

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang

Analisis Tarif Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Berdasarkan Sensitivitas Volume Lalu Lintas Terhadap Perubahan Tarif

Teguh Wisanggeni*

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Email: wisanggeni.teguh@gmail.com

Russ Bona Frazila

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Email: frazila@itb.ac.id

Taufiq Suryo Nugroho

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Email: taufiq.suryo@gmail.com

Abstrak

Penentuan tarif jalan tol merupakan faktor penting bagi keberlanjutan investasi dan manfaat optimal bagi pengguna. Penelitian ini menganalisis sensitivitas volume lalu lintas terhadap perubahan tarif pada Jalan Tol Yogyakarta–Bawen dengan menggunakan data sekunder dari PT Jasa Marga (Persero) Tbk dan PT Jasamarga Jogja Bawen. Metode yang digunakan meliputi penentuan Ability to Pay (ATP) dan Willingness to Pay (WTP), penentuan nilai waktu, serta pemodelan transportasi makro dengan PTV Visum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan tarif menurunkan volume lalu lintas, namun terdapat titik optimum yang menghasilkan pendapatan tol maksimum. Tarif optimum untuk kendaraan Golongan I diproyeksikan sebesar Rp 1.400/km pada tahun 2029 dan Rp 2.130/km pada tahun 2039 dengan asumsi nilai waktu mengikuti inflasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa tarif yang tinggi pada awal operasi belum tentu menghasilkan pendapatan tol yang maksimum, sehingga diperlukan evaluasi berkala dalam kebijakan penetapan tarif.

Kata kunci : Jalan tol tarif tol, sensitivitas volume lalu lintas, pendapatan tol, pemodelan lalu lintas.

Abstract

Determining toll road rates is an important factor for the sustainability of investment and optimal benefits for users. This study analyzes the sensitivity of traffic volume to rate changes on the Yogyakarta–Bawen Toll Road using secondary data from PT Jasa Marga (Persero) Tbk and PT Jasamarga Jogja Bawen. The methods used include Ability to Pay (ATP) and Willingness to Pay (WTP) determination, time value determination, and macro transportation modeling with PTV Visum. The results show that an increase in toll rates reduces traffic volume, but there is an optimum point that generates maximum revenue. The optimal toll rates for Class I vehicles is projected to be IDR 1,400/km in 2029 and IDR 2,130/km in 2039, assuming that the time value follows inflation. These findings indicate that higher toll rates during the initial operational phase do not necessarily result in maximum toll revenue, thus requiring periodic evaluation of the toll setting policy.

Keywords : Toll road, toll rate, traffic volume sensitivity, toll revenue, traffic modelling.

1. Pendahuluan

Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen bertujuan untuk meningkatkan konektivitas serta mengembangkan wilayah Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, pada pelaksanaannya terdapat beberapa penyesuaian rencana usaha termasuk perubahan rencana pengoperasian sehingga diperlukan suatu penyesuaian rencana usaha salah satunya dengan

melakukan usulan penyesuaian tarif tol. Penetapan tarif tol yang tepat penting untuk menjaga keseimbangan antara kelayakan investasi dan minat pengguna. Tarif yang terlalu rendah menurunkan pendapatan, sedangkan tarif terlalu tinggi mengurangi volume lalu lintas. Kajian terdahulu menunjukkan tarif berpengaruh signifikan terhadap kinerja lalu lintas dan aspek finansial, namun studi mengenai

* Penulis Korespondensi: wisanggeni.teguh@gmail.com

tarif optimum pada Jalan Tol Yogyakarta–Bawen masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis sensitivitas tarif terhadap volume lalu lintas dan menentukan tarif optimum yang menyeimbangkan kepentingan pengguna serta badan usaha.

Penelitian ini meninjau perusahaan pada fase setelah dilakukan tender investasi jalan tol yaitu pada evaluasi operasional pasca penetapan Perjanjian Perusahaan Jalan Tol (PPJT). Oleh karena itu, analisis yang dilakukan adalah evaluasi respons pengguna terhadap variasi tarif optimum dalam konteks maksimum pendapatan operasional (*maximum revenue*).

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Konsep jalan tol

Menurut PP No. 15 Tahun 2005, jalan tol merupakan bagian dari jaringan jalan nasional yang penggunaannya dikenakan biaya. Jalan tol berfungsi mempercepat distribusi barang, menghubungkan pusat produksi dengan pasar, serta memberikan manfaat berupa pengurangan waktu tempuh, peningkatan keselamatan, dan efisiensi biaya operasi kendaraan. Penetapan tarif tol perlu disesuaikan dengan manfaat yang diterima pengguna, termasuk kualitas jalan, kenyamanan, dan fasilitas yang tersedia.

2.2. Formulasi model *Bi-Level*

Perancangan tarif tol optimal dapat dilakukan dengan pendekatan *bi-level optimization*, yang mempertimbangkan interaksi antara operator jalan tol dan pengguna (Fan Wei, 2015). Model ini relevan diterapkan pada wilayah dengan kepadatan lalu lintas tinggi karena mampu menyeimbangkan biaya dari sisi operator dan respon pengguna, sehingga kebijakan tarif lebih efektif dalam mengoptimalkan pendapatan (Grange et al., 2017). Secara umum, model *bi-level* terdiri dari dua tingkatan, yaitu *upper level* (operator) dan *lower level* (pengguna). Selain itu, pendekatan *bi-level* dalam konteks jaringan jalan berbayar terbukti efektif untuk mengevaluasi keseimbangan antara optimasi pendapatan dan distribusi lalu lintas pada kondisi permintaan elastis (Gupta et al., 2020).

2.2.1. Upper level

Pada tingkat atas (*upper level*), model *bi-level* berfokus pada penetapan kebijakan tarif dari sisi pengelola jalan tol dengan tujuan memaksimalkan pendapatan sekaligus menjaga volume lalu lintas tetap memadai. Formulasi ini dinyatakan dalam bentuk fungsi objektif

$$\max \left[\sum_{k \in K} (v_k^* (y_k) y_k) \right] \quad (1)$$

$$y_k^{\min} \leq y_k \leq y_k^{\max}, k \in \bar{K}$$

$$y_k = 0, k \notin \bar{K} \text{ and } k \in K$$

Di mana:

$v_k^* (y_k)$: arus kendaraan pada link (ruas) k pada saat tarif y_k diberlakukan pada kondisi equilibrium (hasil *assignment user equilibrium*)

y_k : tarif tol pada link (ruas) k

2.2.2. Lower level

Pada tingkat bawah (*lower level*), model *bi-level* merepresentasikan respons pengguna jalan terhadap kebijakan tarif melalui pemilihan rute, dengan mempertimbangkan perbandingan biaya perjalanan dan manfaat yang diperoleh. Formulasi ini dinyatakan dalam fungsi objektif.

$$\max z(\tau_{wp}) = \sum_{k \in K} \int_0^{v_k} C_k(v_k, y_k) dv_k \quad (2)$$

$$v_k = \sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w} f_p^w \times \delta_{kp}^w, k \in K$$

Di mana:

τ_{wp} : Arus asal-tujuan (pasangan OD) w pada rute p

$C_k(v_k, y_k)$: Fungsi biaya perjalanan di ruas jalan k dengan arus v_k dan tarif tol y_k .

v_k : Aliran lalu lintas di ruas k .

f_p^w : Aliran pada jalur p untuk pasangan asal tujuan w .

δ_{kp}^w : Variabel biner yang bernilai 1 jika ruas k digunakan di jalur p untuk w , dan 0 jika tidak.

Fungsi biaya perjalanan pada ruas k dapat diformulasikan secara umum sebagai berikut:

$$C_k(v_k, y_k) = t_{0k} \left(1 + \alpha \left(\frac{v_k}{\text{Cap}_k} \right)^\beta \right) + \frac{y_k}{\text{VOT}} \quad (3)$$

Di mana

t_{0k} : Waktu perjalanan bebas hambatan di ruas k .

α dan β : Koefisien empiris untuk fungsi BPR (biasanya $\alpha=0.15$ dan $\beta=4$).

Cap_k : Kapasitas maksimum ruas k .

2.2.3. Skenario *Maximum Revenue*

Menurut Grange et al. (2017), skenario *maximum revenue* (MR) mengoptimalkan pendapatan tol dengan menetapkan tarif optimum per segmen, mempertimbangkan respons pengguna terhadap

perubahan tarif. Tarif ditetapkan cukup tinggi untuk meningkatkan pendapatan, namun tetap menjaga jumlah pengguna, dengan memperhatikan hubungan kecepatan, kepadatan, aliran lalu lintas, serta kapasitas jalan. Pendekatan ini menyeimbangkan tujuan pendapatan dengan kenyamanan pengguna. Konsep MR pada jalan tol sesuai dengan teori ekonomi transportasi yang menyatakan bahwa tarif optimum tidak selalu identik dengan tarif tertinggi, melainkan berada pada titik keseimbangan antara tarif dan volume lalu lintas (Small & Verhoef, 2007).

2.3. Konsep nilai waktu

Nilai waktu perjalanan (*Value of Time/VOT*) adalah jumlah uang yang rela dibayarkan seseorang untuk menghemat waktu perjalanan, dan menjadi indikator penting dalam studi kelayakan transportasi karena mencerminkan manfaat ekonomis bagi pengguna (Tamin, 2000; Handayani et al., 2012). VOT mencakup biaya kesempatan yang diprosikan melalui pendapatan serta ketidaknyamanan relatif dari perjalanan (Hensher, 1989). Estimasi VOT umumnya dilakukan dengan *income approach*, yang mengasumsikan kesebandingan dengan pendapatan per kapita, atau *behavioural approach* melalui *stated preference* yang menilai kesediaan membayar atas penghematan waktu (Lubis et al., 2001; Imamah et al., 2023). Selain itu, nilai waktu juga merupakan komponen utama dalam analisis manfaat ekonomi transportasi dan kebijakan tarif berbasis efisiensi jaringan (Small & Verhoef, 2007). Dalam konteks jalan berbayar, nilai waktu berperan langsung dalam membentuk respons pengguna terhadap perubahan tarif dan kemacetan (Litman, 2022)

2.4. Hubungan tarif terhadap nilai waktu dan volume lalu lintas

Hubungan tarif dengan nilai waktu dan volume lalu lintas dapat dianalisis melalui metode *stated preference* yang menilai preferensi individu terhadap alternatif perjalanan (Handayani et al., 2012). Peningkatan nilai waktu cenderung meningkatkan pendapatan tol, karena pengguna berpendapatan tinggi lebih bersedia membayar demi penghematan waktu (Fan Wei, 2015; Caesariawan et al., 2015). Di sisi lain, kenaikan tarif dapat menurunkan volume lalu lintas, namun selama penurunannya tidak signifikan, pendapatan tol tetap dapat meningkat (Prasetyo & Zuraida, 2020). Hal ini menegaskan pentingnya penetapan tarif yang seimbang untuk menjaga kelancaran lalu lintas sekaligus keberlanjutan investasi jalan tol.

2.5. Sensitivitas lalu lintas terhadap perubahan tarif

Sensitivitas lalu lintas terhadap perubahan tarif dipengaruhi oleh faktor seperti panjang rute, jarak tempuh, dan waktu perjalanan (Aboudina et al., 2017). Sensitivitas ini menentukan perubahan perilaku pengguna, mulai dari pemilihan rute hingga

pembatalan perjalanan. Penelitian menunjukkan bahwa tarif yang mempertimbangkan sensitivitas pengguna lebih efektif dalam mengatur permintaan dan meningkatkan efisiensi jaringan, dibandingkan tarif yang hanya berorientasi pada pendapatan. Penetapan tarif tol tidak hanya berfungsi sebagai instrumen pengembalian investasi, tetapi juga sebagai mekanisme manajemen permintaan yang memengaruhi distribusi lalu lintas dan pemilihan rute pengguna jalan (Jin et al., 2022)

2.6. Pemodelan lalu lintas makro

Sistem transportasi makro terdiri dari sistem kegiatan, jaringan, dan pergerakan yang saling berkaitan (Tamin, 2000). Pemodelan lalu lintas berfungsi memprediksi pola pergerakan dan mengelola arus, salah satunya melalui pendekatan empat tahap (*trip generation, distribution, mode choice, assignment*) (Mardiati, 2014). Berdasarkan skala, model dibedakan menjadi mikro, makro, dan meso. Model makroskopik dinilai paling sesuai untuk analisis skala besar karena mampu mengevaluasi strategi jaringan secara agregat, meskipun kurang detail dalam menggambarkan kondisi dinamis (Melouk et al., 2009).

3. Metodologi

3.1. Bagan alir penelitian

Pelaksanaan penelitian akan dilaksanakan dengan tahapan sebagaimana digambarkan dalam bagan alir pada **Gambar 1**.

3.2. Tahapan penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu: (1) perumusan masalah dan tujuan berdasarkan studi literatur; (2) pengumpulan data; (3) pengolahan data meliputi perhitungan nilai waktu (ATP dan WTP) serta pemodelan transportasi makro dengan PTV Visum; (4) analisis sensitivitas lalu lintas terhadap variasi tarif; dan (5) penarikan kesimpulan serta penyusunan rekomendasi kebijakan tarif.

3.3. Lokasi penelitian

Penelitian ini berlokasi pada Jalan Tol Yogyakarta–Bawen sepanjang $\pm 75,12$ km yang menghubungkan Sleman hingga Semarang. Jalan tol ini dipilih karena perannya sebagai jalur alternatif strategis untuk mengurangi kepadatan arteri eksisting, meningkatkan konektivitas wilayah, serta pentingnya kajian tarif dan proyeksi lalu lintas guna menjamin keberlanjutan investasi dan manfaat bagi pengguna.

3.4. Identifikasi masalah

Permasalahan utama penelitian ini adalah potensi pendapatan tol yang tidak optimal akibat penetapan tarif yang kurang tepat, serta sensitivitas hubungan tarif dan volume lalu lintas yang dapat memengaruhi

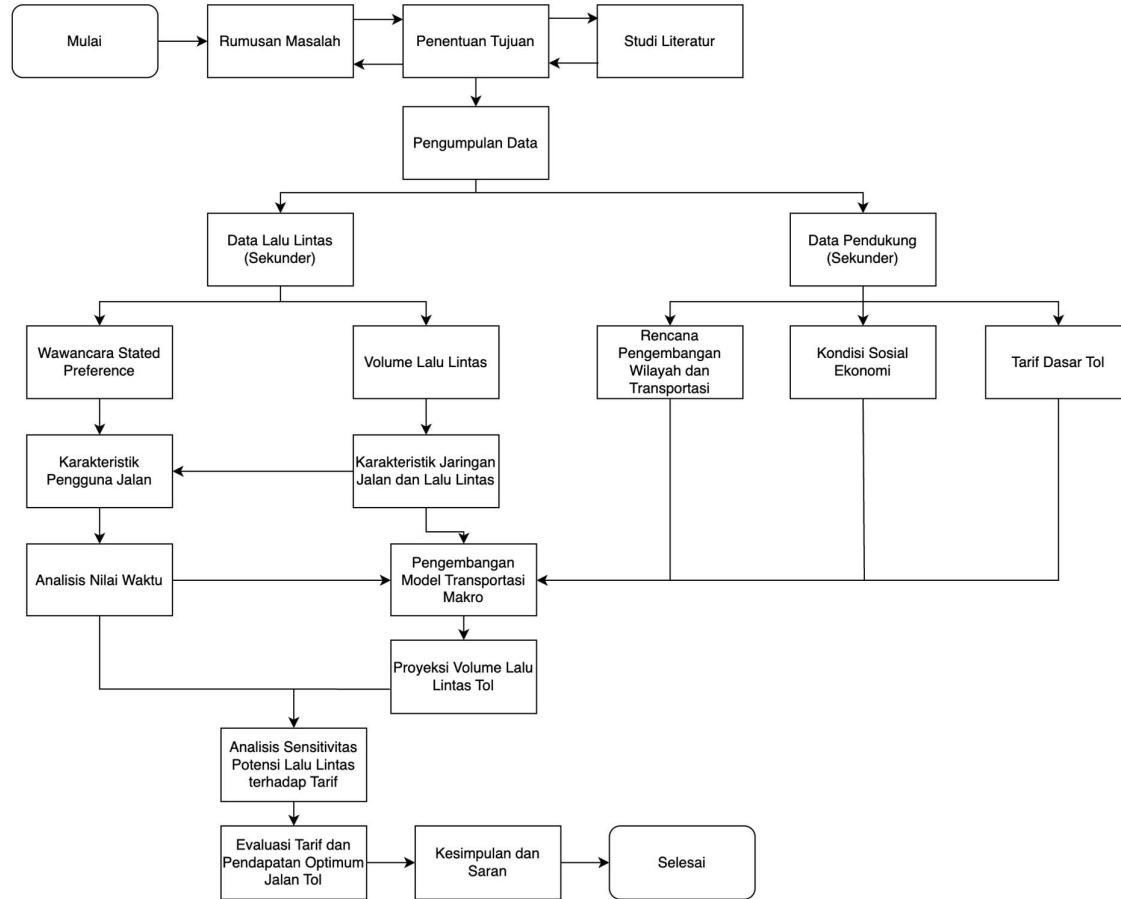
jumlah pengguna.

3.5. Pengumpulan data

3.5.1. Pengumpulan data pendukung sekunder

Data sekunder yang digunakan meliputi rencana pengembangan wilayah dan transportasi, data sosial-

ekonomi (BPS), data perusahaan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen, data geometrik jalan nasional dan tol, serta data asal–tujuan pergerakan orang dan kendaraan di Jawa Tengah dan DIY.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.5.2. Pengumpulan data lalu lintas sekunder

Data lalu lintas diperoleh melalui survei lapangan yang dilakukan pada Kajian Lalu Lintas PT Jasamarga Jogja Bawen berupa wawancara stated preference untuk mengukur ATP–WTP calon pengguna, serta pencacahan volume lalu lintas harian dan jam puncak pada ruas terkait.

3.5.2.1. Pengolahan data

Data yang telah didapatkan kemudian diolah melalui perhitungan, klasifikasi, dan analisis deskriptif, yang kemudian menjadi input utama untuk analisis dan pemodelan transportasi.

3.5.2.2. Pemodelan lalu lintas makro

Pemodelan lalu lintas makro dilakukan dengan perangkat lunak PTV Visum untuk mensimulasikan

arus di koridor Jalan Tol Yogyakarta–Bawen. Pemodelan mencakup jaringan jalan di Jateng dan DIY dengan zona internal dan eksternal, meliputi tahapan pembangunan jaringan, penentuan zona, konversi tarif tol ke fungsi hambatan, serta penyusunan matriks asal-tujuan. Validasi model dilakukan melalui perbandingan hasil simulasi dengan survei lalu lintas menggunakan koefisien determinasi (R^2).

Nilai R^2 dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

Keterangan

$\hat{Y}_i$ = nilai hasil y pemodelan

Y_i = nilai y hasil observasi

$\hat{Y}$ = rata-rata nilai y

R² = koefisien determinasi

Pada penelitian ini disyaratkan R² lebih besar dari 0,50.

3.6. Analisis data

Analisis data meliputi tiga tahap: (1) perhitungan nilai waktu berdasarkan ATP dan WTP, (2) proyeksi volume lalu lintas melalui pemodelan makro menggunakan PTV Visum, dan (3) analisis sensitivitas volume terhadap berbagai skenario tarif untuk menentukan respon pengguna jalan serta tingkat sensitivitas terhadap perubahan tarif.

4. Pengumpulan dan Pengolahan Data

4.1. Pengumpulan dan pengolahan data

Data penelitian diperoleh dari PT Jasa Marga (Persero) Tbk dan PT Jasamarga Jogja Bawen berdasarkan Kajian Lalu Lintas PT Jasamarga Jogja Bawen (2023), data kemudian diolah menjadi parameter perhitungan sebagai dasar analisis.

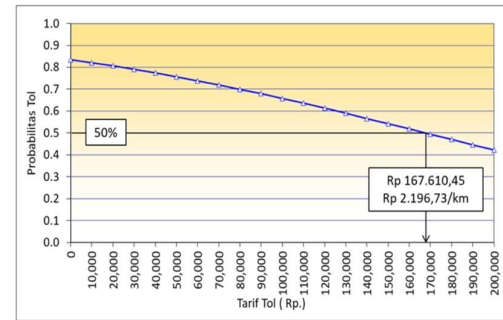
4.1.1. Ability to Pay dan Willingness to Pay

Nilai ATP dan WTP diperoleh dari survei stated preference terhadap 300 responden pengguna potensial Jalan Tol Yogyakarta – Bawen yang dilakukan dalam Kajian Lalu Lintas PT Jasamarga Jogja Bawen (2023). Hasil studi menunjukkan nilai ATP sebesar Rp21.715/jam dan Rp2.204/km. Sementara itu, nilai WTP diperoleh melalui analisis

stated preference menggunakan model logit untuk mengukur trade-off waktu dan biaya, dengan hasil peluang pemilihan jalan tol. Peluang terpilihnya jalan tol berdasarkan hasil studi PT Jasamarga Jogja Bawen adalah sebagai berikut.

$$P_{tol} = \frac{\exp(1,62318 + (-9,6609E - 06)X_1 + (-0,00302)X_2)}{1 + \exp(1,62318 + (-9,6609E - 06)X_1 + (-0,00302)X_2)}$$

Berdasarkan kurva sensitivitas pada **Gambar 2**, nilai WTP ditetapkan pada 50% pengguna. Pada jarak 76,3 km diperoleh tarif Rp167.610 atau Rp2.196/km



Gambar 2. Sensitivitas Perubahan Potensi Pengguna Jalan Tol Terhadap Perubahan Tarif

4.1.2. Nilai waktu

Nilai waktu perjalanan atau *Value of Time* (VoT) merepresentasikan kesediaan pengguna membayar untuk menghemat waktu. Nilai tersebut tergambar dari hasil WTP yang telah dilakukan oleh PT Jasa Marga (Persero) Tbk khususnya pada ruas di wilayah Pulau Jawa sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan data ATP dan WTP

Ruas	Tahun	ATP (Rp/km)	WTP (Rp/km)	WTP (Rp/jam) v=60km/jam
Semarang-Solo	2017	1.356	1.034	62.040
Jakarta-Cikampek II Selatan	2018	1.995	1.229	73.740
Semarang-Batang	2019	1.693	1.477	88.620

Tabel 2. Data nilai waktu

No	Moda	Nilai Waktu Model Antarkota
1	Mobil (CAR)	Rp1.250/menit Rp75.000/jam
2	Pick up (LGV)	Rp1.250/menit Rp75.000/jam
3	Truk Sedang (MGV)	Rp2.625/menit Rp157.500/jam
4	Truk Besar (HGV)	Rp3.125/menit Rp187.500/jam

Nilai waktu didasarkan pada hasil analisis *willingness to pay* (WTP) dan kalibrasi berdasarkan benchmark beberapa ruas tol di Pulau Jawa dalam model milik PT Jasa Marga (Persero) Tbk seperti

Ruas	Tahun	ATP (Rp/km)	WTP (Rp/km)	WTP (Rp/jam) v=60km/jam
Solo-Ngawi	2020	1.795	1.453	87.180
Ngawi-Kertosono	2020	1.726	1.430	85.800
Jombang – Mojokerto	2021	1.939	1.751	105.060

diatas ini.

Nilai waktu ini kemudian digunakan sebagai parameter utama dalam fungsi hambatan (*impedance*) pada pemodelan dengan PTV Visum.

4.1.3. Besar keuntungan biaya operasi kendaraan

Berdasarkan PP No. 23 Tahun 2024, penetapan tarif tol awal memperhitungkan kemampuan bayar, nilai waktu, serta Besar Keuntungan Biaya Operasi Kendaraan (BKBOK). Formula perhitungan BKBOK yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$BKBOK = (BOK_{jalan\ non-tol} - BOK_{jalan\ tol}) - (NW_{jalan\ non-tol} - NW_{jalan\ tol})$$

Hasil kajian ruas Tol Yogyakarta–Bawen (2023) menunjukkan nilai BKBOK Rp 218.530 atau Rp 2.864/km, dengan 70% BKBOK setara Rp **Tabel 3. Hasil Perhitungan BKBOK Jalan Tol Yogyakarta – Bawen**

Yogyakarta - Bawen	Jalan	
	Tol	Non-tol
Jarak (km)	76,3	83,5
Kec. Rata-rata (km/jam)	72,5	29,84
BOK (Rp/km)	2.841	3.706
BOK (Rp)	216.794	309.492
NW (Rp)	75.871	201.703
BOK Total (Rp)	292.666	511.196
BKBOK Non Tol - Tol (Rp)		218.530
BKBOK (Rp/km)		2.864
70% BKBOK (Rp/km)		2.004

4.2. Perhitungan kapasitas dan kecepatan arus bebas

4.2.1. Kapasitas jalan luar kota

Kapasitas jalan luar kota dihitung dengan rumus: $C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf}$. Pada penelitian ini digunakan asumsi: tipe jalan 4 lajur 2 arah terbagi (4/2D), alinyemen datar, lebar jalur 3,5 m, pemisahan arah 50–50, kelas hambatan samping tinggi, serta lebar bahu efektif <0,5 m

Tabel 4. Faktor Penyesuaian Kapasitas Jalan

Faktor Penyesuaian	Kriteria	Nilai
C_o	4/2D, Datar	1.900
FC_w	4/2D, Lebar Lajur 3,5m	1,00
FC_{sp}	4/2D, Pemisahan Arah 50-50	1,00
FC_{sf}	4/2D, H, < 0,5 m	0,99

Sehingga kapasitas Jalan Luar Kota adalah: $C = 1.900 \times 1,00 \times 1,00 \times 0,99 = 1881$ smp/jam/lajur

4.2.2. Kapasitas jalan bebas hambatan

Kapasitas dari jalan bebas hambatan dapat dicari dengan rumus: $C = C_o \times FC_w \times FC_{sp}$.

Sehingga kapasitas Jalan Bebas Hambatan adalah: $C = 2.300 \times 1,00 \times 1,00 = 2300$ smp/jam

4.2.3. Kecepatan arus bebas jalan luar kota

Kecepatan Arus Bebas dari jalan luar kota dapat

2.004/km. Hasil Perhitungan BKBOK Jalan Tol Yogyakarta – Bawen dapat dilihat pada **Tabel 3**.

dicari dengan rumus:

$$FV = (FV_o + FV_w) \times FFV_{sf} \times FFV_{rc}$$

Beberapa asumsi yang akan diambil adalah:

Tabel 5. Faktor Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Jalan Luar Kota

Faktor Penyesuaian	Kriteria	Nilai
FV_o	4/2D, Datar	78
FV_w	4/2D, W_c 3,5m, Datar	0
FFV_{sf}	4/2D, H, W_s 0,5 m	0,98
FFV_{rc}	4/2D, Arteri, pengembangan samping 100%	1,00

Kecepatan arus bebas pada jalan perkotaan adalah $FV = (78 + (0)) \times 0,98 \times 1,00 = 76$ km/jam.

4.2.4. Kecepatan arus bebas jalan bebas hambatan

Kecepatan arus Jalan Bebas Hambatan dapat dicari dengan rumus: $FV = FV_o + FV_w$

Sehingga kapasitas Jalan Bebas Hambatan adalah $FV = 88 + 0,80 = 88$ km/jam.

4.3. Pemodelan eksisting

4.3.1. Pemodelan eksisting

Pemodelan jaringan jalan dengan PTV Visum dilakukan untuk lima jenis kendaraan (MC, CAR, LGV, MGW, HGV) dengan nilai ekivalen mobil penumpang (emp) 0,5; 1,0; 1,0; 1,5; dan 2,16. Jaringan dimodelkan melalui node dan link yang mencakup jalan nasional dan jalan tol di Jawa Tengah serta DIY.

4.3.2. Zona

Pemodelan lalu lintas dibagi ke dalam 44 zona, terdiri atas 40 zona internal (kabupaten/kota di Jawa Tengah dan DIY) dan 4 zona eksternal, yaitu DKI Jakarta–Banten, Jawa Barat, Jawa Timur bagian utara, serta Jawa Timur bagian selatan.

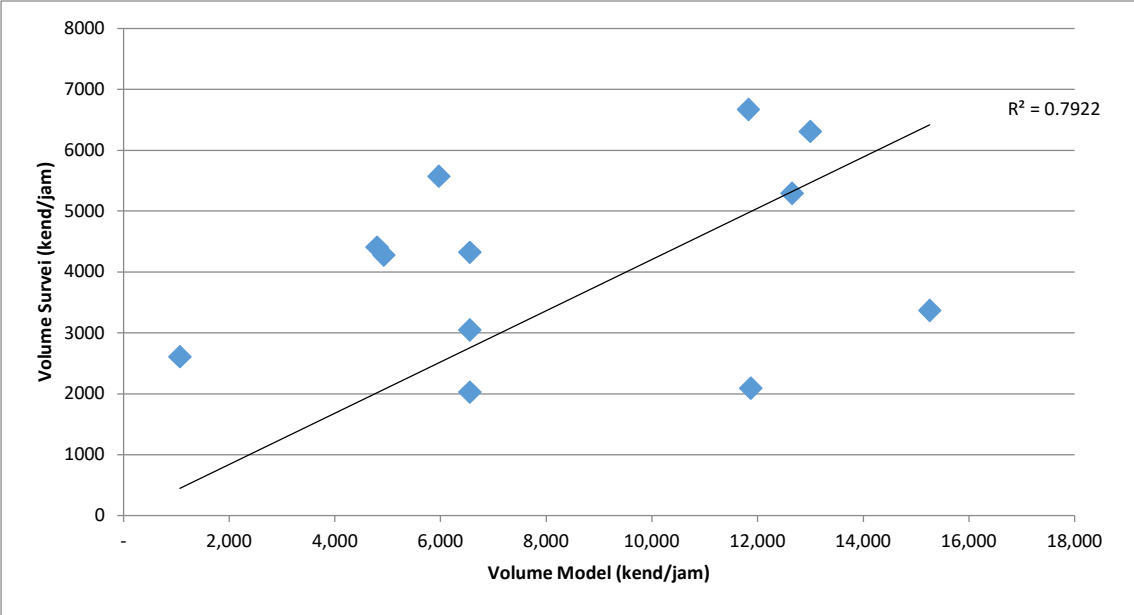
4.3.3. Matriks asal tujuan

Matriks asal-tujuan (MAT) pada pemodelan menggunakan data Kajian Review dan Sinkronisasi Pemodelan Lalu Lintas Pulau Jawa (PT Jasa Marga, 2023), dibedakan berdasarkan jenis kendaraan (MC, CAR, LGV, MGW, HGV) dalam satuan kendaraan/jam dan dihubungkan ke jaringan jalan melalui konektor zona pada PTV Visum.

4.3.4. Validasi

Validasi jaringan dilakukan dengan membandingkan volume hasil pemodelan (tahun dasar 2023) terhadap data *traffic counting* di 13 titik sampel pada koridor

Jalan Tol Yogyakarta–Bawen, dengan tingkat akurasi diukur menggunakan koefisien determinasi (R^2). Hasil grafik regresi linier antara volume hasil pemodelan dengan volume hasil *traffic counting* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3. Validasi Model

Tabel 6. Skenario Tarif Tahun 2029

Skenario	Tarif Gol. I (CAR) (Rp/km)	Tarif Gol II dan III (LGV dan MGV) (Rp/km)	Tarif Gol IV dan V (HGV) (Rp/km)
Skenario 1	750	1125	1500
Skenario 2	1000	1500	2000
Skenario 3	1250	1875	2500
Skenario 4	1500	2250	3000
Skenario 5	1750	2625	3500
Skenario 6	1875	2813	3750
Skenario 7	2000	3000	4000

Hasil validasi menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,7922 ($>0,7$), sehingga model dinyatakan cukup baik dalam memprediksi kondisi arus lalu lintas pada koridor Jalan Tol Yogyakarta–Bawen.

5. Analisis dan Pembahasan

5.1. Kinerja lalu lintas skenario eksisting

Pemodelan lalu lintas tahun dasar 2023

menunjukkan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen meningkatkan kinerja jaringan dengan kenaikan kecepatan rata-rata dari 35,14 menjadi 35,32 km/jam dan penurunan VCR dari 0,69 menjadi 0,63, yang menandakan perbaikan efisiensi lalu lintas.

5.2. Proyeksi lalu lintas skenario tahun 2029

Proyeksi MAT untuk lalu lintas 2029 dihitung dengan metode Furness, dengan asumsi Jalan Tol Yogyakarta–Bawen sudah beroperasi penuh. Dari proyeksi tersebut dilakukan *running model* berdasarkan skenario tarif pada Tabel 6.

Nilai tarif dimasukkan ke dalam model sebagai fungsi *impedance*.

Fungsi Tarif Impedance = $\frac{\text{Tarif Rp/km}}{1.000} / \text{Nilai Waktu}$

Pemodelan skenario dilakukan dua kali, yakni dengan asumsi nilai waktu tetap (Rp1.250/menit) dan nilai waktu meningkat akibat inflasi 3%/tahun hingga 2029 (Rp1.493/menit).

Hasil *Output Running* Visum untuk Volume Lalu Lintas tahun 2029 untuk masing-masing skenario tarif dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Proyeksi Lalu Lintas Tahun 2029 (Tanpa Kenaikan Nilai Waktu)

Seksi	Volume Lalu Lintas pada Ruas <i>Mainroad</i> Masing-Masing Seksi (Kend/jam)						
	750	1000	1250	1500	1750	1875	2000
Seksi 1 (8,8 km)	4726	4008	3251	2227	1400	984	790
Seksi 2 (15,2 km)	6049	5135	4289	3360	2549	2186	1678
Seksi	Volume Lalu Lintas pada Ruas <i>Mainroad</i> Masing-Masing Seksi (Kend/jam)						
	750	1000	1250	1500	1750	1875	2000
Seksi 3 (8,8 km)	6933	5952	5205	4025	3345	2920	2477
Seksi 4 (16,6 km)	7115	5879	4776	3723	2984	2602	2284
Seksi 5 (21,3 km)	7393	6048	5052	3980	3233	2825	2615
Seksi 6 (4,9 km)	8031	6589	5595	4302	3951	3754	3247
Weighted Average	6740	5612	4678	3618	2884	2502	2165

Tabel 8. Proyeksi Lalu Lintas Tahun 2029 (Nilai Waktu Sesuai Inflasi)

Seksi	Volume Lalu Lintas pada Ruas <i>Mainroad</i> Masing-Masing Seksi (Kend/jam)						
	750	1000	1250	1500	1750	1875	2000
Seksi 1 (8,8 km)	5411	4540	3928	3173	2346	1942	1647
Seksi 2 (15,2 km)	6848	5871	5129	4240	3322	2952	2724
Seksi 3 (8,8 km)	7433	6894	5967	4864	4204	3865	3516
Seksi 4 (16,6 km)	7567	6679	5600	4771	3961	3554	3177
Seksi 5 (21,3 km)	7649	6751	5800	4719	4222	3795	3393
Seksi 6 (4,9 km)	8505	7194	6329	5277	4828	4374	3896
Weighted Average	7240	6343	5454	4505	3801	3400	3052

5.3. Proyeksi lalu lintas skenario tahun 2039

Proyeksi MAT untuk lalu lintas tahun 2039 dilakukan dengan metode Furness. Dari proyeksi tersebut dilakukan *running model* berdasarkan skenario tarif sebagai berikut.

Tabel 9. Skenario Tarif Tahun 2039

Skenario	Tarif Gol. I (CAR) (Rp/km)	Tarif Gol II dan III (LGV dan MG) (Rp/km)	Tarif Gol IV dan V (HGV) (Rp/km)
Skenario 1	1000	1500	2000
Skenario 2	1350	2025	2700
Skenario 3	1700	2550	3400

Skenario 4	2000	3000	4000
Skenario 5	2350	3525	4700
Skenario 6	2500	3750	5000
Skenario 7	2700	4050	5400

Proyeksi 2039 dilakukan dengan dua asumsi nilai waktu: tetap Rp1.250/menit dan naik menjadi Rp2.006/menit akibat inflasi 3% per tahun, dengan tarif tol eksisting diasumsikan tetap.

Hasil *Output Running Visum* untuk Volume Lalu Lintas tahun 2039 untuk masing-masing skenario tarif dapat dilihat pada **Tabel 10** dan **Tabel 11**.

Tabel 10. Proyeksi Lalu Lintas Tahun 2039 (Tanpa Kenaikan Nilai Waktu)

Seksi	Volume Lalu Lintas pada Ruang <i>Mainroad</i> Masing-Masing Seksi (Kend/Jam)						
	1000	1350	1700	2000	2350	2500	2700
Seksi 1 (8,8 km)	5467	4866	3791	2660	1890	1705	1450
Seksi 2 (15,2 km)	7075	6398	5449	4317	3336	3021	2861
Seksi 3 (8,8 km)	8167	7305	6534	5418	4532	4106	3720
Seksi 4 (16,6 km)	7882	6867	5976	5066	4268	3823	3561
Seksi 5 (21,3 km)	7838	6860	6143	5179	4504	4059	3843
Seksi 6 (4,9 km)	8446	7395	6787	5917	5082	4818	4482
Weighted Average	7491	6618	5775	4759	3950	3576	3331

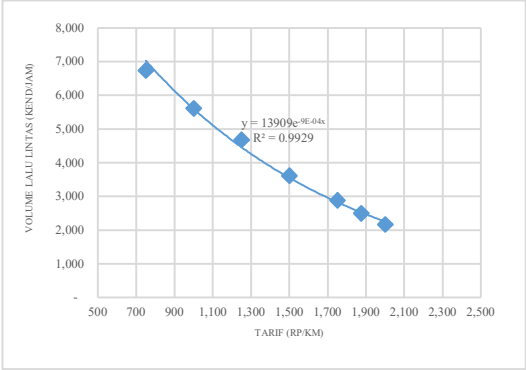
Tabel 11. Proyeksi Lalu Lintas Tahun 2039 (Nilai Waktu Sesuai Inflasi)

Seksi	Volume Lalu Lintas pada Ruang <i>Mainroad</i> Masing-Masing Seksi (Kend/Jam)						
	1000	1350	1700	2000	2350	2500	2700
Seksi 1 (8,8 km)	5692	5077	4588	3472	2659	2416	1989
Seksi 2 (15,2 km)	7610	6695	6088	5076	4073	3817	3356
Seksi 3 (8,8 km)	8498	7682	7157	6240	5244	4749	4240
Seksi 4 (16,6 km)	7954	7169	6492	5803	4712	4297	4107
Seksi 5 (21,3 km)	8196	7062	6416	5596	5069	4488	4144
Seksi 6 (4,9 km)	8745	7780	6962	6423	5848	5105	5073
Weighted Average	7800	6893	6268	5412	4577	4136	3796

5.4. Analisis sensitivitas volume lalu lintas terhadap tarif

Perubahan volume lalu lintas dalam penelitian ini dipengaruhi oleh perubahan besaran tarif dan nilai waktu perjalanan. Hasil pemodelan menunjukan bahwa volume lalu lintas tahun 2039 lebih tinggi dibandingkan tahun 2029 pada tingkat tarif yang sama. Penurunan volume yang terjadi sebagai respons atas kenaikan tarif, menunjukkan elastisitas permintaan pengguna terhadap perubahan biaya perjalanan.

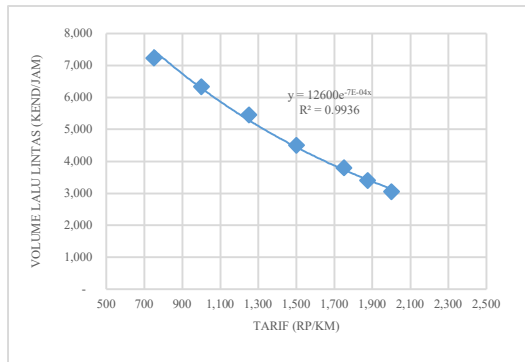
Dari hasil volume pemodelan lalu lintas pada tahun 2029 dan 2039 didapatkan grafik hubungan sensitivitas antara volume lalu lintas dan tarif tol seperti yang terlihat pada **Gambar 4**, **Gambar 5**, **Gambar 6**, dan **Gambar 7**.



Gambar 4. Sensitivitas Tarif terhadap Volume Lalu Lintas 2029 (Tanpa Kenaikan Nilai Waktu)

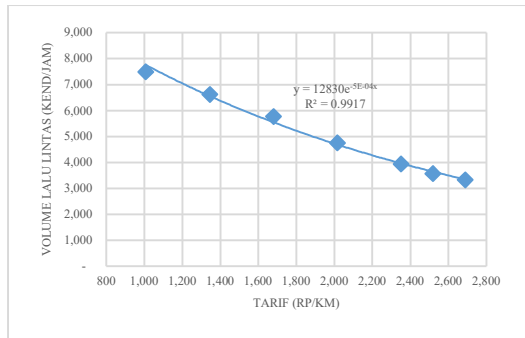
Dengan asumsi nilai waktu naik akibat inflasi (Rp1.493/menit), pemodelan 2029 menunjukkan penurunan volume lalu lintas ±900 kendaraan/jam pada tarif Rp750–Rp1.500/km, dan ±700 kendaraan/jam pada tarif >Rp1.500/km untuk setiap

kenaikan Rp250/km.

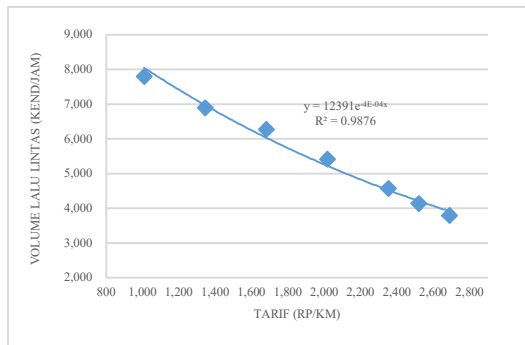


Gambar 5. Sensitivitas Tarif terhadap Volume Lalu Lintas 2029 (Nilai Waktu Naik Sesuai Inflasi)

Dengan asumsi nilai waktu konstan (Rp1.250/menit), pemodelan 2039 menunjukkan setiap kenaikan tarif Rp350/km menurunkan volume lalu lintas ± 900 kendaraan/jam pada tarif Rp1.000–Rp2.350/km, dan ± 600 kendaraan/jam pada tarif $> \text{Rp}2.350/\text{km}$.



Gambar 6. Sensitivitas Tarif terhadap Volume Lalu Lintas 2039 (Tanpa Kenaikan Nilai Waktu)



Gambar 7. Sensitivitas Tarif terhadap Volume Lalu Lintas 2039 (Nilai Waktu Naik Sesuai Inflasi)

Dengan asumsi nilai waktu meningkat akibat inflasi (Rp2.006/menit), pemodelan 2039 menunjukkan setiap kenaikan tarif Rp350/km menurunkan volume lalu lintas ± 800 kendaraan/jam pada tarif Rp1.000–

Rp2.700/km dengan perubahan relatif stabil.

5.5. Analisis sensitivitas pendapatan tol terhadap tarif

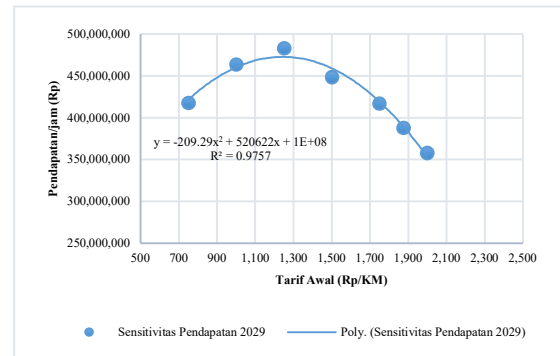
Pendapatan Per Seksi (Rp/jam) = Volume Lalu

Lintas Per Seksi Per Golongan (Kend/jam) x Tarif Per Golongan x Panjang km Seksi

Untuk proyeksi tahun 2029 tanpa kenaikan nilai waktu, diperoleh pendapatan tol untuk masing-masing skenario tarif sebagai berikut :

Tabel 12. Pendapatan Tol Tahun 2029 (Tanpa Kenaikan Nilai Waktu)

Tarif 2029	Pendapatan/Jam (Rp)
750	417.654.770
1000	463.737.281
1250	483.152.460
1500	448.448.213
1750	417.052.149
1875	387.687.353
2000	357.831.429



Gambar 8. Sensitivitas Pendapatan Terhadap Tarif Tol Tahun 2029 (Tanpa Kenaikan Nilai Waktu)

Nilai tarif awal (x) yang menghasilkan pendapatan maksimal (y) untuk tahun 2029 tanpa kenaikan nilai waktu dapat dihitung sebagai turunan dari fungsi dimaksud (titik puncak parabola):

$$Y = -209,29X^2 + 520622X + 108$$

$$dY/dX = 2*(-209,29)X + 520622$$

$$dY/dX = 0$$

$X = 1.300$ menghasilkan pendapatan maksimum tahun 2029

Untuk proyeksi tahun 2029 dengan asumsi nilai waktu naik sesuai inflasi, diperoleh pendapatan tol untuk masing-masing skenario tarif sebagai berikut pada **Tabel 13**.

Nilai tarif awal (x) yang menghasilkan pendapatan maksimal (y) untuk tahun 2029 dengan kenaikan nilai waktu sesuai inflasi dapat dihitung sebagai turunan dari fungsi dimaksud (titik puncak parabola):

$Y = -228,11X^2 + 666437X + 8 \cdot 10^7$

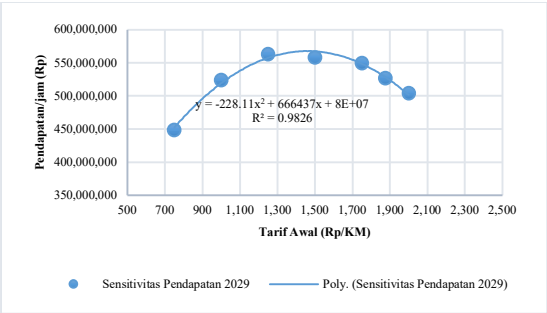
$dY/dX = 2 \cdot (-228,11)X + 666437$

$dY/dX = 0$

X = 1.400 menghasilkan pendapatan maksimum untuk tahun 2029 dengan kenaikan nilai waktu .

Tabel 13. Pendapatan Tol Tahun 2029 (Nilai Waktu Naik Sesuai Inflasi)

Tarif 2029	Pendapatan/Jam (Rp)
750	448.662.824
1000	524.086.103
1250	563.278.325
1500	558.360.924
1750	549.563.090
1875	526.714.281
2000	504.289.485



Gambar 9. Sensitivitas Pendapatan Terhadap Tarif Tol Tahun 2029 (Nilai Waktu Naik Sesuai Inflasi)

Untuk proyeksi tahun 2039 tanpa kenaikan nilai waktu, diperoleh pendapatan tol untuk masing-masing skenario tarif sebagai berikut.

Tabel 14. Pendapatan Tol Tahun 2039 (Tanpa Kenaikan Nilai Waktu)

Tarif 2039	Pendapatan/Jam (Rp)
1000	618.971.576
1350	738.228.581
1700	801.650.785
2000	786.421.960

2350 767.058.229

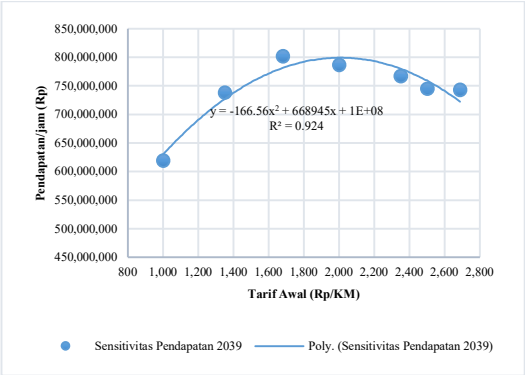
Nilai tarif awal (x) yang menghasilkan pendapatan maksimal (y) untuk tahun 2039 tanpa kenaikan nilai waktu dapat dihitung sebagai turunan dari fungsi dimaksud (titik puncak parabola):

$Y = -166,56X^2 + 668945X + 10^8$

$dY/dX = 2 \cdot (-166,56)X + 668945$

$dY/dX = 0$

X = 1.900 menghasilkan pendapatan maksimum untuk tahun 2039

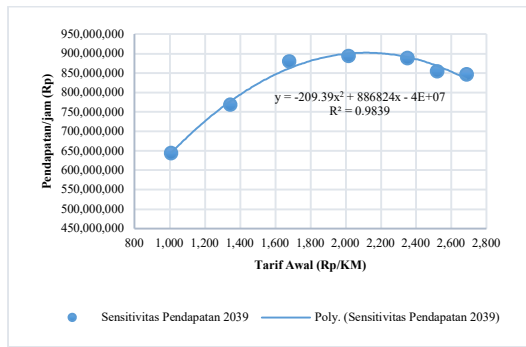


Gambar 10. Sensitivitas Pendapatan Terhadap Tarif Tol Tahun 2039 (Tanpa Kenaikan Nilai Waktu)

Untuk proyeksi tahun 2039 dengan asumsi nilai waktu naik sesuai inflasi, diperoleh pendapatan tol untuk masing-masing skenario tarif sebagai berikut:

Tabel 15. Pendapatan Tol Tahun 2039 (Nilai Waktu Naik Sesuai Inflasi)

Tarif 2039	Pendapatan/Jam (Rp)
1000	644.446.384
1350	768.920.040
1700	880.450.285
2000	894.351.721
2350	888.655.444
2500	854.424.895
2700	846.765.759



Gambar 11. Sensivitas Pendapatan Terhadap Tarif Tahun 2039 (Nilai Waktu Naik Sesuai Inflasi)

Nilai tarif awal (x) yang menghasilkan pendapatan maksimal (y) untuk tahun 2039 dengan kenaikan nilai waktu sesuai inflasi dapat dihitung sebagai turunan dari fungsi dimaksud (titik puncak parabola):

$$Y = -209,39X^2 + 886824X + 4 \cdot 10^7$$

$$dY/dX = 2 \cdot (-209,39)X + 886824$$

$$dY/dX = 0$$

$X = 2.130$ menghasilkan pendapatan maksimum untuk tahun 2039 dengan kenaikan nilai waktu

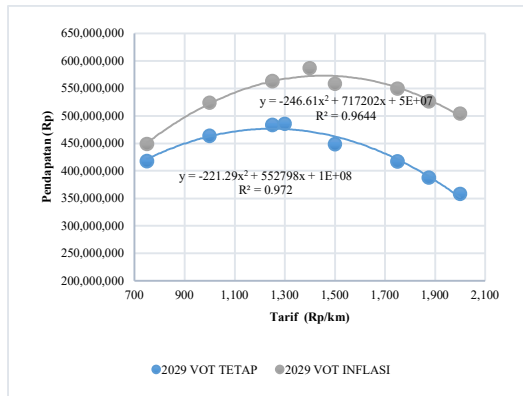
5.6. Analisis maksimum revenue

Hasil perbandingan tarif dan estimasi pendapatan tol adalah sebagai berikut pada Tabel 16.

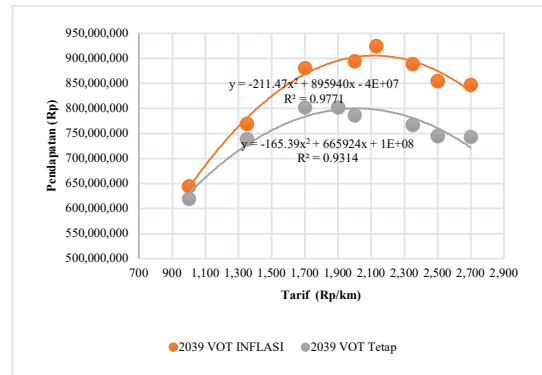
Tabel 16. Daftar Tarif dan Pendapatan Masing-Masing Skenario

Tahun & Skenario	Tarif	Pendapatan/Jam (Rp)
2029 (Inflasi)	750	448.662.824
	1000	524.086.103
	1250	563.278.325
	1400	586.932.550
	1500	558.360.924
	1750	549.563.090
	1875	526.714.281
	2000	504.289.485
2029 (Nilai Waktu Tetap)	750	417.654.770
	1000	463.737.281
	1250	483.152.460
	1300	485.652.657
	1500	448.448.213
	1750	417.052.149
	1875	387.687.353
	2000	357.831.429

Tahun & Skenario	Tarif	Pendapatan/Jam (Rp)
2039 (Inflasi)	1000	644.446.384
	1350	768.920.040
	1700	880.450.285
	2000	894.351.721
	2130	924.324.497
	2350	888.655.444
	2500	854.424.895
	2700	846.765.759
2039 (Nilai Waktu Tetap)	1000	618.971.576
	1350	738.228.581
	1700	801.650.785
	1900	801.677.545
	2000	786.421.960
	2350	767.058.229
	2500	744.646.725
	2700	743.038.110



Gambar 12. Pendapatan vs Tarif Tol Tahun 2029



Gambar 13. Pendapatan vs Tarif Tol Tahun 2039

Berdasarkan penelitian, analisis menunjukkan tarif optimum untuk memaksimalkan pendapatan Tol Yogyakarta–Bawen sebesar Rp1.400/km (2029) dan Rp2.130/km (2039) untuk kendaraan Golongan I.

6. Kesimpulan

Pada penelitian ini terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Perubahan tarif tol berpengaruh signifikan terhadap volume lalu lintas; semakin tinggi tarif, semakin rendah volume, dengan tarif optimum cenderung lebih kecil pada awal operasi.

Pendapatan tol dipengaruhi oleh kombinasi tarif dan volume; tarif terlalu tinggi tidak selalu menghasilkan pendapatan maksimum.

Kenaikan nilai waktu meningkatkan volume lalu lintas dalam model dan mendorong kenaikan tarif optimum. Hasil penelitian pada ruas Jalan Tol Yogyakarta–Bawen menunjukkan:

Tahun 2029: tarif optimum Rp1.400/km (VoT inflasi) dan Rp1.300/km (VoT tetap).

Tahun 2039: tarif optimum Rp2.130/km (VoT inflasi) dan Rp1.900/km (VoT tetap).

Penerapatan tarif yang tinggi pada awal operasi dan kenaikan tarif yang tinggi saat jalan tol sudah beroperasi belum tentu menghasilkan pendapatan tol yang maksimum. Evaluasi penetapan tarif dapat dilakukan dengan mempertimbangkan variabel-variabel lain di luar nilai waktu dan besaran tarif antara lain perilaku pengguna jalan, pengembangan sistem jaringan jalan, rencana pengoperasian, pertumbuhan ekonomi, serta faktor lain yang dapat mempengaruhi arus lalu lintas dan tarif.

Daftar Pustaka

Aboudina, A., Abdulhai, B. (2017): A bi-level distributed approach for optimizing time-dependent congestion pricing in large networks: A simulation-based case study in the Greater Toronto Area, *Transportation Research Part C* : 85 (2017) 684-710.

de Grange, L., Troncoso, R., González, F. (2017): A Road Pricing Model for Congested Highways Based on Link Densities, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2017, Article ID 3127398, 1–12.

Fan, Wei (2015): Optimal congestion pricing toll design for revenue maximization: comprehensive numerical results and implications, *Can. J. Civ. Eng.* 42:544-551 (2015) dx.doi.org/10.1139/cjce-2014-0513.

Gupta, S., Kalra, A., Kachroo, P. (2020): Revenue Optimization of Toll Roads Under Elastic Demand. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2020, Article ID 6581243.

Hensher, D. A. (1989): Behavioural and resource values of travel time savings: a bicentennial update, *Australian Road Research*, 19(4), 223–229.

Jin, H., Zhao, Y., Li, X., & Li, Z. (2022) A dynamic and deadline-oriented road pricing mechanism for urban traffic management. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, Article ID 5505717.

Litman, T. (2025): Understanding Transport Demands and Elasticities: How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior. Victoria Transport Policy Institute, Canada.

Lubis, H., Karsaman, R., Armijaya, H. (2000/2001): Urban toll road users' value of time saving; Toll Road Charging in Indonesia.

Mardiati, R. (2014): *Review of microscopic model for traffic flow* (laporan/tesis/paper), Sunan Gunung Djati State Islamic University Bandung.

Pemerintah RI. (2004): *Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

- Pemerintah RI. (2017): Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2017 tentang Jalan Tol. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Peraturan Menteri PUPR. (2017): Undang-Undang Nomor 01 Tahun 2017 tentang Tata Cara Pelaksanaan Pengadaan Badan Usaha untuk Pengusahaan Jalan Tol. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Peraturan Pemerintah (2024): Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2024 tentang Jalan Tol. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Peraturan Pemerintah. (2005): Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Prasetyo, L. Bambang Budi, Zuraida, S.(2020) Analisis Sensitivitas Volume Lalu Lintas Terhadap Perubahan Tarif Berbasis Willingness to Pay (WTP) Jalan Tol Semarang – Solo, Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota Institut Teknologi Sains Bandung. ISSN 2615 - 705
- PT Jasa Marga (Persero) Tbk. (2023): Kajian Review dan Sinkronisasi Pemodelan Lalu Lintas Pulau Jawa. Jakarta.
- PT Jasamarga Jogja Bawen. (2023): Kajian Lalu Lintas Jalan Tol Yogyakarta-Bawen. Yogyakarta.
- Small, K. A., Verhoef, E. T. (2007): The Economics of Urban Transportation. Routledge, London.
- Tamin, O. Z. (2000): Perencanaan dan Pemodelan Transportasi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Small, K. A., Verhoef, E. T. (2007): The Economics of Urban Transportation. Routledge, London.
- Tamin, O. Z. (2000): Perencanaan dan Pemodelan Transportasi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Zubet, M. A., Ismiyati, dan Riyanto, B. (2020): Analysis of Highway Rates Based on Ability to Pay (ATP) and Willingness to Pay (WTP) Case Study : Plan for Semarang Harbour Highway, Journal of Physics : Conference Series, 9(1): 1625 (2020) 012036.
- Zubet, M. A., Ismiyati, dan Riyanto, B. (2020): Analysis of Highway Rates Based on Ability to Pay (ATP) and Willingness to Pay (WTP) Analisis Sensitivitas Volume Lalu Lintas Terhadap Perubahan Tarif Berbasis Willingness to Pay (WTP) Jalan Tol Semarang – Solo, Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota Institut Teknologi Sains Bandung. ISSN 2615 - 705.