

KAJIAN DAMPAK LALU LINTAS DAN EFISIENSI NILAI WAKTU SERTA BIAYA KONSUMSI BBM AKIBAT RENCANA PEMBANGUNAN JALAN LINGKAR LUAR KOTA SEI RAMPAH DI KABUPATEN SERDANG BEDAGAI

Muhammad Roihan Qodri¹, Yuanda Patria Tama², Hardjana³

¹Mahasiswa Program Studi Transportasi Darat Sarjana Terapan, Politeknik Transportasi Darat Indonesia – STTD
Jalan Raya Setu No. 89, Cibuntu, Cibitung, Bekasi, Jawa Barat 17520

*Correspondence to: roihanqodri161103@gmail.com

Abstrak: Kabupaten Serdang Bedagai dilintasi oleh Jalan Raya Lintas Timur Sumatera dan menjadi jalur utama pergerakan eksternal-eksternal. Arus lalu lintas menerus yang tinggi menyebabkan penurunan kinerja ruas jalan utama, terutama di dalam kota yang memiliki Pusat Kegiatan Lokal (PKL). Untuk mengatasi hal ini, Pemerintah Kabupaten Serdang Bedagai merencanakan pembangunan Jalan Lingkar Luar Kota Sei Rampah sebagaimana tercantum dalam RTRW kabupaten. Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak pembangunan jalan lingkar terhadap kinerja lalu lintas dan efisiensi ekonomi. Dengan metode Gravity Model, sebaran pergerakan dianalisis dan dibebankan pada jaringan jalan dalam dua skenario, yaitu kondisi tanpa jalan lingkar (*Do-Nothing*) dan setelah jalan lingkar beroperasi (*Do-Something*), baik untuk tahun dasar 2024 maupun proyeksi tahun 2029. Hasil analisis menunjukkan bahwa keberadaan jalan lingkar secara signifikan meningkatkan kinerja jaringan jalan. Pada tahun 2024, skenario *Do-Something* menurunkan *V/C Ratio* hingga 79%, meningkatkan kecepatan sebesar 36%, dan mengubah tingkat pelayanan dari “D” menjadi “A”. Di tahun 2029, *V/C Ratio* turun 57%, kecepatan meningkat 63%, dan LoS naik dari “F” menjadi “A”. Secara ekonomis, efisiensi nilai waktu mencapai Rp11.531/jam atau sekitar 35,78% di tahun 2024 dan Rp30.040/jam atau sekitar 47,67% di tahun 2029. Penghematan biaya BBM juga tercatat sebesar Rp18.583 atau 5,90% di tahun 2024 dan Rp85.889 atau 16,29% di tahun 2029.

Kata Kunci: Jalan Lingkar, *Through Traffic*, *Do-Nothing*, *Do-Something*.

Abstract: Serdang Bedagai Regency is traversed by the Eastern Sumatra Highway and serves as a primary route for external-to-external traffic movements. The high volume of through traffic has resulted in declining performance of the main road segments, especially in urban areas containing Local Activity Centers (PKL). To address this issue, the Serdang Bedagai Regency Government has planned the development of the Sei Rampah Outer Ring Road, as stated in the regional spatial plan (RTRW). This study aims to evaluate the impact of the proposed ring road on traffic performance and economic efficiency. Using the Gravity Model method, trip distributions are analyzed and assigned to the road network under two scenarios: without the ring road (*Do-Nothing*) and with the ring road operational (*Do-Something*), for both the base year 2024 and the projected year 2029. The analysis shows that the ring road significantly improves road network performance. In 2024, the *Do-Something* scenario reduces the *V/C ratio* by up to 79%, increases speed by 36%, and improves the level of service (LoS) from “D” to “A”. By 2029, the *V/C ratio* decreases by 57%, speed increases by 63%, and LoS improves from “F” to “A”. Economically, the time value efficiency reaches Rp11,531/hour (approximately 35.78%) in 2024 and Rp30,040/hour (approximately 47.67%) in 2029. Fuel cost savings are also observed, amounting to Rp18,583 (5.90%) in 2024 and Rp85,889 (16.29%) in 2029.

Keywords: Ring Road, *Through Traffic*, *Do-Nothing*, *Do-Something*.

Pendahuluan

Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Serdang Bedagai dalam Perda No. 1 Tahun 2021 menetapkan Sei Rampah sebagai Pusat Kegiatan Lokal (PKL), meliputi Desa Firdaus dan Sei Rampah, dengan fungsi utama sebagai pusat pemerintahan, permukiman, perdagangan, dan jasa. Perkembangan wilayah ini mendorong pertumbuhan mobilitas yang signifikan, tercermin dari tingginya kepemilikan kendaraan dengan rata-rata 4,4 unit per rumah tangga berdasarkan data dari Tim PKL Serdang Bedagai, 2024. Selain itu, kawasan ini dilalui oleh jaringan jalan nasional yang melayani pergerakan lokal dan regional, termasuk arus lalu lintas eksternal-eksternal (*through traffic*) yang mencapai 22.259 perjalanan orang per hari.

Tingginya intensitas lalu lintas berdampak pada penurunan kinerja jaringan jalan utama, khususnya pada koridor Jalan Besar Pasar Bengkel, yang merupakan satu-satunya akses utama menuju pusat kota. Hasil survei menunjukkan kecepatan rata-rata kendaraan hanya 22,31 km/jam dengan derajat kejenuhan (*V/C*) sebesar 0,86 dan tingkat pelayanan (LOS) “D”. Kondisi ini mengindikasikan bahwa koridor tersebut sudah mendekati kapasitas

maksimum dan berisiko mengalami kemacetan kronis. Selain menurunnya performa operasional, kualitas fisik jalan juga mengalami degradasi akibat tingginya frekuensi kendaraan berat dan overloading. Studi sebelumnya menegaskan bahwa beban berlebih mempercepat kerusakan struktural jalan dan meningkatkan biaya pemeliharaan (Hazifa et al., 2022)

Upaya pelebaran jalan terbatas oleh ruang yang tersedia, karena koridor perkotaan Sei Rampah telah padat oleh aktivitas komersial. Dalam konteks ini, pembangunan jalan lingkar luar menjadi solusi strategis yang dapat mengalihkan pergerakan kendaraan non-lokal keluar dari pusat kota. Fungsi jalan lingkar luar—sebagaimana didefinisikan oleh Kementerian PUPR (2016)—adalah mengurai konflik arus lalu lintas campuran dan meningkatkan efisiensi sistem jaringan, terutama untuk trayek kendaraan berat atau antarwilayah. Studi oleh Mastika et al. (2018) juga menekankan bahwa segregasi arus internal dan eksternal dapat meningkatkan kinerja sistem transportasi secara keseluruhan.

Pembangunan jalan lingkar luar Sei Rampah menjadi penting untuk dikaji secara menyeluruh, tidak hanya dari aspek teknis lalu lintas tetapi juga dari perspektif efisiensi operasional dan manfaat ekonomis. Kajian ini akan menilai potensi peningkatan kinerja jalan, perubahan pola pergerakan lalu lintas, serta efisiensi waktu dan konsumsi bahan bakar. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan perbandingan antara kondisi eksisting (*do-nothing*) dan kondisi setelah pembangunan jalan lingkar (*do-something*), dengan tujuan mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam perencanaan transportasi yang berkelanjutan di Kabupaten Serdang Bedagai.

Metode

Pengumpulan data dilakukan melalui data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari survei lapangan di ruas Jalan Lingkar Luar Kota Sei Rampah, mencakup pengamatan guna lahan sekitar jalan, inventarisasi kondisi geometrik dan fasilitas pendukung, pencacahan lalu lintas menurut klasifikasi kendaraan (*Classified Traffic Counting*), pengukuran kecepatan dengan metode *Moving Car Observer* (MCO), serta survei pengguna jalan melalui *Home Interview* dan *Roadside Interview* (RSI). Data sekunder diperoleh dari BPS, Bappeda, dan Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Serdang Bedagai, serta data pendukung seperti PDRB, konsumsi BBM, dan nilai waktu dari studi terdahulu.

Proses analisis dalam penelitian ini meliputi tiga tahapan utama. Pertama, pemodelan bangkitan dan sebaran perjalanan dilakukan menggunakan *Doubly Constrained Gravity Model* (DCGM) dengan fungsi hambatan Tanner dan kalibrasi melalui regresi linier. Hasil distribusi digunakan sebagai input dalam pembebanan lalu lintas menggunakan pendekatan *user equilibrium* (Wardrop, 1952) melalui perangkat lunak *PTV Visum*. Kedua, analisis kinerja ruas jalan mengacu pada PKJI 2023 dan standar LOS *Thurston Regional Planning Council* untuk menghitung volume, kapasitas, V/C ratio, kecepatan arus bebas, dan tingkat pelayanan. Ketiga, analisis nilai ekonomis dilakukan dengan pendekatan PDRB per kapita untuk menghitung nilai waktu perjalanan, serta metode PCI (*Pacific Consultants International*) untuk estimasi konsumsi BBM, yang kemudian dikonversi menjadi biaya operasional kendaraan (BOK).

Hasil dan Analisis

1. Analisis Sebaran Pergerakan

a. Pembagian Zona

Analisis sebaran pergerakan dilakukan untuk memetakan distribusi perjalanan antarzona pada wilayah studi Jalan Lingkar Luar Kota Sei Rampah. Zona dibagi menjadi sembilan, terdiri dari empat zona internal yang mencakup wilayah langsung terdampak pembangunan, dan lima zona eksternal yang merupakan agregasi wilayah sekitarnya berdasarkan zonasi Tim PKL Kabupaten Serdang Bedagai Tahun 2024. Pembagian ini didasarkan pada kesamaan karakteristik guna lahan dan batas administratif guna mempermudah pemodelan transportasi.

rencana (2029) disesuaikan dengan tren pertumbuhan penduduk dan kendaraan. Distribusi perjalanan divisualisasikan dalam bentuk matriks asal-tujuan (OD matrix), yang selanjutnya digunakan sebagai input dalam pemodelan pembebanan lalu lintas untuk menilai dampak operasional pembangunan jalan lingkaran luar.

b. Bangkitan Perjalanan

Model bangkitan perjalanan digunakan untuk mengetahui jumlah arus lalu lintas yang muncul dari dan menuju setiap zona di wilayah studi, khususnya dalam konteks pembangunan Jalan Lingkaran Luar Kota Sei Rampah. Data diperoleh dari survei *Home Interview* dan *Roadside Interview* oleh Tim PKL Kabupaten Serdang Bedagai 2024, yang kemudian diolah dalam bentuk matriks asal-tujuan (OD matrix) berdasarkan klasifikasi jenis kendaraan. Zonasi disederhanakan dari 48 menjadi 9 zona (termasuk eksternal) agar lebih representatif, sementara pergerakan intrazona diabaikan karena tidak berdampak signifikan pada beban jaringan dalam sistem zonasi kasar.

Volume kendaraan harian dikonversi menjadi volume jam puncak dengan pendekatan 10% dari total volume harian, mengacu pada PKJI 2023 dan kajian Fatikasari et al. (2024). Selanjutnya, volume per jenis kendaraan diklasifikasikan (SM, MP, KS, BB, TB) dan dikonversi ke satuan smp/jam menggunakan faktor Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP). Matriks hasil konversi ini menjadi dasar dalam analisis sebaran dan pembebanan lalu lintas, serta proyeksi dampak operasional pembangunan jalan lingkaran luar.

Tabel 3 MAT Semua Kendaraan (smp/jam)

OD Gabung (smp/jam)										
OD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Oi
1	0	83	31	61	131	100	73	44	23	545
2	93	0	27	24	17	14	12	43	33	264
3	43	23	0	32	20	23	5	6	245	397
4	66	29	33	0	11	36	18	2	15	210
5	136	23	18	85	0	80	54	98	85	578
6	103	16	9	120	83	0	93	11	16	449
7	75	27	1	24	120	93	0	39	44	421
8	84	70	0	25	95	19	69	0	25	387
9	23	21	233	14	87	17	42	23	0	460
Dd	623	291	351	384	563	382	367	264	486	3711

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 4 Pola Pergerakan Kendaraan Tahun 2024

NO	Pola Pergerakan	Jumlah Pergerakan (smp/jam)
1	Eksternal-eksternal	1.192
2	Eksternal-Internal	1.105
3	Internal-Eksternal	871
4	Internal-Internal	544

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Bangkitan dan tarikan lalu lintas dihitung dari OD matriks tahun dasar (2024), lalu diproyeksikan ke tahun rencana (2029) menggunakan laju pertumbuhan lalu lintas sebesar 4,83% per tahun (Kementerian Pekerjaan Umum, 2024), sesuai pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan (2024), dengan rumus sebagai berikut:

$$LHR_n = (1 + i)^n \times LHR_0$$

Rumus 1 Pertumbuhan Majemuk

Berikut merupakan tabulasi hasil penentuan bangkitan dan tarikan tahun eksisting serta peramalan model untuk setiap zona tahun 2029:

Tabel 5 Bangkitan dan Tarikan Tahun 2024 dan 2029

Zona	Bangkitan		Tarikan	
	LHR ₀ (2024)	LHR ₅ (2029)	LHR ₀ (2024)	LHR ₅ (2029)
1	545	690	623	789
2	264	334	291	368
3	397	502	351	444
4	210	266	384	486
5	578	732	563	713
6	449	569	382	483
7	421	534	367	465
8	387	490	264	335
9	460	582	486	615

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil konversi OD matriks, zona dengan bangkitan dan tarikan tertinggi tahun 2024 adalah zona 1 dan zona 5. Setelah proyeksi menggunakan laju pertumbuhan tersebut, pada tahun 2029 bangkitan tertinggi tetap berasal dari zona 1 sebesar 690 smp/jam dan tarikan tertinggi juga di zona 1 sebesar 789 smp/jam. Secara umum, seluruh zona mengalami peningkatan volume pergerakan, dengan

kontribusi signifikan dari pergerakan eksternal-eksternal yang mendominasi beban lalu lintas di wilayah kajian.

c. Model Sebaran Pergerakan

Model sebaran pergerakan digunakan untuk mendistribusikan arus perjalanan dari zona asal (i) ke zona tujuan (j) berdasarkan besarnya bangkitan dan tarikan serta hambatan antar zona. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan *Doubly Constrained Gravity Model* (DCGR) karena mempertimbangkan keseimbangan antara total bangkitan dan tarikan dari seluruh zona, serta didukung ketersediaan data valid dari hasil survei. Tahapan awal dimulai dengan menyusun Matriks Cij berupa jarak antar zona yang digunakan sebagai dasar perhitungan biaya perjalanan. Jarak ini dihitung dari pusat zona asal ke pusat zona tujuan (dalam satuan kilometer).

Selanjutnya, dilakukan kalibrasi model dengan menerapkan regresi linier ($Y = A + BX$) terhadap data logaritma natural dari jumlah perjalanan ($T_{ij} = Y$) dan jarak antar zona ($C_{ij} = X$). Nilai Ai dan Bj ditentukan sesuai dengan jenis batasan model gravity yang digunakan (UCGR, SCGR, atau DCGR) (Tamin, 2000). Hasil analisis regresi memberikan nilai parameter α (1,22) dan β (0,78) yang dibutuhkan untuk membentuk fungsi hambatan menggunakan pendekatan *Tanner Impedance Function*, dengan α merupakan parameter skala yang mengontrol seberapa cepat nilai fungsi menurun dengan bertambahnya Cij, sedangkan β merujuk pada parameter sensitivitas yang menentukan seberapa *sensitive respon* pergerakan yang terjadi terhadap hambatan yang dalam hal ini adalah jarak antar zona.

$$F(C_{ij}) = (1 + \frac{C_{ij}}{\alpha})^{-\beta}$$

Rumus 2 Persamaan Fungsi Hambatan

Tabel 6 Matriks Cij Jarak (km)

OD	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	4	4	8	18	32	16	10	9
2	4	0	9	5	22	30	14	5	17
3	4	9	0	12	15	35	17	14	5
4	8	5	12	0	25	22	7	10	17
5	18	22	15	25	0	45	30	25	16
6	32	30	35	22	45	0	13	30	33
7	16	14	17	7	30	13	0	18	23
8	10	5	14	10	25	30	18	0	17
9	9	17	5	17	16	33	23	17	0

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 7 OD Matriks F(Cij)

Matriks Fungsi Jarak F(Cij) = Tanner F(Cij) = (1 + Cij/α)^-β										
OD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Oi'
1	0,000	0,319	0,319	0,213	0,115	0,075	0,125	0,175	0,188	690
2	0,319	0,000	0,188	0,287	0,099	0,078	0,138	0,278	0,120	334
3	0,319	0,188	0,000	0,154	0,131	0,070	0,120	0,138	0,297	502
4	0,213	0,287	0,154	0,000	0,090	0,099	0,223	0,172	0,120	266
5	0,115	0,099	0,131	0,090	0,000	0,058	0,078	0,090	0,128	732
6	0,075	0,078	0,070	0,099	0,058	0,000	0,145	0,078	0,073	569
7	0,125	0,138	0,120	0,223	0,078	0,145	0,000	0,115	0,096	534
8	0,175	0,278	0,138	0,172	0,090	0,078	0,115	0,000	0,120	490
9	0,188	0,120	0,297	0,120	0,128	0,073	0,096	0,120	0,000	582
Dj'	789	368	444	486	713	483	465	335	615	4699

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Setelah diperoleh nilai F(Cij) untuk seluruh kombinasi zona, dilakukan iterasi perhitungan faktor Ai dan Bj sesuai metode DCGR. Nilai awal Bj ditetapkan sebesar 1, lalu dihitung Ai dan dilanjutkan dengan perhitungan Bi dengan persamaan:

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j \times F(C_{ij}) \times D'_{ij}}$$

Rumus 3 Persamaan DCGR Ai

$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i \times F(C_{ij}) \times O'_i}$$

Rumus 4 Persamaan DCGR Bj

Iterasi dilakukan untuk mendapatkan nilai Ai dan Bj yang stabil, yang pada kasus ini tercapai pada iterasi ke-6 dan akan dilakukan proyeksi MAT untuk mendapatkan hasil matriks (Tij) tahun 2029 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_{ij} = A_i \times B_j \times P_i \times A_j \times F(C_{ij})$$

Rumus 5 Persamaan Gravity Model

Berikut merupakan hasil perhitungan iterasi sebaran pergerakan dengan metode DCGR, serta hasil proyeksi MAT (Tij) tahun 2029:

Tabel 8 Iterasi DCGR

Iterasi	Bj1	Bj2	Bj3	Bj4	Bj5	Bj6	Bj7	Bj8	Bj9	Ai1	Ai2	Ai3	Ai4	Ai5	Ai6	Ai7	Ai8	Ai9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,0014	0,0012	0,0012	0,0015	0,0025	0,0029	0,0019	0,0016	0,0017
2	0,8388	0,7565	0,7582	0,817	1,5683	1,7548	1,1056	1,0421	0,9944	0,0014	0,0012	0,0012	0,0014	0,0026	0,0029	0,0018	0,0016	0,0017
3	0,8381	0,7563	0,7555	0,8178	1,5823	1,7626	1,0987	1,0415	0,9887	0,0014	0,0012	0,0012	0,0014	0,0026	0,0029	0,0018	0,0016	0,0017
4	0,8381	0,7562	0,7556	0,8179	1,5828	1,763	1,0984	1,0414	0,9884	0,0014	0,0012	0,0012	0,0014	0,0026	0,0029	0,0018	0,0016	0,0017
5	0,8381	0,7562	0,7556	0,8179	1,5829	1,763	1,0984	1,0414	0,9884	0,0014	0,0012	0,0012	0,0014	0,0026	0,0029	0,0018	0,0016	0,0017
6	0,8381	0,7562	0,7556	0,8179	1,5829	1,763	1,0984	1,0414	0,9884	0,0014	0,0012	0,0012	0,0014	0,0026	0,0029	0,0018	0,0016	0,0017

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 9 Proyeksi MAT Semua Kendaraan Tahun 2029 (smp/jam)

MAT smp/jam Tahun 2029											
OD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O _i	O _j
1	0	86	104	82	125	62	62	59	111	690	690
2	87	0	26	47	46	28	29	40	30	334	334
3	129	32	0	37	90	36	37	29	110	502	502
4	53	30	19	0	38	32	43	23	27	266	266
5	146	53	84	69	0	94	77	60	149	732	732
6	81	36	39	65	107	0	122	45	73	569	569
7	79	37	38	84	84	118	0	38	55	534	534
8	93	62	37	55	82	54	47	0	59	490	490
9	120	32	96	46	140	60	47	40	0	582	582
D _j	789	368	444	486	713	483	465	335	615	4699	
D _i	789	368	444	486	713	483	465	335	615		4699

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 10 Pola Pergerakan Kendaraan Tahun 2029

NO	Pola Pergerakan	Jumlah Pergerakan (smp/jam)
1	Eksternal-eksternal	1.553
2	Eksternal-Internal	1.354
3	Internal-Internal	1.058
4	Internal-Internal	733

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Hasil MAT tahun 2029 digunakan untuk mengidentifikasi pola pergerakan dominan. Pola eksternal-eksternal tercatat sebagai yang terbesar yaitu 1.553 smp/jam, menunjukkan tingginya volume pergerakan yang hanya melintasi kawasan studi, dan mendukung urgensi keberadaan jalan lingkar luar sebagai jalur alternatif bypass.

2. Analisis Kinerja Ruas Jalan

a. Hasil Survei Eksisting

Kawasan studi memiliki karakteristik tata guna lahan yang beragam, terutama pada kawasan pusat seperti Jalan Besar Pasar Bengkel segmen 6 yang didominasi oleh aktivitas komersial dan pasar, sehingga menghasilkan hambatan samping yang tinggi dan berdampak terhadap penyempitan lebar efektif jalan. Proses analisis kinerja ruas jalan diawali dengan menghitung kapasitas jalan berdasarkan parameter geometrik hasil survei inventarisasi, menggunakan pendekatan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Kapasitas dasar (C_0) dikalikan dengan berbagai faktor penyesuaian, seperti tipe jalan, lebar jalur efektif, lebar bahu, hambatan samping, serta ukuran kota untuk mendapatkan kapasitas akhir tiap ruas.

Selanjutnya, volume lalu lintas yang diperoleh melalui survei pencacahan kendaraan (*traffic counting*) selama 16 jam dikonversikan ke dalam satuan mobil penumpang (smp) dengan mengacu pada faktor ekivalensi PKJI 2023. Volume ini dibandingkan dengan kapasitas untuk memperoleh nilai derajat kejenuhan (*V/C ratio*). Nilai *V/C* yang semakin mendekati 1 menandakan kinerja jalan yang semakin jenuh dan mendekati kondisi kapasitas maksimal.

Kecepatan tempuh rata-rata ditentukan melalui survei *Moving Car Observer (MCO)*, sementara kecepatan arus bebas dihitung berdasarkan metode PKJI 2023, dengan memperhitungkan lebar jalur, hambatan samping, dan ukuran kota. Hasil analisis kinerja ruas jalan ini kemudian digunakan untuk menentukan tingkat pelayanan (*Level of Service/LOS*) pada tiap ruas, dengan mengacu pada kriteria gabungan kecepatan dan *V/C ratio* berdasarkan dokumen *Level of Service Standard and Measurements* oleh *Thurston Regional Planning Council*.

Berikut merupakan kinerja ruas jalan pada wilayah kajian pada kondisi eksisting tahun 2024 (*do-nothing*):

Tabel 11 Hasil Analisis Kinerja Ruas Jalan Eksisting (*Do-Nothing*)

No	Nama Jalan	Volume (smp/jam)	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (<i>V/C Ratio</i>)	Kecepatan Tempuh (km/jam)	Kecepatan Arus Bebas (km/jam)	Tingkat Pelayanan
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$d = b/c$	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
1	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 3)	1.463,85	2.553,04	0,57	33,43	39,50	A
2	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Tebing Tinggi	737,75	1.613,98	0,23	41,40	55,77	A
3	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Medan	711,40	1.613,98	0,22	41,77	55,77	A
4	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 5)	1.454,85	2.342,48	0,62	28,67	35,91	B
5	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 6)	1.859,75	2.158,24	0,86	22,31	32,72	D
6	Jl. Medan (Segmen 1)	1.499,40	2.342,48	0,64	28,40	35,91	B

No	Nama Jalan	Volume (smp/jam)	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (V/C Ratio)	Kecepatan Tempuh (km/jam)	Kecepatan Arus Bebas (km/jam)	Tingkat Pelayanan
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$d = b/c$	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
7	Jl. Sialang Buah (Kolektor Matapao)	889,00	2.106,65	0,42	33,51	35,57	A
8	Jl. Bedagai (Kolektor Rampah)	976,70	2.106,65	0,46	36,37	35,57	A

Sumber: Hasil Analisis, 2025

b. Kinerja Ruas Jalan Pemodelan Tahun 2024

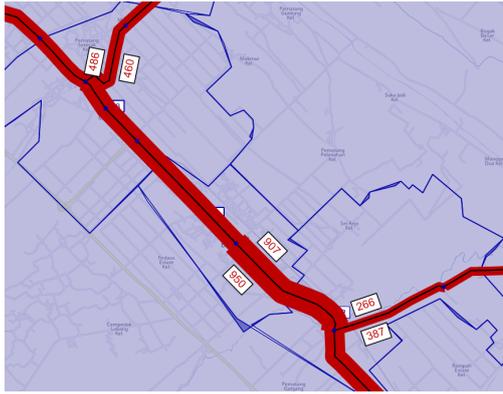
Sebaran pergerakan kendaraan pada tahun rencana 2024 dimodelkan ke dalam jaringan jalan wilayah kajian menggunakan perangkat lunak PTV Visum dengan pendekatan user equilibrium, di mana pengguna jalan diasumsikan memilih rute dengan waktu tempuh minimum. Pembebanan dilakukan berdasarkan atribut jaringan seperti panjang ruas, kapasitas, dan kecepatan arus bebas, menggambarkan kondisi *do-nothing* (tanpa pembangunan jalan baru). Model ini kemudian divalidasi menggunakan metode *Chi-square goodness of fit*, dengan hasil nilai X^2 hitung sebesar 5,64 lebih kecil dari nilai kritis (14,017), sehingga model dinyatakan valid. Selanjutnya, skenario *do-something* memproyeksikan kondisi tahun 2024 dan tahun rencana 2029 setelah beroperasinya Jalan Lingkar Luar Kota Sei Rampah sepanjang ±19 km yang dirancang 4 lajur 2 arah dengan kecepatan rencana 60 km/jam. Analisis ini berfokus pada dampak operasional jalan lingkar terhadap distribusi lalu lintas dan tidak mencakup aspek teknis konstruksi.

Tabel 12 Uji Validasi Chi-square

NO	Nama Ruas Jalan	Kapasitas (smp/jam)	Volume (smp/jam)		Uji Chi-square (Ei-Oi) ² /Oi
			Survei (Oi)	Model (Ei)	
1	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 3)	2.553,04	1.463,85	1.462,00	0,00
2	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Tebing Tinggi	3.227,96	737,75	748,00	0,14
3	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Medan	3.227,96	711,40	714,00	0,01
4	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 5)	2.342,48	1.454,85	1.462,00	0,03
5	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 6)	2.158,24	1.859,75	1.857,00	0,00
6	Jl. Medan (Segmen 1)	2.342,48	1.499,4	1.449,00	1,75
7	Jl. Sialang Buah (Kolektor Matapao)	2.106,65	890,70	946,00	3,23
8	Jl. Bedagai (Kolektor Rampah)	2.106,65	635,70	653,00	0,46
$X^2 = \sum((Ei-Oi)^2/Oi)$					5,64

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berikut merupakan hasil analisis kinerja ruas jalan dan jaringan lalu lintas berdasarkan pembebanan PTV Visum untuk tahun 2024 dengan skenario *do-nothing* dan *do-something* di wilayah kajian.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 2 Visualisasi Pembebanan Kondisi Do-Nothing Tahun 2024



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 3 Visualisasi Pembebanan Kondisi Do-Something Tahun 2024

Tabel 13 Perbandingan Kinerja Ruas Jalan Kondisi Do- Nothing dan Do-Something Tahun 2024

NO	RUAS JALAN	Tahun 2024							
		Do-Nothing				Do-Something			
		Volume (smp/jam)	V/C	Kecepatan Rata-rata (km/jam)	LoS	Volume (smp/jam)	V/C	Kecepatan Rata-rata (km/jam)	LoS
1	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 3)	1.462,00	0,57	31,33	A	1.143,00	0,45	34,84	A
2	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Tebing Tinggi	748,00	0,23	53,01	A	428,46	0,13	54,81	A
3	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Medan	714,00	0,22	53,25	A	379,78	0,12	55,01	A
4	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 5)	1.462,00	0,62	25,84	B	808,24	0,35	32,16	A
5	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 6)	1.857,00	0,86	18,80	D	1.203,24	0,56	25,17	A
6	Jl. Medan (Segmen 1)	1.449,00	0,62	25,97	B	931,24	0,40	31,09	A
7	Jl. Sialang Buah 1	946,00	0,45	33,28	A	1.099,76	0,52	28,29	A
8	Jl. Sialang Buah 2	946,00	0,45	33,28	A	946,00	0,45	29,95	A
9	Jl. Bedagai 1	653,00	0,31	36,42	A	295,00	0,14	35,29	A
10	Jl. Bedagai 2	653,00	0,31	36,42	A	653,00	0,31	32,78	A
11	Jalan Lingkar A (arah Tebing Tinggi)	-	-	-	-	319,54	0,07	66,15	A
12	Jalan Lingkar A (arah Medan)	-	-	-	-	334,22	0,08	66,12	A
13	Jalan Lingkar B (arah Tebing Tinggi)	-	-	-	-	233,22	0,05	66,31	A
14	Jalan Lingkar B (arah Medan)	-	-	-	-	284,54	0,06	66,22	A

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 14 Perbandingan Kinerja Jaringan Jalan Kondisi Do- Nothing dan Do-Something Tahun 2024

NO	Parameter Kinerja Jaringan	2024	
		Do-Nothing	Do-Something
1	Panjang Perjalanan	25,767km	43,816km
2	Total Travel Time	0,92 jam	1,42 jam
3	Kecepatan Rata-Rata Jaringan	34,74km/h	44,59km/h
4	Total Volume Jaringan	9.291 smp/jam	9.291 smp/jam

NO	Parameter Kinerja Jaringan	2024	
		Do-Nothing	Do-Something
5	Total Kapasitas Jaringan	20.165 smp/jam	41.978 smp/jam
6	Network V/C	0,46	0,22

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Secara umum, volume lalu lintas pada sebagian besar ruas jalan mengalami peningkatan, terutama pada ruas utama yang mendekati atau melebihi kapasitas, menyebabkan penurunan kecepatan dan efisiensi perjalanan. Pertumbuhan lalu lintas ini dipicu oleh peningkatan jumlah kendaraan, populasi, dan pengembangan wilayah. Tanpa intervensi pengembangan jaringan, kinerja sistem transportasi diprediksi memburuk, dengan kecepatan jaringan menurun hingga sekitar 30 km/jam. Pemodelan kondiequilibriumhing tahun 2029 menunjukkan bahwa keberadaan Jalan Lingkar Luar Sei Rampah mampu mendistribusikan arus lalu lintas dari ruas utama, menurunkan volume dan derajat kejenuhan, serta meningkatkan kecepatan dan efisiensi jaringan secara keseluruhan. Dengan penurunan V/C Ratio dari 0,64 menjadi 0,31, proyek ini terbukti layak dari sisi teknis untuk mengurangi beban lalu lintas dan meningkatkan kinerja jaringan transportasi wilayah.

c. Kinerja Ruas Jalan Pemodelan Tahun Rencana (2029)

Distribusi pergerakan tahun 2029 diperoleh dari hasil *forecasting* menggunakan metode *gravity model*. Selanjutnya, dilakukan pembebanan dengan menggunakan perangkat lunak *PTV Visum*. Pada skenario tahun 2029 ini, diasumsikan bahwa jaringan jalan masih tetap sama dengan kondisi eksisting (tahun 2024), tanpa adanya pengembangan atau penambahan kapasitas ruas jalan. Sementara itu, jumlah pergerakan di wilayah kajian mengalami peningkatan akibat pertumbuhan lalu lintas.

Berikut merupakan hasil analisis kinerja ruas jalan dan jaringan lalu lintas berdasarkan pembebanan *PTV Visum* untuk tahun rencana 2029 dengan skenario *do-nothing* dan *do-something* di wilayah kajian.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4 Visualisasi Pembebanan Kondisi *Do-Nothing* Tahun 2029



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 5 Visualisasi Pembebanan Kondisi *Do-Something* Tahun 2029

Tabel 15 Kinerja Ruas Jalan Kondisi *Do-Nothing* dan *Do-Something* Tahun 2029

NO	RUAS JALAN	Tahun 2024							
		Do-Nothing				Do-Something			
		Volume (smp/jam)	V/C	Kecepatan Rata-rata (km/jam)	LoS	Volume (smp/jam)	V/C	Kecepatan Rata-rata (km/jam)	LoS
1	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 3)	2.244,00	0,88	26,44	D	1.444,00	0,57	31,77	A
2	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Tebing Tinggi	1.144,00	0,35	49,72	A	606,05	0,18	54,15	A
3	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Medan	1.100,00	0,34	50,13	A	545,69	0,17	54,49	A
4	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 5)	2.253,00	0,96	18,77	E	1.151,75	0,49	28,99	A

NO	RUAS JALAN	Tahun 2024							
		Do-Nothing				Do-Something			
		Volume (smp/jam)	V/C	Kecepatan Rata-rata (km/jam)	LoS	Volume (smp/jam)	V/C	Kecepatan Rata-rata (km/jam)	LoS
5	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 6)	2.253,00	1,04	15,79	F	1.160,75	0,54	25,59	A
6	Jl. Medan (Segmen 1)	1.871,00	0,80	21,98	D	885,75	0,38	31,49	A
7	Jl. Sialang Buah 1	1.195,00	0,57	27,23	A	1.349,25	0,64	25,52	B
8	Jl. Sialang Buah 2	1.195,00	0,57	27,23	A	1.195,00	0,57	27,23	A
9	Jl. Bedagai 1	823,00	0,39	31,16	A	316,00	0,15	35,18	A
10	Jl. Bedagai 2	823,00	0,39	31,16	A	823,00	0,39	31,16	A
11	Jalan Lingkar A (arah Tebing Tinggi)	-	-	-	-	537,95	0,12	66,01	A
12	Jalan Lingkar A (arah Medan)	-	-	-	-	554,31	0,13	65,95	A
13	Jalan Lingkar B (arah Tebing Tinggi)	-	-	-	-	452,31	0,10	66,30	A
14	Jalan Lingkar B (arah Medan)	-	-	-	-	532,95	0,12	66,03	A

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 16 Perbandingan Kinerja Jaringan Jalan Kondisi Do- Nothing dan Do-Something Tahun 2029

NO	Parameter Kinerja Jaringan	2029	
		Do-Nothing	Do-Something
1	Panjang Perjalanan	25,767km	43,816km
2	Total Travel Time	1,12 jam	1,42 jam
3	Kecepatan Rata-Rata Jaringan	30,15km/h	43,56km/h
4	Total Volume Jaringan	12.874 smp/jam	12.874 smp/jam
5	Total Kapasitas Jaringan	20.165 smp/jam	41.978 smp/jam
6	Network V/C	0,64	0,31

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Secara keseluruhan, terjadi peningkatan volume lalu lintas di sebagian besar ruas jalan, terutama ruas utama yang mendekati atau melebihi kapasitas, sehingga menyebabkan penurunan kecepatan dan efisiensi perjalanan. Kondisi ini dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah kendaraan, penduduk, dan pengembangan wilayah, yang jika tidak diimbangi dengan pengembangan jaringan jalan, akan memperburuk permasalahan lalu lintas. Pemodelan kondisi *Do-Something* tahun 2029 menunjukkan bahwa Jalan Lingkar Luar Kota Sei Rampah mampu mendistribusikan beban lalu lintas dari ruas utama, menurunkan derajat kejenuhan, meningkatkan kecepatan rata-rata, serta mengurangi konflik lalu lintas dalam kota. Dengan penurunan *V/C Ratio* dari 0,64 menjadi 0,31 dan meningkatnya efisiensi perjalanan, dapat disimpulkan bahwa proyek jalan lingkar tersebut layak direalisasikan sebagai solusi peningkatan kinerja sistem transportasi wilayah.

3. Analisis Nilai Ekonomis

a. Nilai Waktu (*Value of Time*)

Nilai waktu dalam penelitian ini merepresentasikan besaran moneter yang menunjukkan seberapa besar seseorang menghargai waktu perjalanan, atau sejauh mana ia bersedia membayar untuk menghemat waktu tempuh. Dalam konteks pembangunan Jalan Lingkar Luar Kota Sei Rampah, nilai waktu (*Value of Time*) digunakan untuk menilai manfaat waktu yang dihemat akibat pengalihan arus lalu lintas. Perhitungan nilai waktu dilakukan dengan pendekatan *Income Approach*, yaitu berdasarkan pendapatan per kapita yang diperoleh dari data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) dan jumlah penduduk wilayah kajian. Nilai ini dihitung untuk masing-masing jenis moda transportasi, yaitu kendaraan pribadi, angkutan umum, dan angkutan barang. Sebelum menghitung nilai waktu, dilakukan proyeksi jumlah penduduk dan

PDRB tahun 2029 menggunakan rumus pertumbuhan eksponensial, guna memperoleh estimasi pendapatan per kapita sebagai dasar perhitungan.

$$Pt_{(n)} = P_o(1 + i)^n$$

Rumus 6 Pertumbuhan Eksponensial

Berikut ini merupakan hasil perhitungan proyeksi jumlah penduduk dan PDRB di tahun 2029.

Tahun	Penduduk	i (%)
2021	664.740	-
2022	673.948	1,39%
2023	682.918	1,33%
2024	691.638	1,28%
2029 (proyeksi)	738.909	1,33%

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tahun	PDRB	i (%)
2021	Rp30.418.850.000.000,0 0	-
2022	Rp33.517.990.000.000,0 0	10,19%
2023	Rp37.534.190.000.000,0 0	11,98%
2024	Rp42.012.010.000.000,0 0	11,93%
2029 (proyeksi)	Rp71.970.131.835.756,40	11,37%

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Untuk mendukung analisis lalu lintas, nilai waktu dalam penelitian ini dihitung dalam satuan kendaraan per jam menggunakan pendekatan income approach. Perhitungan dimulai dengan menentukan pendapatan per kapita berdasarkan data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) dan jumlah penduduk. Pada tahun 2024, dengan PDRB sebesar Rp42,01 triliun dan jumlah penduduk 691.638 jiwa, diperoleh pendapatan per kapita sebesar Rp60,74 juta per tahun atau Rp29.203,26 per jam, dengan asumsi waktu kerja 2.080 jam per tahun. Sementara itu, pada tahun 2029, PDRB diproyeksikan mencapai Rp71,97 triliun dengan jumlah penduduk 738.909 jiwa, menghasilkan pendapatan per kapita sebesar Rp97,40 juta per tahun atau Rp46.827,20 per jam. Nilai waktu per kendaraan per jam kemudian dihitung dengan mengalikan pendapatan per kapita per jam dengan rata-rata jumlah penumpang (okupansi) untuk setiap jenis kendaraan. Hasil perhitungan ini menjadi dasar dalam analisis manfaat waktu tempuh pada jaringan jalan sebelum dan sesudah pembangunan Jalan Lingkar Luar Kota Sei Rampah.

Berikut merupakan pendapatan rata-rata per jam tiap jenis kendaraan tahun 2024 dan tahun rencana 2029.

Tabel 19 Pendapatan Rata-Rata per Jam per Jenis Kendaraan

NO	Jenis Kendaraan	Pendapatan Per Jam		Okupansi	Pendapatan rata-rata per jam per jenis kendaraan	
		2024	2029		2024	2029
1	Motor	Rp29.203,26	Rp46.827,20	1,5	Rp43.804,88	Rp 70.240,80
2	Mobil	Rp29.203,26	Rp46.827,20	2,5	Rp73.008,14	Rp 117.068,00
3	MPU	Rp29.203,26	Rp46.827,20	3	Rp87.609,77	Rp 140.481,60
4	Bus Kecil	Rp29.203,26	Rp46.827,20	6,5	Rp189.821,17	Rp 304.376,80
5	Pickup	Rp29.203,26	Rp46.827,20	1,5	Rp43.804,88	Rp 70.240,80
6	Truk Kecil	Rp29.203,26	Rp46.827,20	1,5	Rp43.804,88	Rp 70.240,80
7	Bus Sedang	Rp29.203,26	Rp46.827,20	10,9	Rp318.315,49	Rp 510.416,48
8	Truk Sedang	Rp29.203,26	Rp46.827,20	1,5	Rp43.804,88	Rp 70.240,80
9	Bus Besar	Rp29.203,26	Rp46.827,20	18	Rp525.658,61	Rp 842.889,59
10	Truk Besar	Rp29.203,26	Rp46.827,20	1,5	Rp43.804,88	Rp 70.240,80

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Untuk menerapkan pada analisis nilai waktu pada masing-masing ruas atau rute, maka digunakan modal split atau komposisi tiap jenis kendaraan rata-rata keseluruhan ruas jalan. Hal ini digunakan untuk menyesuaikan pendapatan yang dihasilkan tiap ruas jalan sehingga didapatkan nilai waktu tertimbang.

Tabel 20 Nilai Waktu Tertimbang

NO	Jenis Kendaraan	Pendapatan (Rp/Jam)		Proporsi kendaraan (modal split)	Nilai Waktu Tertimbang	
		2024	2029		2024	2029
1	Motor	Rp43.804,88	Rp70.240,80	76,84%	Rp33.659,18	Rp53.972,23
2	Mobil	Rp73.008,14	Rp117.068,00	12,04%	Rp8.788,53	Rp14.092,35
3	MPU	Rp87.609,77	Rp140.481,60	1,18%	Rp1.029,80	Rp1.651,28
4	Bus Kecil	Rp189.821,17	Rp304.376,80	1,90%	Rp3.605,24	Rp5.780,97
5	Pickup	Rp43.804,88	Rp70.240,80	0,31%	Rp136,35	Rp218,63
6	Truk Kecil	Rp43.804,88	Rp70.240,80	2,68%	Rp1.173,90	Rp1.882,34
7	Bus Sedang	Rp318.315,49	Rp510.416,48	0,00%	Rp -	Rp-
8	Truk Sedang	Rp43.804,88	Rp70.240,80	2,58%	Rp1.129,42	Rp1.811,02
9	Bus Besar	Rp525.658,61	Rp842.889,59	0,25%	Rp1.324,67	Rp2.124,09
10	Truk Besar	Rp43.804,88	Rp70.240,80	2,23%	Rp976,85	Rp1.566,37

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Apabila telah diperoleh nilai waktu tertimbang untuk setiap jenis kendaraan, maka dapat diklasifikasikan nilai waktu berdasarkan klasifikasi kendaraan pribadi, angkutan umum, dan angkutan barang:

Tabel 21 Pendapatan per Jam (Klasifikasi)

NO	Jenis Kendaraan	Pendapatan per Jam	
		2024	2029
1	Kendaraan Pribadi	Rp 42.447,71	Rp 68.064,58
2	Angkutan Umum	Rp 5.959,71	Rp 9.556,34
3	Angkutan Barang	Rp 3.416,52	Rp 5.478,36

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Selanjutnya ialah perhitungan nilai waktu pada setiap ruas jalan yang nantinya akan didapatkan penghematan (selisih) antara kondisi *Do-Nothing* dan *Do-Something*. Analisis nilai waktu dihitung setiap ruas jalan dan juga diterapkan pada skenario *routing* dengan memperhatikan perbedaan waktu tempuhnya. Berikut adalah waktu tempuh dari *Output PTV Visum* pada setiap ruas jalan untuk tahun 2024 dan tahun 2029:

Tabel 22 Waktu Tempuh Model Tahun 2024

NO	Ruas Jalan	Waktu Tempuh 2024				Selisih Waktu Tempuh (jam)
		<i>Do-Nothing</i>		<i>Do-Something</i>		
		Menit	Jam	Menit	Jam	
1	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 3)	4,25	0,07	3,93	0,07	0,005
2	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Tebing Tinggi	1,18	0,02	1,15	0,02	0,001
3	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Medan	1,18	0,02	1,15	0,02	0,001
4	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 5)	7,66	0,13	6,16	0,10	0,025
5	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 6)	10,18	0,17	7,6	0,13	0,043
6	Jl. Medan (Segmen 1)	14,04	0,23	11,73	0,20	0,039

7	Jl. Sialang Buah (Kolektor Matapao)	7,57	0,13	8,63	0,14	-0,018
8	Jl. Bedagai (Kolektor Rampah)	9,43	0,16	10,17	0,17	-0,012

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 23 Waktu Tempuh Model Tahun 2029

NO	Ruas Jalan	Waktu Tempuh 2024				Selisih Waktu Tempuh (jam)
		Do-Nothing		Do-Something		
		Menit	Jam	Menit	Jam	
1	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 3)	4,97	0,08	4,32	0,07	0,011
2	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Tebing Tinggi	1,26	0,02	1,17	0,02	0,002
3	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Medan	1,25	0,02	1,15	0,02	0,002
4	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 5)	10,55	0,18	6,83	0,11	0,062
5	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 6)	12,12	0,20	7,48	0,12	0,077
6	Jl. Medan (Segmen 1)	16,6	0,28	11,58	0,19	0,084
7	Jl. Sialang Buah (Kolektor Matapao)	9,24	0,15	9,52	0,16	-0,005
8	Jl. Bedagai (Kolektor Rampah)	11,03	0,18	10,52	0,18	0,009

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 24 Perbandingan Nilai Waktu Model Tahun 2024

NO	Ruas Jalan	Efisiensi Nilai Waktu 2024								Efisiensi	%
		Do-Nothing				Do-Something					
		Kend. Pribadi	Angkutan Umum	Angkutan Barang	Total	Kend. Pribadi	Angkutan Umum	Angkutan Barang	Total		
1	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 3)	Rp 3.006,71	Rp 422,15	Rp 242,00	Rp 3.670,86	Rp 2.780,32	Rp 390,36	Rp 223,78	Rp 3.394,47	Rp 276,39	7,53%
2	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Tebing Tinggi	Rp 834,80	Rp 117,21	Rp 67,19	Rp 1.019,20	Rp 813,58	Rp 114,23	Rp 65,48	Rp 993,29	Rp 25,91	2,54%
3	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Medan	Rp 834,80	Rp 117,21	Rp 67,19	Rp 1.019,20	Rp 813,58	Rp 114,23	Rp 65,48	Rp 993,29	Rp 25,91	2,54%
4	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 5)	Rp 5.419,16	Rp 760,86	Rp 436,18	Rp 6.616,19	Rp 4.357,96	Rp 611,86	Rp 350,76	Rp 5.320,59	Rp 1.295,60	19,58%
5	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 6)	Rp 7.201,96	Rp 1.011,16	Rp 579,67	Rp 8.792,79	Rp 5.376,71	Rp 754,90	Rp 432,76	Rp 6.564,36	Rp 2.228,43	25,34%
6	Jl. Medan (Segmen 1)	Rp 9.932,76	Rp 1.394,57	Rp 799,47	Rp 12.126,80	Rp 8.298,53	Rp 1.165,12	Rp 667,93	Rp 10.131,58	Rp 1.995,22	16,45%
7	Jl. Sialang Buah (Kolektor Matapao)	Rp 5.355,49	Rp 751,92	Rp 431,05	Rp 6.538,45	Rp 6.105,40	Rp 857,20	Rp 491,41	Rp 7.454,01	-Rp 915,56	-14,00%
8	Jl. Bedagai (Kolektor Rampah)	Rp 6.671,37	Rp 936,67	Rp 536,96	Rp 8.144,99	Rp 7.194,89	Rp 1.010,17	Rp 579,10	Rp 8.784,16	-Rp 639,16	-7,85%
TOTAL		Rp 39.257,06	Rp 5.511,74	Rp 3.159,71	Rp 47.928,50	Rp 35.740,97	Rp 5.018,07	Rp 2.876,71	Rp 43.635,75	Rp 4.292,75	8,96%

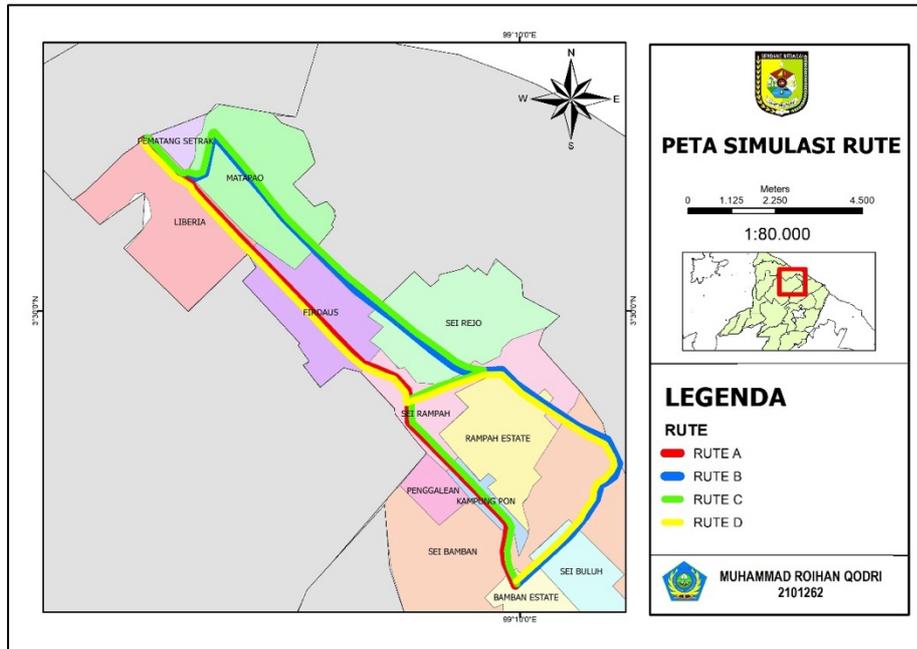
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 25 Perbandingan Nilai Waktu Model Tahun 2029

NO	Ruas Jalan	Nilai Waktu (Rp/jam)								Efisiensi	%
		Do-Nothing				Do-Something					
		Kend. Pribadi	Angkutan Umum	Angkutan Barang	Total	Kend. Pribadi	Angkutan Umum	Angkutan Barang	Total		
1	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 3)	Rp 5.638,02	Rp 791,58	Rp 453,79	Rp 6.883,39	Rp 4.900,65	Rp 688,06	Rp 394,44	Rp 5.983,15	Rp 900	13,08%
2	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Tebing Tinggi	Rp 1.429,36	Rp 200,68	Rp 115,05	Rp 1.745,08	Rp 1.327,26	Rp 186,35	Rp 106,83	Rp 1.620,44	Rp 125	7,14%
3	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 4) arah Medan	Rp 1.418,01	Rp 199,09	Rp 114,13	Rp 1.731,24	Rp 1.304,57	Rp 183,16	Rp 105,00	Rp 1.592,74	Rp 138	8,00%
4	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 5)	Rp 11.968,02	Rp 1.680,32	Rp 963,28	Rp 14.611,62	Rp 7.748,02	Rp 1.087,83	Rp 623,62	Rp 9.459,47	Rp 5.152	35,26%
5	Jl. Besar Pasar Bengkel (Segmen 6)	Rp 13.749,05	Rp 1.930,38	Rp 1.106,63	Rp 16.786,06	Rp 8.485,38	Rp 1.191,36	Rp 682,97	Rp 10.359,71	Rp 6.426	38,28%
6	Jl. Medan (Segmen 1)	Rp 18.831,20	Rp 2.643,92	Rp 1.515,68	Rp 22.990,80	Rp 13.136,46	Rp 1.844,37	Rp 1.057,32	Rp 16.038,16	Rp 6.953	30,24%
7	Jl. Sialang Buah (Kolektor Matapao)	Rp 10.481,95	Rp 1.471,68	Rp 843,67	Rp 12.797,29	Rp 10.799,58	Rp 1.516,27	Rp 869,23	Rp 13.185,09	-Rp 388	-3,03%
8	Jl. Bedagai (Kolektor Rampah)	Rp 12.512,54	Rp 1.756,77	Rp 1.007,11	Rp 15.276,42	Rp 11.933,99	Rp 1.675,55	Rp 960,54	Rp 14.570,07	Rp 706	4,62%
TOTAL		Rp 76.028,14	Rp 10.674,44	Rp 6.119,33	Rp 92.821,90	Rp 59.635,92	Rp 8.372,95	Rp 4.799,96	Rp 72.808,82	Rp 20.013,08	21,56%

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Selain per ruas jalan, nilai waktu juga dianalisis berdasarkan rute perjalanan eksternal-eksternal untuk meninjau efisiensi waktu tempuh antara kondisi sebelum (*Do-Nothing*) dan sesudah (*Do-Something*) pembangunan Jalan Lingkar Luar Sei Rampah. Analisis ini menunjukkan manfaat jalan lingkar dalam mengalihkan arus luar kota tanpa melewati pusat kota. Visualisasi rute dapat dilihat pada peta berikut.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 6 Peta Rute

Keterangan:

- 1) Rute A : Jl. Besar Ps. Bengkel segmen 3 - segmen 4 - segmen 5 - segmen 6 – Jl. Medan. Rute ini merupakan rute mengacu pada model *do-nothing* tahun 2024 sehingga digunakan waktu tempuh dari *Output Data* sesuai dengan pemodelan *do-nothing* 2024 pada *PTV Visum*.
- 2) Rute B : Jl. Besar Ps. Bengkel – Jl. Sialang Buah – Jalan Lingkar A – Jalan Lingkar B. Dengan rute ini diasumsikan perjalanan eksternal-eksternal sepenuhnya melalui kedua jalan lingkar A dan B.
- 3) Rute C : Jl. Besar Ps. Bengkel – Jl. Sialang Buah – Jl. Lingkar A – Jalan Bedagai – Jalan Medan. Jalan lingkar yang dilalui perjalanan eksternal-eksternal hanya jalan lingkar A.

- 4) Rute D : Jl. Besar Ps. Bengkel segmen 3 - segmen 4 - segmen 5 - segmen 6 – Jalan Bedagai – Jalan Lingkar B. Jalan lingkar yang dilalui perjalanan eksternal-eksternal hanya jalan lingkar B.

Tabel 26 Waktu Tempuh Routing Model

NO	Rute	Waktu Tempuh							
		2024				2029			
		Do-Nothing		Do-Something		Do-Nothing		Do-Something	
		Menit	Jam	Menit	Jam	Menit	Jam	Menit	Jam
1	Rute A	37,31	0,622	30,57	0,510	45,50	0,758	31,38	0,523
2	Rute B	-	-	23,96	0,399	-	-	23,81	0,397
3	Rute C	-	-	30,69	0,512	-	-	31,38	0,523
4	Rute D	-	-	31,26	0,521	-	-	31,25	0,521

Tabel 27 Nilai Waktu Routing (eksternal-eksternal)

NO	Rute	Nilai Waktu Tahun 2024 (Rp/jam)				Nilai Waktu Tahun 2029 (Rp/jam)			
		Kendaraan Pribadi	Angkutan Umum	Angkutan Barang	Total	Kendaraan Pribadi	Angkutan Umum	Angkutan Barang	Total
		1	Rute A (Do-Nothing)	Rp26.395	Rp3.706	Rp2.125	Rp32.226	Rp51.616	Rp7.247
2	Rute A (Do-Something)	Rp21.627	Rp3.036	Rp1.741	Rp26.404	Rp35.598	Rp4.998	Rp2.865	Rp43.461
2	Rute B	Rp16.951	Rp2.380	Rp1.364	Rp20.695	Rp27.010	Rp3.792	Rp2.174	Rp32.977
3	Rute C	Rp21.712	Rp3.048	Rp1.748	Rp26.508	Rp35.598	Rp4.998	Rp2.865	Rp43.461
4	Rute D	Rp22.115	Rp3.105	Rp1.780	Rp27.000	Rp35.450	Rp4.977	Rp2.853	Rp43.281

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 28 Efisiensi Nilai Waktu (Routing)

NO	Rute	Efisiensi Nilai Waktu (Rp/jam)						Total Efisiensi (Rp/jam)		%	
		Kend. Pribadi		Angkutan Umum		Angkutan Barang					
		2024	2029	2024	2029	2024	2029	2024	2029	2024	2029
		1	A-B	Rp9.445	Rp24.605	Rp1.326	Rp3.455	Rp760	Rp1.980	Rp11.531	Rp30.040
2	A-C	Rp4.683	Rp16.018	Rp658	Rp2.249	Rp377	Rp1.289	Rp5.718	Rp19.556	17,74%	31,03%
3	A-D	Rp4.280	Rp16.165	Rp601	Rp2.270	Rp344	Rp1.301	Rp5.226	Rp19.736	16,22%	31,32%

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa Jalan Lingkar Luar Sei Rampah mampu mengalihkan lalu lintas eksternal keluar dari pusat kota secara efektif, mengurangi waktu tempuh, dan memberikan manfaat ekonomi berupa efisiensi biaya perjalanan, terutama dalam jangka panjang.

b. Konsumsi BBM

Dalam penelitian ini, analisis konsumsi bahan bakar dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi energi yang dihasilkan dari pengoperasian Jalan Lingkar Luar Sei Rampah. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi *Do-Nothing* (tanpa jalan lingkar) dan *Do-Something* (dengan jalan lingkar), menggunakan pendekatan kecepatan rata-rata dan panjang ruas jalan sebagai parameter utama. Metode yang digunakan mengacu pada pendekatan *Passenger Car Index* (PCI), yang mengaitkan konsumsi BBM dengan kecepatan kendaraan.

Faktor-faktor yang memengaruhi konsumsi BBM dalam studi ini mencakup jenis kendaraan, kecepatan rata-rata di setiap ruas, serta panjang perjalanan. Setiap jenis kendaraan, baik kendaraan pribadi, angkutan umum, maupun angkutan barang, memiliki karakteristik konsumsi yang berbeda. Oleh karena itu, perhitungan dilakukan secara terpisah untuk setiap tipe kendaraan berdasarkan data dasar konsumsi BBM dari literatur sebelumnya.

Tabel 29 Penghematan Konsumsi BBM Tahun 2024

NO	Jenis Kendaraan	Biaya Konsumsi BBM 2024 (Rp)		Penghematan	%
		Tanpa Jalan Lingkar	Dengan Jalan Lingkar		
1	Sepeda Motor	Rp3.586	Rp3.353	Rp233	6,5%
2	Mobil Penumpang	Rp22.519	Rp21.363	Rp1.155	5,1%
3	Truk Kecil	Rp59.135	Rp56.631	Rp2.504	4,2%
4	Bus Kecil	Rp58.189	Rp55.141	Rp3.048	5,2%
5	Truk Besar	Rp79.885	Rp75.148	Rp4.738	5,9%
6	Bus Besar	Rp91.476	Rp84.570	Rp6.906	7,5%
TOTAL		Rp314.789	Rp296.206	Rp18.583	5,90%

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Selanjutnya, dalam menghitung konsumsi bahan bakar tahun 2029, diperlukan proyeksi harga BBM sebagai dasar penilaian biaya operasional. Dalam penelitian ini, proyeksi harga BBM—khususnya jenis Pertalite—dilakukan dengan menggunakan metode *Compound Interest (bunga majemuk)* atau *Exponential Growth* yang umum digunakan dalam proyeksi ekonomi. Pendekatan ini mempertimbangkan rata-rata laju kenaikan harga tahunan (*i*) tanpa memperhitungkan faktor eksternal lain seperti inflasi atau intervensi kebijakan. Berdasarkan tren harga BBM dari tahun 2020 hingga 2024, diperoleh rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 8%.

Tabel 30 Proyeksi Harga Pertalite dan Dexlite 2029

Tahun	Harga Pertalite	<i>i</i>	Harga Dexlite	<i>i</i>
2020	Rp 7.650	-	Rp 9.500	-
2021	Rp 7.650	0%	Rp 9.500	0%
2022	Rp 7.650	0%	Rp 12.950	36%
2023	Rp 10.000	31%	Rp 13.150	2%
2024	Rp 10.000	0%	Rp 13.350	2%
2029 (Proyeksi)	Rp 14.693	8%	Rp 19.616	10%

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 31 Penghematan Konsumsi BBM Tahun 2029

NO	Jenis Kendaraan	BIAYA KONSUMSI BBM 2029 (Rp)		Penghematan	%
		Tanpa Jalan Lingkar	Dengan Jalan Lingkar		
1	Sepeda Motor	Rp5.880	Rp4.943	Rp937	15,94%
2	Mobil Pribadi	Rp37.953	Rp31.851	Rp6.101	16,08%
3	Truk Kecil	Rp97.729	Rp84.005	Rp13.724	14,04%
4	Bus Kecil	Rp98.031	Rp81.941	Rp16.090	16,41%
5	Truk Besar	Rp136.829	Rp112.529	Rp24.300	17,76%
6	Bus Besar	Rp150.903	Rp126.168	Rp24.736	16,39%
TOTAL		Rp527.325	Rp441.436	Rp85.889	16,29%

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil analisis konsumsi bahan bakar pada kondisi Do-Nothing dan Do-Something, dapat disimpulkan bahwa pengoperasian Jalan Lingkar Luar Sei Rampah memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi energi, khususnya dalam hal penghematan konsumsi BBM. Dengan demikian, dari sisi energi dan

biaya operasional, pembangunan Jalan Lingkar Luar Seiahun 2029, efisiensinya meningkat tajam menjadi 16,29%.

Peningkatan efisiensi ini disebabkan oleh berkurangnya waktu tempuh dan meningkatnya kecepatan rata-rata kendaraan akibat berkurangnya kemacetan di ruas jalan utama, serta tersedianya jalur alternatif melalui jalan lingkar luar. Pengalihan arus lalu lintas ke jalur yang lebih lancar berkontribusi langsung pada penurunan konsumsi bahan bakar di seluruh jenis kendaraan, baik kendaraan pribadi, angkutan umum, maupun angkutan barang.

Dengan demikian, dari sisi energi dan biaya operasional, pembangunan Jalan Lingkar Luar Sei Rampah terbukti memberikan manfaat nyata dan mendukung prinsip keberlanjutan transportasi melalui pengurangan beban lalu lintas serta peningkatan efisiensi penggunaan bahan bakar.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh sejumlah kesimpulan yang mencerminkan pengaruh pembangunan infrastruktur terhadap sistem transportasi wilayah kajian sebagai berikut:

- 1) Pola pergerakan kendaraan pada wilayah studi menunjukkan bahwa pergerakan dengan volume tertinggi berasal dari hubungan eksternal-eksternal, yakni sebesar 1.192 smp/jam pada tahun 2024 dan meningkat menjadi 1.553 smp/jam pada tahun 2029. Tingginya pergerakan ini mengindikasikan kebutuhan akan pembangunan jaringan jalan baru yang dapat mengakomodasi perjalanan eksternal tanpa melalui kawasan pusat kota.
- 2) Evaluasi kinerja jaringan jalan tanpa adanya Jalan Lingkar Luar (*Do-Nothing*) menunjukkan kondisi yang kurang baik. Pada tahun 2024, nilai V/C mencapai 0,86 dengan kecepatan rata-rata 18,80 km/jam dan tingkat pelayanan (*Level of Service*) D. Kondisi ini memburuk pada tahun 2029 dengan V/C sebesar 1,04 dan kecepatan menurun menjadi 15,79 km/jam (*LoS F*). Hal ini mengindikasikan bahwa tanpa intervensi infrastruktur, peningkatan volume lalu lintas di masa depan akan memperparah kemacetan.
- 3) Simulasi kondisi *Do-Something* menunjukkan bahwa keberadaan Jalan Lingkar Luar (*Do-Something*) Kota Sei Rampah mampu meningkatkan kinerja jaringan jalan secara signifikan. Pada tahun 2024, nilai V/C tertinggi turun menjadi 0,56 dengan kecepatan 25,17 km/jam, dan pada tahun 2029 menjadi 0,54 dengan kecepatan 25,59 km/jam. Perjalanan eksternal yang sebelumnya melalui ruas jalan utama dialihkan ke jalan lingkar, sehingga beban lalu lintas terdistribusi lebih merata dan mayoritas ruas mengalami peningkatan tingkat pelayanan menjadi *LoS A*.
- 4) Berdasarkan analisis ekonomi, pembangunan jalan lingkar (*Do-Something*) juga memberikan dampak positif terhadap efisiensi waktu perjalanan dan konsumsi bahan bakar. Penghematan nilai waktu perjalanan seluruh kendaraan pada tahun 2024 mencapai Rp11.531 per jam (efisiensi 35,78%) dan pada tahun 2029 meningkat menjadi Rp30.040 per jam (efisiensi 47,67%). Di sisi lain, efisiensi konsumsi BBM tercatat sebesar Rp18.583 per perjalanan pada tahun 2024 dan Rp85.889 pada tahun 2029. Temuan ini menunjukkan bahwa pembangunan Jalan Lingkar Luar Kota Sei Rampah layak direalisasikan baik dari sisi teknis maupun ekonomi.

Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pemerintah Kabupaten Serdang Bedagai dan instansi terkait disarankan untuk segera menindaklanjuti rencana pembangunan Jalan Lingkar Luar Kota Sei Rampah dengan kajian teknis yang lebih mendalam serta diharapkan melakukan perencanaan secara matang jika ditinjau dari aspek pembebasan lahan dengan mempertimbangkan nilai kompensasi yang adil dan sesuai ketentuan serta peraturan yang berlaku.
- 2) Penelitian ini masih bersifat makro, dimana belum tersegmentasi secara mikro kelompok atau jenis kendaraan yang harus melalui jalan lingkar. Pembagian arus lalu lintas antara ruas jalan utama dan jalan lingkar luar masih ditentukan secara otomatis melalui pembebanan *equilibrium* melalui *PTV Visum*. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk segmentasi matriks asal-tujuan berdasarkan jenis kendaraannya, untuk menyelaraskan bagaimana nantinya kebijakan dan regulasi untuk mengatur serta menyimulasikan skenario pengalihan lalu lintas yang lebih terarah, seperti pengalihan kendaraan berat ke jalan lingkar luar dan melalui pembatasan jam operasional angkutan barang misalnya.
- 3) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan ruang lingkup yang lebih luas, misalnya dengan mempertimbangkan aspek ekonomi (*Benefit and Cost*), aspek lingkungan, atau studi dengan pendekatan mikro yang lebih mendetail untuk dapat dijadikan bahan pertimbangan pengambilan keputusan pembangunan proyek.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini, terutama kepada orang tua, dosen pembimbing, pimpinan serta civitas akademika PTDI-STTD, rekan-rekan mahasiswa, dan instansi terkait di Kabupaten Serdang Bedagai. Penulis berharap karya ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu transportasi darat serta menjadi kontribusi nyata dalam upaya pemecahan permasalahan lalu lintas. Kritik dan saran sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang.

Daftar Pustaka

- Alfajri, Alfajri (2024) *Analisis Kinerja Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Raya Negara Sumbar - Riau Segmen 2 (Km 2) Kabupaten Lima Puluh Kota*. Other thesis, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.
- Atik, Monikah Indah Pratiwi1), dan Wahyuni2) Julistyana Tistogondo. 2021. "Fakultas teknik universitas wiraraja sumenep - madura." *Jurnal "MITSU" Media Informasi Teknik Sipil* 9 (1): 1–8.
- Caesariawan, Iqbal, Devisanti Rizky, Ismiyati, dan Eko Yulipriyono. 2015. "Pengaruh Nilai Waktu Pada Biaya Operasional Kendaraan (Bok) Mobil Penumpang Dalam Pemilihan Rute Jalan Eksisting Dan Jalan Lingkar Ambarawa." *Karya Teknik Sipil* 4 (4): 304–12. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Direktorat Bina Jalan Kota (Binkot). 1997. "Highway Capacity Manual Project (HCM)." *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)* 1 (264): 564.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2023. "Pkji 2023." *Kementerian PUPR* 2 (21): 352.
- Efendi, Riswan, dan Lisy Chairani. 2020. "Hubungan Sistem Pembelajaran Daring Di Era COVID-19 Terhadap Kesehatan Mental Guru SD: Uji Chi-Square dan Dependency Degree." *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIK)* 12, 608–15.
- Faritzie, Hariman Al. 2021. "Analisis Pengukuran Derajat Kejenuhan dan Tingkat Pelayanan Ruas Jalan R. Sukamto Kota Palembang." *Jurnal Deformasi* 6 (2): 131. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v6i2.6442>.
- Fitzpatrick, Kay, Paul Carlson, Marcus Brewer, dan Mark Wooldridge. 2001. "Design factors that affect driver speed on suburban streets." *Transportation Research Record*, no. 1751: 18–25. <https://doi.org/10.3141/1751-03>.
- Hazifa, Ade Nurdin, dan Dyah Kumalasari. 2022. "Analisa Dampak Beban Kendaraan terhadap Kerusakan serta Umur Rencana Jalan (Studi Kasus Perkerasan Lentur Jl. Kamarullah Kota Padang Panjang)." *Jurnal Teknik* 16 (2): 137–43.
- Ilmiah, Orasi, dan Guru Besar. 2024. *Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung Perencanaan Tata Ruang Perkotaan Berbasis Daya Dukung Infrastruktur Transportasi Profesor Miming Miharja*.
- Ismadarni. 2012. "Transportasi merupakan proses pergerakan atau perpindahan orang atau barang dari satu tempat ketempat lain . Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan sarana angkutan berupa kendaraan atau tanpa kendaraan . Tujuan transportasi untuk mewujudkan penyele." *Rekayasa dan Manajemen Transportasi II*: 72–86. <https://media.neliti.com/media/publications/210638-pengaruh-aspek-sosial-ekonomi-masyarakat.pdf>.
- Jaya, Edmund Surya, dan Najid Najid. 2021. "Analisis Kapasitas Dan Kinerja Lalu Lintas Di Jalan H.R. Rasuna Said Jakarta." *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil* 4 (2): 383. <https://doi.org/10.24912/jmts.voio.10551>.
- Junaidi. 2010. "Prosedur Uji Chi-Square." *Prosedur Uji Chi-Square*, no. June: 1–9. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2797.8400>.
- Mahmudah, Noor. 2016. "Pemodelan Bangkitan Perjalanan." *Jurnal Teknik Sipil* 13 (4): 301–7. <https://ojs.uajy.ac.id/index.php/jts/article/view/937>.
- "Model Calibration , Validation , and Reasonableness Checking." 2023.
- Muhtadi, Adhi. 2010. "Analisis Kapasitas, Tingkat Pelayanan, Kinerja dan Pengaruh Pembuatan Median Jalan." *Neutron* 10: 43–54. <http://ejournal.narotama.ac.id/files/4-ADHI.pdf>.
- Mustikarani, Wini, dan Suherdiyanto. 2016. "Analisis Faktor-Faktor Penyebab Kemacetan Lalu Lintas Di Sepanjang Jalan H Rais a Rahman (Sui Jawi) Kota Pontianak." *Jurnal Edukasi* 14: 143–55.
- Nuryati, Sri. 2018. "Penggunaan Bahan Bakar Minyak Terhadap Kecepatan Kendaraan Dan Nilai Waktu Perjalanan Di Wilayah Kota Bekasi." *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* 5 (1): 45–61. <https://doi.org/10.33558/bentang.v5i1.151>.
- PM PUPR. 2010. "Tata Cara Dan Persyaratan Laik Fungsi Jalan Nomor : 11 /PRT/M/2010." *Tata Cara Dan Persyaratan Laik Fungsi Jalan*, 11.
- Sarwanta, Sarwanta, Hamdani Abdulgani, dan Oki Arief. 2022. "Model Bangkitan Dan Tarikan Pada Pusat Kegiatan Perguruan Tinggi Di Kabupataen Indramayu." *Jurnal Rekayasa Infrastruktur* 8 (1): 38–45. <https://doi.org/10.31943/jri.v8i1.162>.

- Shah, Natubhai. 2024. "Appendix I." *Jainism*, no. March: 268–73. <https://doi.org/10.2307/jj.18654766.13>.
- Shrewsbury, J. 2012. "Calibration of trip distribution by generalised linear models." *Research Report*, no. February: 1–420. papers://ef64220a-a077-48ec-ae81-be13b32d2073/Paper/p981.
- Sugiyarto, Bambang. 2009. "Analisis Pola Perjalanan Transportasi Penduduk Daerah Pinggiran." *GEMA TEKNIK Majalah Ilmiah Teknik* 11 (1): 62-68–68.
- Sukawati, Nurmalia, Weka Widayati, Jamal Harimuddin, dan Saban Rahim. 2022. "Dampak Pembangunan Jalan Lingkar Luar Kota Kendari (Studi Kasus : Kecamatan Abeli dan Nambo)" 6 (1): 210–20.
- Tamin. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*.
- Usrina, Nura, dan Yunidar Lestari. 2022. "Analisis Model Sebaran Perjalanan Kerja Masyarakat Kota Lhokseumawe Menggunakan Metode Gravity (Studi Kasus: Kecamatan Banda Sakti)," 1166–74.
- Wildana, A, T Priangkoso, S M B Respati, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim, dan Jl Menoreh Tengah X. 2011. "PREMIUM DAN PERTAMAX MENGGUNAKAN DINAMOMETER CHASIS PENDAHULUAN Semakin bertambahnya kebutuhan manusia akan transportasi membuat pengguna kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat . Hal tersebut akan mengakibatkan makin meningkatnya kebutuhan kons," 17–22.
- Yansyah, Asri. 2020. "Analisa Waktu Tempuh Perjalanan Kendaraan Roda Dua di Kota Samarinda." *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Sipil* 11 (1): 1–21.