-Padang	4 dan 5 Juli 2026	17.42	18.25	6	43 menit
P7	Hari kerja - Pagi	Padang-Sicincin	6 dan 7 Juli 2026	07.11	06.46	7	25 menit
P8	Hari kerja - Pagi	Sicincin-Padang	6 dan 7 Juli 2026	07.55	08.08	8	13 menit

ID	Hari/sesi	Arah	Tanggal	Berangkat tol	Berangkat arteri	Urutan rute	Selang (menit)
P9	Hari kerja - Siang	Padang-Sicincin	6 dan 7 Juli 2026	13.16	12.34	9	42 menit
P10	Hari kerja - Siang	Sicincin-Padang	6 dan 7 Juli 2026	13.56	13.29	10	26 menit
P11	Hari kerja - Sore	Padang-Sicincin	6 dan 7 Juli 2026	17.15	17.20	11	5 menit
P12	Hari kerja - Sore	Sicincin-Padang	6 dan 7 Juli 2026	17.56	18.19	12	23 menit

Catatan tambahan: Pada Tabel 3 dan 4, perjalanan yang ditandai dengan asterisk (*) merupakan data yang jarak GPS-nya dikoreksi menggunakan pembacaan odometer kendaraan. Koreksi ini terpaksa dilakukan karena hilangnya sinyal satelit GPS saat kendaraan melewati area dengan tutupan lereng yang rapat dan cuaca buruk di beberapa titik jalan arteri, yang menyebabkan *log* GPS terputus sesaat.

Definisi hasil dan analisis statistik

Waktu tempuh dihitung dalam menit desimal. Penghematan relatif dihitung sebagai $100 \times (\text{waktu arteri} - \text{waktu tol}) / \text{waktu arteri}$. Konsumsi per perjalanan dinyatakan dalam liter, sedangkan intensitas konsumsi untuk perjalanan ke-*i* dihitung sebagai $100 \times \text{liter}_i / \text{kilometer}_i$. Kecepatan rata-rata dihitung sebagai jarak dibagi waktu dalam jam. Variabilitas waktu yang teramati dideskripsikan dengan simpangan baku, IQR, koefisien variasi, dan rentang; indikator persentil ke-95, buffer time index, dan planning time index tidak dihitung karena 12 pengamatan per rute terlalu sedikit untuk estimasi stabil.

Seluruh perbandingan inferensial menggunakan 12 selisih berpasangan. Uji Wilcoxon signed-rank dua sisi dihitung secara eksak pada taraf 0,05 karena desain berpasangan merupakan pertimbangan utama (Woolson, 2005). Ukuran efek dinyatakan sebagai korelasi rank-biserial, dengan tanda positif ditetapkan sebagai keuntungan tol untuk penghematan waktu dan sebagai nilai tol lebih tinggi untuk bahan bakar. Interval kepercayaan 95% untuk selisih rata-rata diperoleh melalui bootstrap persentil 200.000 replikasi dengan seed 20260719 (Efron & Tibshirani, 1993). Perhitungan dilakukan dengan Python 3.11 dan SciPy 1.14; skrip analisis disiapkan untuk disertakan bersama data.

Analisis sensitivitas bahan bakar dilakukan tanpa mengubah analisis primer. Pasangan 6 (arteri 4,30 L) dan pasangan 7 (arteri 1,50 L) dikeluarkan secara bersamaan hanya pada analisis sensitivitas karena keduanya disoroti sebagai nilai ekstrem oleh reviewer. Konsistensi arah, besarnya selisih, interval kepercayaan, dan nilai *p* dibandingkan dengan hasil semua pasangan.

Ambang impas nilai waktu dihitung sebagai $B = (T + C_f) / \Delta t$, dengan *B* dalam rupiah per jam, *T* sebagai tarif tol, *C_f* sebagai selisih biaya bahan bakar, dan Δt sebagai penghematan waktu dalam jam. Analisis utama menggunakan $T = \text{Rp}50.500$ untuk Golongan I, sesuai tarif yang efektif 2 Agustus 2025 berdasarkan Keputusan Menteri PU Nomor 672/KPTS/M/2025 (Hutama Karya, 2025), serta menetapkan $C_f = 0$ karena perbedaan bahan bakar tidak signifikan dan berada dalam ketidakpastian metode. Analisis sekunder memasukkan selisih rata-rata bahan bakar dengan asumsi

ilustratif Rp13.000/L. Nilai ini harus diganti dengan harga dan jenis bahan bakar pada tanggal pengujian. Ambang tersebut merupakan perhitungan break-even, bukan nilai waktu pengguna yang diukur melalui stated preference atau revealed preference (International Transport Forum, 2019; Meunier, 2020). Pengambilan data lapangan dilakukan setelah tanggal 2 Agustus 2025, sehingga tarif tol Rp50.500 yang digunakan dalam analisis kelayakan ini merupakan representasi biaya aktual yang dikeluarkan oleh pengguna jalan pada saat pengujian dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data lengkap dan pemeriksaan ulang

Tabel 4 mempertahankan seluruh data operasional yang menjadi dasar analisis. Pemeriksaan ulang terhadap baris data mentah menghasilkan rata-rata jarak 38,88 km untuk tol dan 33,41 km untuk arteri; rata-rata waktu 32,62 dan 57,06 menit; serta konsumsi 2,25 dan 2,15 L. Nilai ini sedikit berbeda dari ringkasan pada versi awal, sehingga seluruh angka pada abstrak, hasil, tabel, dan kesimpulan telah dihitung ulang dari data per perjalanan. Data tidak diperlakukan sebagai 24 observasi independen, melainkan 12 pasangan.

Tabel 4. Seluruh data operasional 12 pasangan perjalanan (24 perjalanan; 12 pasangan analisis)

ID	Hari/sesi	Arah	Jarak tol (km)	Jarak arteri (km)	Waktu tol (menit)	Waktu arteri (menit)	BBM tol (L)	BBM arteri (L)
P1	Hari libur - Pagi	Padang-Sicincin	39.33	33.45	34.92	46.73	2.50	1.80
P2*	Hari libur - Pagi	Sicincin-Padang	39.25	33.44	31.48	47.18	2.75	1.90
P3	Hari libur - Siang	Padang-Sicincin	39.23	33.48	33.05	52.18	2.30	1.80
P4	Hari libur - Siang	Sicincin-Padang	38.11	33.46	31.17	53.67	2.00	2.90
P5	Hari libur - Sore	Padang-Sicincin	39.17	33.36	32.50	67.17	2.80	2.00
P6	Hari libur - Sore	Sicincin-Padang	38.24	33.43	31.68	71.47	2.00	4.30
P7	Hari kerja - Pagi	Padang-Sicincin	39.41	33.37	33.67	74.78	2.75	1.50
P8	Hari kerja - Pagi	Sicincin-Padang	38.42	33.34	32.55	69.53	2.00	1.80
P9	Hari kerja - Siang	Padang-Sicincin	39.30	33.42	33.52	46.57	1.55	1.75
P10	Hari kerja - Siang	Sicincin-Padang	38.49	33.32	32.05	50.90	1.82	1.90
P11	Hari kerja - Sore	Padang-Sicincin	39.22	33.36	33.12	50.33	2.38	1.70
P12	Hari kerja - Sore	Sicincin-Padang	38.41	33.44	31.72	54.20	2.20	2.45

Catatan: nilai bahan bakar 1,825 L dan 2,375 L pada data mentah digunakan tanpa pembulatan dalam analisis, tetapi ditampilkan dua desimal pada tabel. Jumlah desimal akhir harus disesuaikan dengan resolusi dispenser yang terverifikasi.

Tabel 5. Indikator turunan dan konteks setiap pasangan perjalanan

ID	Tol (L/100 km)	Arteri (L/100 km)	Kecepatan tol (km/jam)	Kecepatan arteri (km/jam)	Hemat waktu (menit)	Kondisi tol arteri
P1	6.36	5.38	67.58	42.95	11.81	Cerah/sepi Cerah/ramai-lancar
P2	7.01	5.68	74.81	42.53	15.70	Cerah/sepi Cerah/ramai-lancar
P3	5.86	5.38	71.22	38.50	19.13	Cerah/sepi Mendung-gerimis/ramai-lancar
P4	5.25	8.67	73.36	37.41	22.50	Cerah/sepi Mendung-hujan lebat/ramai
P5	7.15	6.00	72.31	29.80	34.67	Gerimis/sepi Hujan lebat/ramai
P6	5.23	12.86	72.42	28.06	39.79	Cerah/sepi Hujan lebat/macet
P7	6.98	4.50	70.23	26.77	41.11	Gerimis/sepi Cerah/ramai-macet
P8	5.21	5.40	70.82	28.77	36.98	Mendung/sepi Cerah/ramai-macet
P9	3.94	5.24	70.35	43.06	13.05	Mendung/sepi Mendung-gerimis/ramai-lancar
P10	4.74	5.70	72.06	39.28	18.85	Cerah/sepi Gerimis/ramai-lancar
P11	6.06	5.10	71.05	39.77	17.21	Cerah/sepi Mendung/ramai-lancar
P12	5.73	7.33	72.65	37.02	22.48	Cerah/sepi Mendung/ramai-lancar

Kategori sepi/ramai/lanar/macet merupakan catatan kualitatif pengamat dan tidak diperlakukan sebagai klasifikasi tingkat pelayanan formal.

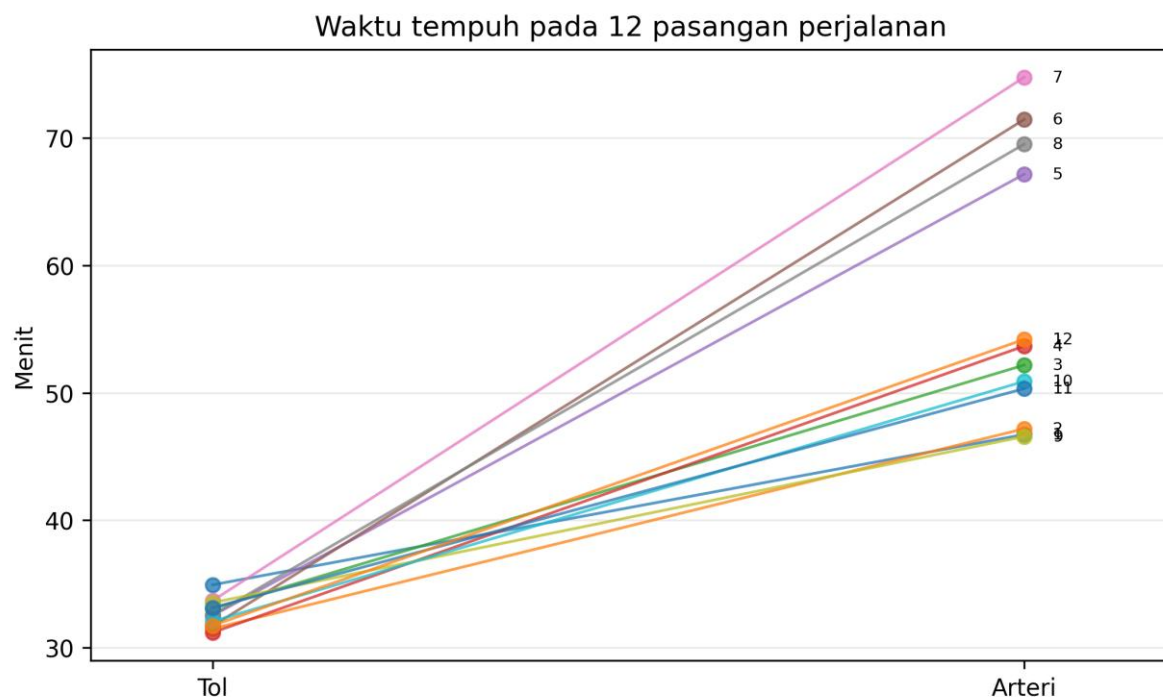
Tabel 6. Ringkasan hasil utama, keputusan statistik, dan makna operasional

Parameter	Jalan tol: mean ± SD; median [Q1-Q3]	Jalan arteri: mean ± SD; median [Q1-Q3]	Selisih tol- arteri / penghematan [IK 95%]	P eksak	r _{rb}	Makna
Jarak (km)	38,88 ± 0,50; 39,20 [38,42- 39,26]	33,41 ± 0,05; 33,43 [33,36- 33,44]	+5,48 [5,21- 5,74]	0,0005	+1,00	Tol 16,39% lebih panjang
Waktu (menit)	32,62 ± 1,09; 32,53 [31,71- 33,22]	57,06 ± 10,53; 52,93 [49,54- 67,76]	-24,44 [-30,39- -18,88]	0,0005	- 1,00*	Tol lebih cepat pada 12/12 pasangan
BBM per perjalanan (L)	2,25 ± 0,40; 2,25 [2,00-2,56]	2,15 ± 0,77; 1,85 [1,79-2,11]	+0,10 [-0,46- 0,57]	0,5186	+0,24	Tidak berbeda
BBM ternormalisasi (L/100 km)	5,79 ± 0,98; 5,80 [5,22-6,51]	6,43 ± 2,31; 5,54 [5,34-6,33]	-0,64 [-2,25- 0,66]	0,7334	-0,13	Tidak berbeda
Kecepatan rata-rata (km/jam)	71,57 ± 1,82; 71,64 [70,70- 72,48]	36,16 ± 6,13; 37,95 [29,54- 40,46]	+35,41 [32,10- 38,80]	0,0005	+1,00	Deskriptif, bukan trajektori kontinu

*Untuk waktu, tanda negatif pada selisih tol-arteri berarti tol lebih cepat. Besar efek dilaporkan sebagai $|r_{rb}| = 1,00$; pada narasi penghematan waktu, arah dinyatakan positif untuk keuntungan tol.

Waktu tempuh dan variabilitas yang teramati

Seluruh 12 pasangan menunjukkan waktu tol lebih singkat. Rata-rata waktu tol 32,62 menit (SD 1,09), sedangkan arteri 57,06 menit (SD 10,53). Penghematan rata-rata mencapai 24,44 menit atau 42,83%, dengan IK bootstrap 95% 18,88-30,39 menit. Uji Wilcoxon menghasilkan $W = 0$, p eksak = 0,0005, dan $r_{rb} = 1,00$, yang menunjukkan efek berpasangan sangat kuat pada sampel. Gambar 4 memperlihatkan bahwa setiap garis pasangan bergerak ke waktu yang lebih tinggi pada rute arteri, sehingga kesimpulan tidak bergantung pada satu atau dua observasi ekstrem.



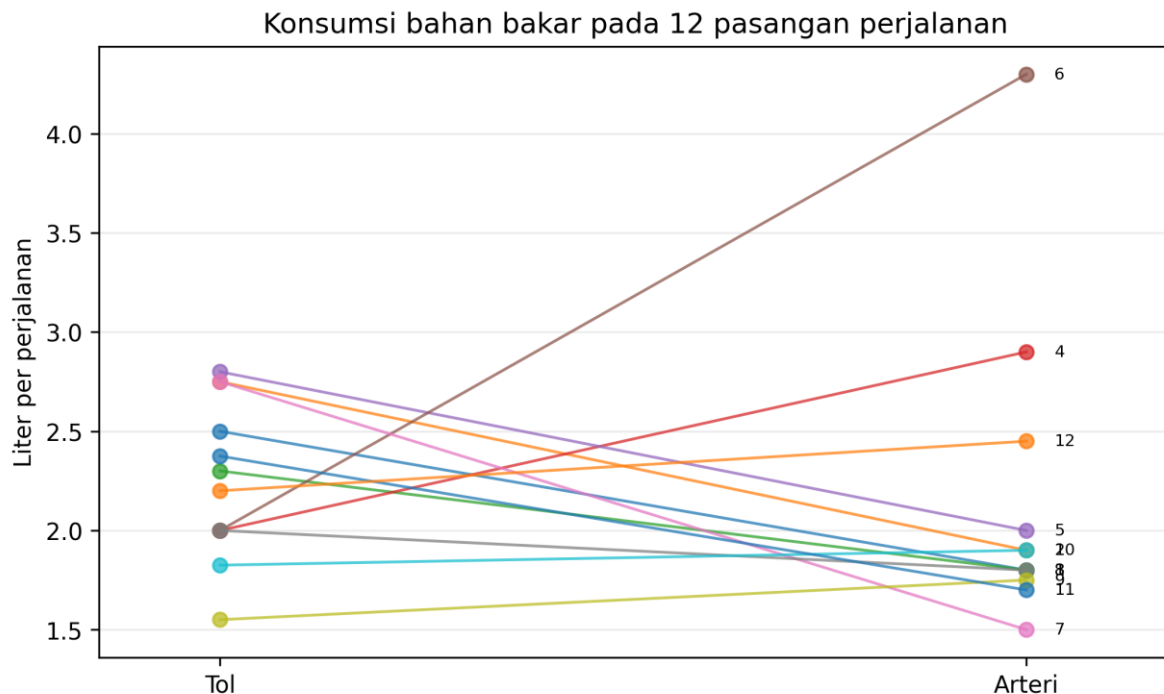
Gambar 4. Perbandingan waktu tempuh pada seluruh pasangan pengujian.

Variabilitas yang teramati juga berbeda secara deskriptif. Waktu tol memiliki median 32,53 menit, IQR 1,51 menit, dan CV 3,34%; waktu arteri memiliki median 52,93 menit, IQR 18,22 menit, dan CV 18,46%. Hasil ini mendukung pernyataan terbatas bahwa waktu tol lebih konsisten selama pengamatan. Namun, 12 perjalanan per rute belum cukup untuk mengestimasi persentil tinggi atau menggeneralisasi reliabilitas perjalanan. Perbedaan dapat pula dipengaruhi perubahan cuaca, arus, dan waktu keberangkatan antarrute.

Rata-rata waktu tol yang mendekati setengah jam searah dengan estimasi operasional resmi untuk ruas ini, meskipun titik awal-akhir penelitian mencakup konektor di luar ruas utama (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025). Secara teoritis, pengendalian akses mengurangi konflik lateral dan berhenti berulang. Akan tetapi, penelitian tidak merekam trajektori kecepatan, RPM, throttle, atau jumlah akselerasi; karena itu, 'arus mendekati steady-state' diperlakukan sebagai interpretasi mekanistik yang masuk akal, bukan hasil pengukuran langsung.

Konsumsi bahan bakar per perjalanan dan ketidakpastian pengukuran

Konsumsi total rata-rata adalah 2,25 L pada tol (SD 0,40) dan 2,15 L pada arteri (SD 0,77). Selisih rata-rata tol-arteri sebesar 0,10 L memiliki IK 95% -0,46 sampai 0,57 L. Uji Wilcoxon menghasilkan $W = 29,5$, $p = 0,5186$, dan $r_{rb} = 0,24$. Dengan demikian, data tidak mendukung pernyataan bahwa salah satu rute lebih hemat berdasarkan liter per perjalanan. Lebarnya interval kepercayaan dan kecilnya selisih relatif terhadap volume yang diukur juga menunjukkan bahwa hasil bahan bakar kurang presisi dibandingkan hasil waktu.



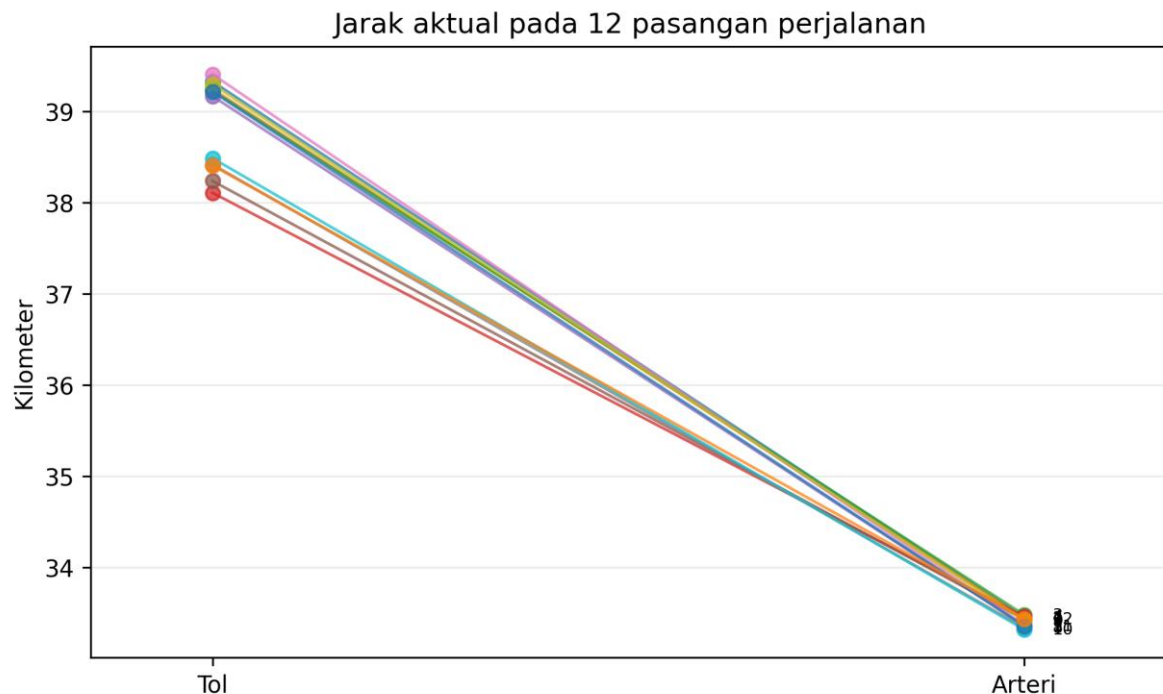
Gambar 5. Perbandingan konsumsi bahan bakar pada seluruh pasangan pengujian.

Variasi arteri dari 1,50 hingga 4,30 L pada durasi yang sama-sama panjang memerlukan kehati-hatian. Kondisi hujan, macet, penggunaan aksesoris, profil akselerasi, atau mekanisme full-to-full dapat berkontribusi, tetapi data penelitian tidak memisahkan pengaruhnya. Literatur konsumsi dunia nyata menunjukkan bahwa kecepatan, AC, beban, dan pola berkendara dapat mengubah konsumsi secara substansial (Zhou et al., 2023; Mohammadnazar et al., 2024). Di sisi lain, ketidakpastian pengukuran juga harus dipertimbangkan karena selisih utama hanya sekitar 100 mL. Oleh sebab itu, penjelasan aerodinamis tidak digunakan sebagai sebab tunggal.

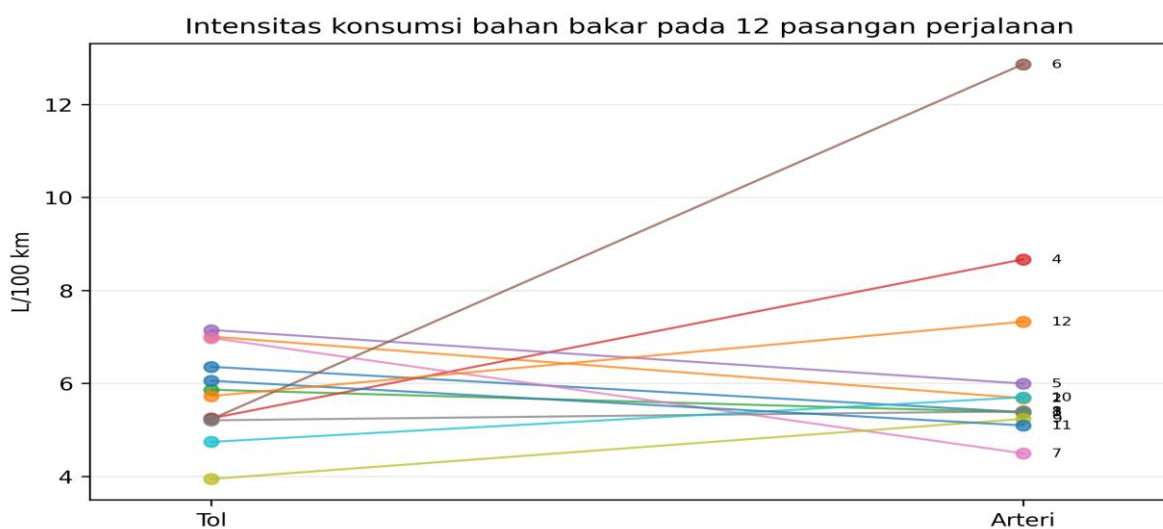
Pada analisis sensitivitas yang mengecualikan pasangan 6 dan 7, selisih rata-rata konsumsi menjadi 0,23 L, tetapi tetap tidak signifikan ($n = 10$; $p = 0,3750$; $r_{rb} = 0,36$; IK 95% -0,12-0,55 L). Untuk L/100 km, selisih rata-rata menjadi -0,26 L/100 km dan tetap tidak signifikan ($p = 0,7695$; $r_{rb} = -0,13$; IK 95% -1,21-0,59). Dengan demikian, observasi ekstrem memengaruhi besaran rata-rata, tetapi tidak mengubah keputusan inferensial.

Perbedaan jarak dan konsumsi ternormalisasi

Jarak tol rata-rata 38,88 km, sedangkan arteri 33,41 km; tambahan 5,48 km setara 16,39%. Perbedaan ini signifikan secara berpasangan ($p = 0,0005$) dan menegaskan bahwa liter per perjalanan serta L/100 km menjawab pertanyaan berbeda. Rata-rata nilai per perjalanan yang dinormalisasi adalah 5,79 L/100 km pada tol dan 6,43 L/100 km pada arteri. Namun, selisih -0,64 L/100 km memiliki IK 95% -2,25 sampai 0,66, dengan $W = 34,0$, $p = 0,7334$, dan $r_{rb} = -0,13$. Median tol justru 5,80 L/100 km, sedikit di atas median arteri 5,54 L/100 km. Karena hasil rata-rata sensitif terhadap nilai arteri 12,86 L/100 km, naskah tidak menyimpulkan bahwa tol lebih efisien per kilometer.



Gambar 6. Perbandingan jarak aktual pada seluruh pasangan pengujian.



Gambar 7. Perbandingan konsumsi bahan bakar ternormalisasi pada seluruh pasangan pengujian.

Secara teori, jarak yang lebih panjang meningkatkan kebutuhan energi total, sedangkan stop-and-go meningkatkan energi akselerasi dan idling; kecepatan lebih tinggi juga dapat meningkatkan hambatan aerodinamis (Ahn & Rakha, 2008; Fontaras et al., 2017). Data ini hanya mengamati hasil akhir perjalanan, bukan gaya hambat atau daya mesin. Karena itu, konsumsi tol yang sedikit lebih tinggi per perjalanan kemungkinan berkaitan dengan kombinasi tambahan jarak, pola kecepatan, dan kondisi operasional, tetapi mekanisme tersebut belum diuji langsung. Pengukuran OBD-II atau fuel-flow meter berfrekuensi tinggi diperlukan untuk menguji penjelasan tersebut.

Kelayakan ekonomi dan ambang impas nilai waktu

Dengan tarif Rp50.500 dan penghematan waktu rata-rata 24,44 menit, ambang impas utama adalah Rp123.977 per jam. Ambang berubah menjadi Rp180.009 per jam ketika penghematan hanya sebesar kuartil pertama (16,83 menit), Rp145.638 per jam pada median (20,81 menit), dan Rp85.964 per jam pada kuartil ketiga (35,25 menit). Analisis sekunder yang memasukkan selisih bahan bakar 0,104 L pada harga ilustratif Rp13.000/L menghasilkan Rp127.302 per jam. Karena selisih bahan bakar tidak signifikan dan harga belum dikonfirmasi, angka sekunder tidak menjadi kesimpulan utama.

Tabel 7. Analisis sensitivitas ambang impas nilai waktu

Skenario	Penghematan waktu (menit)	Biaya tambahan	Ambang impas
Penghematan kecil (Q1)	16,83	Rp50.500	Rp180.009/jam
Penghematan median	20,81	Rp50.500	Rp145.638/jam
Penghematan rata-rata (utama)	24,44	Rp50.500	Rp123.977/jam
Penghematan besar (Q3)	35,25	Rp50.500	Rp85.964/jam
Rata-rata + selisih BBM ilustratif	24,44	Rp51.854*	Rp127.302/jam

*Menggunakan selisih rata-rata 0,104 L dan asumsi ilustratif Rp13.000/L. Ganti dengan harga aktual setelah jenis dan tanggal pembelian bahan bakar dikonfirmasi.

Interpretasi ambang harus dibatasi pada keputusan biaya-waktu. Pengguna dengan nilai waktu subjektif di atas ambang dapat menganggap tol layak pada kondisi asumsi tersebut, tetapi penelitian tidak mengamati pilihan rute aktual atau distribusi nilai waktu populasi. Generalized cost juga dapat mencakup ketidakpastian kedatangan, kenyamanan, risiko, keausan, dan biaya lain yang tidak dimonetisasi di sini (Small et al., 2005; Kouwenhoven et al., 2014; Meunier, 2020). Oleh karena itu, ambang impas bukan bukti bahwa pengguna tertentu akan memilih tol.

Implikasi, kekuatan, dan keterbatasan

Bagi pengguna, bukti paling kuat adalah penghematan waktu yang konsisten pada seluruh pasangan. Bagi pengelola, penyediaan informasi waktu aktual dapat membantu keputusan rute, tetapi klaim reliabilitas memerlukan pengamatan berfrekuensi tinggi dalam periode lebih panjang. Bagi penelitian transportasi-otomotif, hasil menunjukkan pentingnya memisahkan biaya bahan bakar per perjalanan dari intensitas per jarak dan menggabungkan keduanya dengan ketidakpastian pengukuran.

Kekuatan studi meliputi titik asal-tujuan yang sama, kendaraan dan pengemudi yang sama, beban relatif tetap, dua arah, beberapa sesi, serta keterbukaan data mentah. Keterbatasan utamanya adalah satu kendaraan, 12 pasangan, periode singkat, urutan rute dan interval yang belum terdokumentasi lengkap, cuaca/lalu lintas yang tidak identik, klasifikasi lalu lintas yang subjektif, satu koreksi jarak GPS dengan odometer, tidak adanya data kontinu kecepatan-RPM-throttle-gradien, dan ketidakpastian full-to-full pada volume kecil. Keterbatasan tersebut membatasi inferensi kausal serta generalisasi hasil.

KESIMPULAN

Pada 12 pasangan perjalanan yang diamati, rute tol mempersingkat waktu rata-rata sebesar 24,44 menit atau 42,83%, dan seluruh pasangan menunjukkan arah perbedaan yang sama. Efek waktu kuat secara statistik, sedangkan IQR dan CV yang lebih kecil hanya mendukung kesimpulan deskriptif bahwa waktu tol lebih konsisten dalam sampel, bukan klaim reliabilitas populasi. Konsumsi bahan bakar per perjalanan berbeda 0,10 L dan L/100 km berbeda -0,64, tetapi kedua perbedaan tidak signifikan dan interval kepercayaannya lebar. Karena itu, data tidak mendukung klaim bahwa tol lebih hemat atau lebih boros bahan bakar. Dengan tarif Rp50.500 dan tanpa memasukkan selisih bahan bakar yang tidak pasti, ambang impas berbasis penghematan waktu rata-rata adalah sekitar Rp123.977 per jam. Temuan utama penelitian adalah keuntungan waktu yang besar pada kasus yang diamati; interpretasi bahan bakar, mekanisme kendaraan, dan nilai waktu pengguna memerlukan data yang lebih presisi dan cakupan yang lebih luas.

REKOMENDASI

Penelitian lanjutan perlu menggunakan desain counterbalanced atau randomisasi urutan rute, waktu keberangkatan yang berdekatan, jumlah pasangan yang ditentukan melalui analisis daya, dan pengamatan lintas musim. Pengukuran bahan bakar sebaiknya memakai fuel-flow meter atau OBD-II yang divalidasi, disertai rekaman kecepatan, RPM, throttle, penggunaan AC, gradien, suhu, waktu berhenti, serta akselerasi. Analisis berikutnya dapat menggunakan model campuran untuk memisahkan efek rute dari hari, sesi, arah, cuaca, dan lalu lintas. Nilai waktu pengguna perlu diestimasi melalui stated-preference atau revealed-preference jika hendak dijadikan hasil perilaku, bukan hanya ambang impas.

ACKNOWLEDGMENT

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, serta seluruh pihak yang membantu pelaksanaan pengujian lapangan dan dokumentasi data.

REFERENSI

- Ahn, K., & Rakha, H. (2008). The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13(3), 151-167.
- Anas, R., Hastuty, I. P., & Nasution, D. W. (2023). Direct user benefit of Medan-Binjai Toll Road based on vehicle operating cost. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0129286>

- Badan Pengatur Jalan Tol. (2025). Jalan Tol Padang-Sicincin melayani kendaraan pada masa operasional fungsional. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Carrion, C., & Levinson, D. (2012). Value of travel time reliability: A review of current evidence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(4), 720-741.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). Jalan Tol Padang-Sicincin resmi dibuka 24 jam. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1993). *An introduction to the bootstrap*. Chapman & Hall/CRC.
- Ericsson, E. (2001). Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6(5), 325-345.
- Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe: Laboratory versus real-world emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97-131. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.12.004>
- Hutama Karya. (2025). Pemberlakuan tarif Jalan Tol Padang-Sicincin berdasarkan Keputusan Menteri PU Nomor 672/KPTS/M/2025.
- International Transport Forum. (2019). What is the value of saving travel time? OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/eeb102ea-en>
- Kouwenhoven, M., de Jong, G. C., Koster, P., van den Berg, V. A. C., Verhoef, E. T., Bates, J., & Warffemius, P. M. J. (2014). New values of time and reliability in passenger transport in the Netherlands. *Research in Transportation Economics*, 47, 37-49.
- Meunier, D. (2020). The value of travel time savings in evaluation. *International Transport Forum Discussion Papers*, 2020/12. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/6915d856-en>
- Mohammadnazar, A., Khattak, Z. H., & Khattak, A. J. (2024). Assessing driving behavior influence on fuel efficiency using machine-learning and drive-cycle simulations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 126, 104025. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.104025>
- Pavlovic, J., Fontaras, G., Broekaert, S., Ciuffo, B., Ktistakis, M. A., & Grigoratos, T. (2021). How accurately can we measure vehicle fuel consumption in real world operation? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90, 102666. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102666>
- Primadia, R., & Purnawan. (2023). Economic and financial feasibility analysis of Pekanbaru-Padang Trans Sumatera Toll Road, Padang-Sicincin section. *E3S Web of Conferences*, 464, 15005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346415005>
- SAE International. (2023). SAE J1082_202305: Fuel economy measurement-road test procedure. https://doi.org/10.4271/J1082_202305
- Small, K. A., Winston, C., & Yan, J. (2005). Uncovering the distribution of motorists' preferences for travel time and reliability. *Econometrica*, 73(4), 1367-1382.
- Syafi'i, Handayani, D., Mahmudah, A. M. H., Agustin, T., Hartono, W., & Emilia, V. M. (2024). Impact of toll road on performance of road network and emissions: Case study of Sragen Regency. *Civil Engineering and Architecture*, 12(3A), 2354-2359. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.121329>

- Transportation Research Board. (2022). Highway capacity manual: A guide for multimodal mobility analysis (7th ed.). National Academies Press.
- Woolson, R. F. (2005). Wilcoxon signed-rank test. In P. Armitage & T. Colton (Eds.), *Encyclopedia of Biostatistics*. Wiley.
<https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a15177>
- Yermadona, H. (2019). Analisis tingkat pelayanan jalan akibat aktivitas Pasar Tradisional Koto Baru Kabupaten Tanah Datar. *Ensiklopedia of Journal*, 1(2), 186-192.
- Yuan, W., Frey, H. C., & Wei, T. (2022). Fuel use and emission rates reduction potential for light-duty gasoline vehicle eco-driving. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 109, 103394.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103394>
- Zang, Z., Xu, X., Qu, K., Chen, R., & Chen, A. (2022). Travel time reliability in transportation networks: A review of methodological developments. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 143, 103866.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103866>
- Zhou, B., He, L., Zhang, S., Wang, R., Zhang, L., Li, M., Liu, Y., Zhang, S., Wu, Y., & Hao, J. (2023). Variability of fuel consumption and CO₂ emissions of a gasoline passenger car under multiple in-laboratory and on-road testing conditions. *Journal of Environmental Sciences*, 125, 266-276.
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.12.042>