

PERBANDINGAN BIAYA OPERASI TRUK PADA RUAS JALAN TOL DAN NON-TOL RUTE KANCI-PEMALANG MENGGUNAKAN METODE HDM-4

Pradhana Wahyu Nariendra

S1 Manajemen Transportasi, Fakultas Logistik Teknologi dan Bisnis, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional
email: pradhana@ulbi.ac.id

Abstrak

Jalan tol di Indonesia, khususnya jaringan Tol Trans Jawa, memiliki peran penting dalam memperlancar arus barang dan mendukung efisiensi perjalanan. Namun, tingginya biaya operasional kendaraan (BOK) di jalan tol, terutama pada ruas Kanci-Pemalang, menyebabkan banyak pengemudi truk menghindari penggunaannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan *Space Mean Speed* dan BOK truk yang melintas di ruas Tol Kanci-Pemalang dan Jalur Pantura Non-Tol. Data yang dikumpulkan meliputi kecepatan operasi, harga bahan bakar, biaya tol, biaya makan, dan spesifikasi kendaraan menggunakan metode HDM-4 dengan kalibrasi Level 1. Hasil analisis menunjukkan bahwa jalur tol memiliki *space mean speed* yang lebih tinggi dibandingkan jalur Non-Tol, dengan truk 2 gandar mencatat kecepatan tertinggi di semua rute. Namun, total BOK lebih tinggi pada rute tol akibat biaya tol dan makan yang signifikan, terutama pada truk 2 gandar dengan selisih 32,3% dibandingkan Non-Tol. Sebaliknya, rute Non-Tol menghasilkan BOK dasar yang lebih tinggi, terutama pada truk 5 gandar dengan selisih 10,8%. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan dalam merumuskan kebijakan transportasi yang lebih efisien, termasuk penyesuaian tarif tol dan penyediaan fasilitas pendukung bagi angkutan barang di Indonesia.

Kata Kunci: Biaya Operasi Kendaraan, Space Mean Speed, Tol Kanci, Tol Pemalang, HDM-4

Abstract

The toll roads in Indonesia, particularly the Trans-Java Toll Road network, play a crucial role in facilitating goods movement and improving travel efficiency. However, the high vehicle operating costs (VOC) on toll roads, especially along the Kanci-Pemalang segment, have led many truck drivers to avoid using them. This study aims to compare the space mean speed and VOC of trucks traveling on the Kanci-Pemalang Toll Road and the Pantura Non-Toll Road. Data collected included operational speed, fuel prices, toll fees, meal costs, and vehicle specifications, analyzed using the HDM-4 method with Level 1 calibration. The results show that the toll road generally offers a higher space mean speed than the Non-Toll Road, with two-axle trucks consistently recording the highest speeds across all routes. However, the total VOC was higher on toll roads due to significant toll charges and meal expenses, particularly for two-axle trucks, where costs were 32.3% higher compared to the Non-Toll Road. In contrast, the Non-Toll Road showed a higher base VOC, especially for five-axle trucks, with a difference of 10.8%. These findings provide valuable insights for policymakers to consider more efficient transport strategies, including adjusting toll rates and improving supporting facilities for freight operations in Indonesia.

Keywords: Vehicle Operating Costs, Space Mean Speed, Kanci Toll Road, Pemalang Toll Road, HDM-4

1. PENDAHULUAN

Jalan tol di Indonesia, khususnya jaringan Tol Trans Jawa, memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi perjalanan dan memperlancar arus barang, yang secara langsung mendukung pertumbuhan ekonomi dan sektor logistik. Jalan tol diharapkan dapat menjadi rute distribusi yang lebih efisien dengan mengurangi waktu tempuh dan mempercepat proses pengiriman barang. Hal ini terlihat pada pembangunan Jalan Tol Trans Jawa sepanjang 1.167 km yang menghubungkan Jakarta-Surabaya, termasuk ruas Tol Kanci-Pemalang, yang dirancang sebagai rute cepat untuk meningkatkan konektivitas antarwilayah (Dewitasari, 2016; Hidayat dkk., 2020). Salah satu contohnya adalah Jalan Tol Cikopo-Palimanan (Cipali) sepanjang 116,75 km yang sejak diresmikan pada tahun 2015 mampu mempercepat waktu tempuh hingga 39% dan meningkatkan volume angkutan barang sebesar 30-40% bagi bisnis lokal (Ardiyono dkk., 2018). Bahkan, wilayah yang dilalui Cipali mengalami pertumbuhan ekonomi dengan rata-rata di atas 5% (Hamidah, 2023).

Namun demikian, meskipun salah satu tujuan utama pembangunan jalan tol adalah menurunkan biaya logistik, kenyataannya masih banyak pengemudi angkutan barang yang menghindari penggunaan jalan tol, khususnya di ruas Kanci-Pemalang. Hal ini disebabkan oleh tingginya biaya operasional yang tidak sebanding dengan manfaat yang diperoleh. Menurut Kepala Cabang Operasional PT Pejagan Pemalang Toll Road, jumlah truk yang melintas di ruas tersebut menurun dengan rata-rata harian kurang dari 3.000 kendaraan. Hal ini disebabkan sistem penggajian pengemudi yang hanya memberikan uang jalan terbatas, sehingga jika memilih jalan tol, sebagian besar dana habis untuk membayar tarif tol. Misalnya, perjalanan Jakarta-Surabaya dengan biaya angkutan Rp 6-7 juta dapat menghabiskan hingga 20% hanya untuk tol, belum termasuk bahan bakar, konsumsi, dan biaya tambahan lainnya (Rahayu, 2019). Truk berat dengan muatan penuh hanya mampu melaju rata-rata 40 km/jam dan harus berhenti setiap 3-4 jam untuk mencegah ban terlalu panas. Meski jalan tol dirancang untuk kecepatan tinggi, truk tetap membatasi kecepatan demi keamanan. Perjalanan Semarang-Jakarta melalui tol membutuhkan sekitar 1,5 hari, sedangkan via jalan nasional sekitar dua hari dengan selisih waktu yang tidak signifikan (Merdeka.com, 2019).

Minimnya fasilitas pendukung menjadi kendala utama penggunaan Tol Kanci-Pemalang bagi angkutan barang. Rest area yang terbatas dan lebih diperuntukkan bagi kendaraan kecil membuat pengemudi truk kesulitan mendapatkan tempat istirahat yang memadai. Selain itu, SPBU yang tersedia cenderung melayani pembayaran dengan sistem voucher dan memiliki lahan yang sempit, sehingga menyulitkan kendaraan besar dalam pengisian bahan bakar. Keterbatasan ini diperparah dengan minimnya bengkel dan tambal ban yang tersedia, yang mana jika pun ada, harga layanan cenderung mahal akibat tingginya biaya sewa lahan di rest area. Dari sisi biaya, tarif tol yang tinggi, dipengaruhi oleh besarnya biaya investasi pembangunan, menjadi salah satu alasan utama truk lebih memilih jalan non-tol. Harga kebutuhan pokok dan makanan yang lebih mahal di rest area tol dibandingkan rute Pantura turut menambah beban operasional pengemudi truk, selain biaya bahan bakar dan tarif tol itu sendiri (Dinda, 2019).

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan, penelitian ini akan menganalisis kecepatan rata-rata kendaraan truk pada berbagai golongan yang melintasi Jalan Tol Kanci-Pemalang dan Rute Pantura Non-Tol, serta menghitung total Biaya Operasi Kendaraan (BOK) truk angkutan barang pada kedua rute tersebut. Selanjutnya, penelitian ini akan membandingkan total BOK antara penggunaan jalan tol dan jalan non-tol untuk mengidentifikasi tingkat efisiensi operasional yang ditawarkan oleh masing-masing rute. Untuk menjaga fokus penelitian, objek yang dikaji terbatas pada ruas Jalan Tol Kanci-Pemalang dan Rute Pantura Non-Tol dengan jenis kendaraan yang dianalisis meliputi truk dengan konfigurasi 2 gandar, 3 gandar, dan 5 gandar. Penelitian ini menggunakan metode *Highway Development and Management* (HDM-4) yang diharapkan mampu memberikan informasi komprehensif terkait komponen biaya operasional kendaraan truk secara rinci. HDM-4 yang dikembangkan oleh Bank Dunia merupakan sistem pendukung keputusan yang banyak dimanfaatkan oleh lembaga pengelola jalan dan manajer infrastruktur di berbagai negara (Kerali dkk., 2006; Odoki, 2016; Perrotta dkk., 2019; Prasad dkk., 2013; Thube, 2013; Valdés dkk., 2011). Selain itu, Model HDM-4 memiliki kelebihan dalam mengestimasi BOK dengan metode perhitungan yang komprehensif, mencakup konsumsi bahan bakar, pemeliharaan, dan depresiasi (Zaabar & Chatti, 2010). Integrasinya

dengan faktor jalan dan lalu lintas meningkatkan akurasi estimasi dibandingkan metode lain (Kebebew & Quezon, 2022). Fleksibilitasnya memungkinkan kalibrasi sesuai kondisi lokal, sementara kerangka statistiknya yang kuat mendukung keputusan investasi infrastruktur dan kebijakan transportasi (Kumaravel & Velkennedy, 2024; Ranawaka & Pasindu, 2019). Dengan rekam jejak global dan integrasi dampak lingkungan serta sosial, HDM-4 menjadi alat perhitungan BOK yang akurat dan andal bagi pembuat kebijakan dan peneliti (Calderón-Ramírez dkk., 2024). Penelitian ini berkontribusi secara empiris, metodologis, dan praktis dengan menyajikan analisis mendalam terkait biaya operasional truk, membandingkan dua jenis rute, menggunakan metode terstandarisasi, serta mengidentifikasi faktor yang menghambat penggunaan tol dalam konteks logistik Indonesia. Hasilnya dapat dijadikan referensi bagi pemerintah, operator jalan tol, dan pelaku industri logistik untuk perbaikan kebijakan transportasi dan pengelolaan infrastruktur jalan yang lebih efisien.

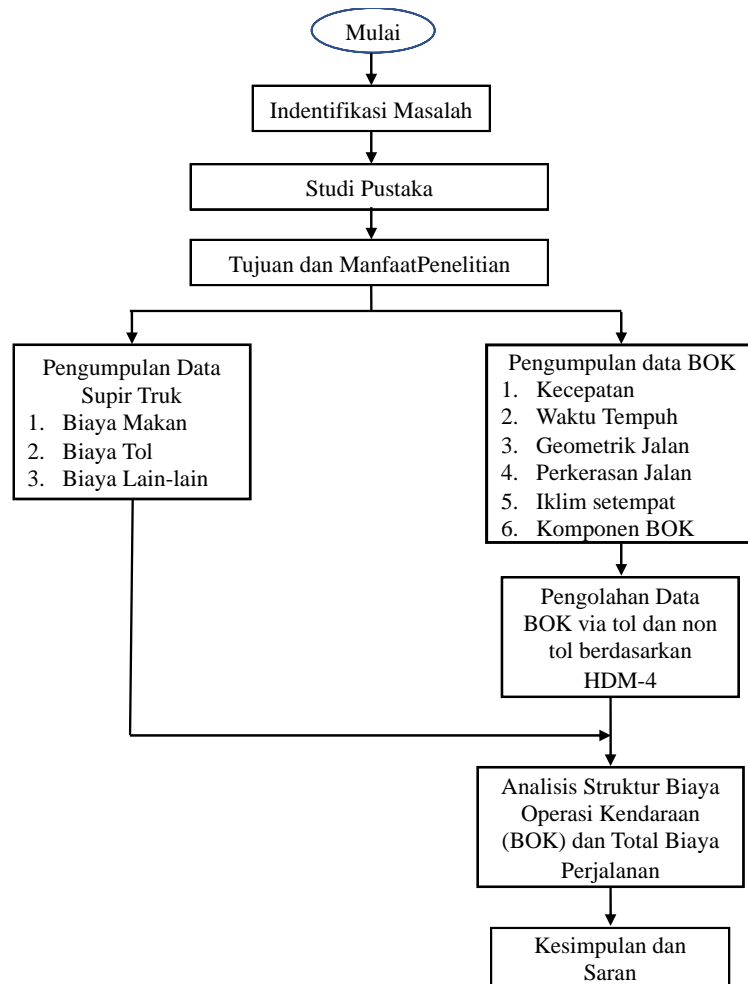
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan untuk membandingkan Biaya Operasi Kendaraan (BOK) truk pada Jalan Tol Kanci–Pemalang dan Jalur Pantura Non-Tol Kanci–Pemalang dengan menggunakan metode *Highway Development and Management-4* (HDM-4). Metode ini dipilih karena mampu mengestimasi komponen biaya operasional kendaraan secara terperinci dengan mempertimbangkan kondisi jalan, spesifikasi kendaraan, dan faktor teknis lainnya. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kalibrasi Level I HDM-4, yang memungkinkan penyesuaian dasar terhadap parameter model dengan sumber daya dan data yang terbatas, namun tetap menghasilkan estimasi yang akurat untuk analisis komparatif. Untuk menyesuaikan hasil prediksi dengan kondisi lokal, penelitian ini menerapkan Kalibrasi Level I HDM-4 yang merupakan pendekatan dasar dalam proses kalibrasi. Kalibrasi Level I ini dipilih karena menggunakan parameter default yang hanya mengalami penyesuaian pada variabel yang paling berpengaruh terhadap estimasi biaya, seperti kecepatan rata-rata kendaraan dan konsumsi bahan bakar. Kalibrasi ini dianggap sesuai dengan tujuan penelitian yang lebih menekankan pada perbandingan awal efisiensi biaya operasional tanpa perlu melakukan modifikasi kode atau pengumpulan data yang kompleks (Bennett & Paterson, 2000; Perrotta dkk., 2019). Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

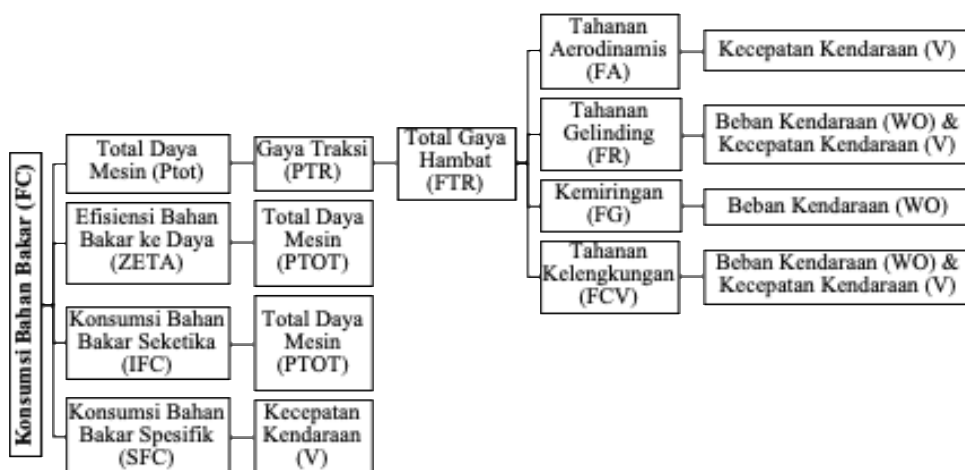
Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan data primer dan data sekunder guna memastikan akurasi dalam perhitungan biaya operasional. Data primer dikumpulkan melalui survei lapangan dengan metode *Moving Car Observer* yang digunakan untuk mengukur kecepatan operasi rata-rata kendaraan truk pada masing-masing rute yang dilakukan pada Tahun 2022. Selain itu, wawancara dengan pengemudi truk dan pihak perusahaan angkutan dilakukan untuk mengumpulkan data mengenai produksi kendaraan, harga bahan bakar, harga pelumas, harga ban, serta biaya tenaga kerja. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari Kementerian PUPR yang menyediakan data *International Roughness Index* (IRI) yang menggambarkan tingkat kekasaran jalan, serta data geometrik jalan yang diambil melalui pengukuran digital menggunakan *Google Earth*. Parameter teknis kendaraan seperti koefisien hambatan dan konsumsi bahan bakar diambil langsung dari database yang tersedia dalam perangkat lunak HDM-4 Indonesia. Penggunaan kombinasi data primer dan sekunder dilakukan agar penelitian ini mencerminkan kondisi aktual di lapangan.

Setelah data terkumpul, perhitungan data kecepatan rata-rata ruang (*space mean speed*) dilakukan dengan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 (Departemen Pekerjaan Umum, 1997). Sedangkan metode HDM-4 digunakan untuk memprediksi biaya operasional kendaraan berdasarkan berbagai komponen biaya. Komponen biaya yang dianalisis meliputi biaya bahan bakar, biaya ban, biaya pelumas, biaya pemeliharaan rutin, biaya tenaga kerja (*labour*), dan biaya depresiasi kendaraan. Model HDM-4 memperhitungkan konsumsi bahan bakar dengan mempertimbangkan total kebutuhan daya mesin (P_{tot}), yang dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti tahanan aerodinamika (FA), tahanan kemiringan jalan (FG), tahanan gelinding (FR), dan tahanan membelok (FCV). Konsumsi pelumas dikalkulasi berdasarkan penggunaan operasional yang berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar dan kehilangan pelumas akibat kontaminasi. Sementara itu, konsumsi ban diperhitungkan menggunakan prinsip *Slip-Energy*, yang mengukur tingkat keausan ban berdasarkan gaya normal, lateral, dan sirkumferensial yang bekerja pada ban selama perjalanan (Odoki & Kerali, 2006). Prosedur

perhitungan konsumsi bahan bakar HDM-4 dapat dilihat dalam Gambar 2 dan konsumsi ban dapat dilihat pada Gambar 3.

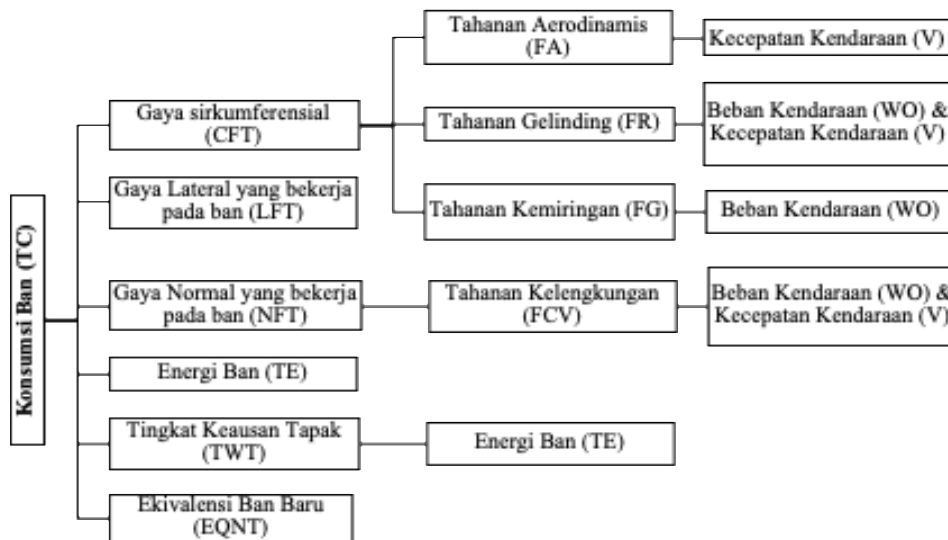


Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



Sumber: Odoki & Kerali (2006)

Gambar 2. Prosedur Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar



Sumber: Odoki & Kerali (2006)

Gambar 3. Prosedur Perhitungan Konsumsi Ban

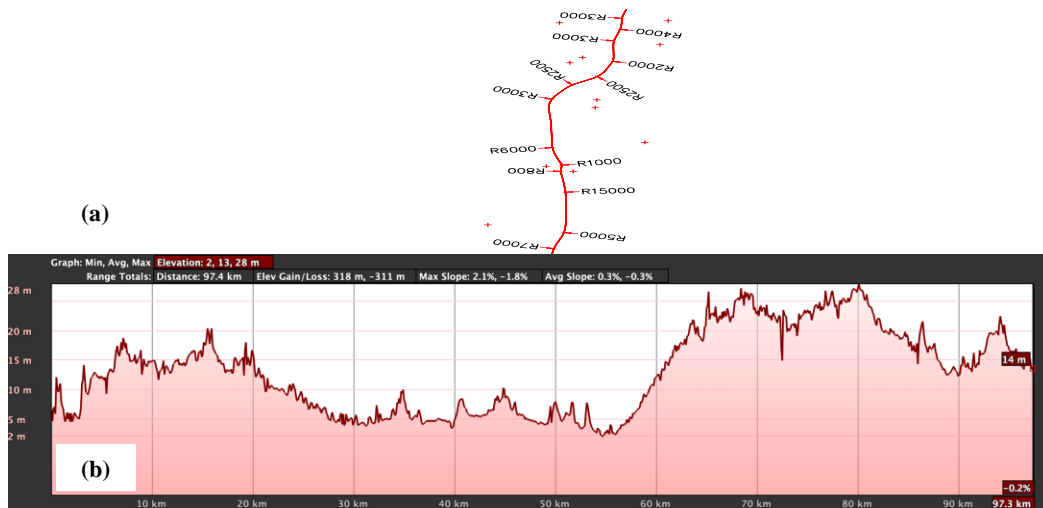
Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah yang dimulai dari kalibrasi Level 1 HDM-4 yang menyesuaikan parameter default pada data yang diperoleh. Setelah itu, dilakukan analisis komponen biaya operasional kendaraan untuk setiap rute, diikuti dengan perbandingan total BOK antara rute tol dan non-tol pada tiga jenis kendaraan yang diamati, yaitu truk 2 gandar, truk 3 gandar, dan truk 5 gandar. Untuk menjaga fokus penelitian agar tetap sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, penelitian ini membatasi ruang lingkup hanya pada ruas Jalan Tol Kanci–Pemalang dan Jalur Pantura Non-Tol Kanci–Pemalang, dengan kendaraan yang diteliti terbatas pada truk angkutan barang dengan konfigurasi 2 gandar, 3 gandar, dan 5 gandar. Biaya operasional yang dianalisis hanya mencakup biaya langsung, seperti bahan bakar, pelumas, ban, tenaga kerja, pemeliharaan rutin, dan depresiasi kendaraan, serta biaya lainnya (biaya tol dan biaya makan awak truk)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

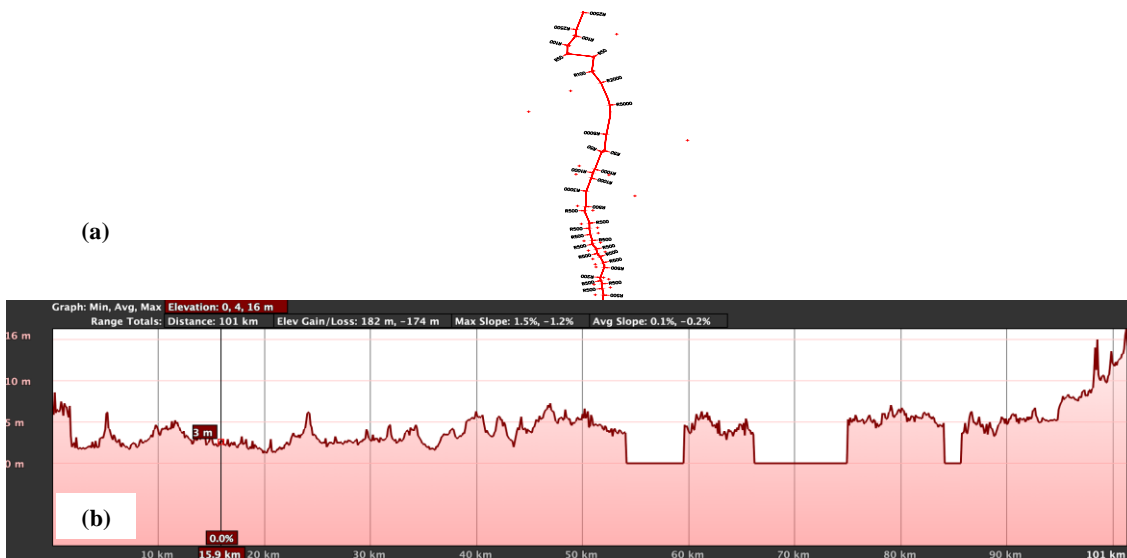
Jalan Tol Kanci-Pemalang memiliki ketinggian rata-rata 13 meter di atas permukaan laut (mdpl) dengan kekasaran jalan 4,89 m/km, radius kelengkungan 3.696,96 meter, serta kemiringan tanjakan dan turunan sebesar 0,3% dan -0,3%. Panjang ruas jalan tol yang dianalisis adalah 97,4 km. Sementara itu, ruas Non-Tol memiliki ketinggian yang lebih rendah, yaitu 5 mdpl, dengan kekasaran jalan lebih rendah sebesar 3,79 m/km, radius kelengkungan yang lebih tajam yaitu 1.077,63 meter, serta kemiringan tanjakan dan turunan sebesar 0,1% dan -0,2%. Rute Non-Tol yang dianalisis memiliki panjang 101 km. Peta Ruas Jalan Tol dan Non Tol Kanci-Pemalang dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan profil kelengkungan dan kelandaian kedua rute tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Data ini menunjukkan bahwa jalan tol memiliki kondisi geometrik yang lebih optimal dengan permukaan lebih halus dan radius kelengkungan yang lebih lebar, sementara rute Non-Tol memiliki kelengkungan lebih tajam dan kondisi jalan yang lebih kasar.



Gambar 1. Peta Ruas Jalan Tol dan Non Tol Kanci-Pemalang



Gambar 2. (a) Kelengkungan Route Non-Tol dan (b) Kelandaian Route Jalan Tol



Gambar 3. (a) Kelengkungan Route Non-Tol dan (b) Kelandaian Route Non-Tol

3.1 Space Mean Speed

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada empat lokasi, yaitu Tol Kanci-Pemalang arah Semarang, Tol Kanci-Pemalang arah Jakarta, Jalur Pantura Non-Tol arah Semarang, dan Jalur Pantura Non-Tol arah Jakarta, ditemukan adanya perbedaan signifikan dalam kecepatan rata-rata ruang (*Space Mean Speed*) truk yang melintas di setiap ruas jalan tersebut. Pada Tol Kanci-Pemalang arah Semarang, kecepatan rata-rata ruang berkisar antara 25,7 km/jam hingga 36,9 km/jam, yang mana truk 2 gandar

mencatat kecepatan tertinggi sebesar 36,9 km/jam, sedangkan truk 5 gandar memiliki kecepatan terendah dengan 25,7 km/jam. Kondisi serupa terlihat pada Tol Kanci-Pemalang arah Jakarta yang menunjukkan kecepatan lebih tinggi, dengan rentang 32,7 km/jam hingga 38,6 km/jam, yang mana truk 2 gandar mencapai 38,6 km/jam dan truk 5 gandar mencatat kecepatan terendah sebesar 32,7 km/jam. Sementara itu, pada Jalur Pantura Non-Tol, kecepatan rata-rata ruang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan ruas tol. Di arah Semarang, kecepatan tercatat antara 21,2 km/jam hingga 27,9 km/jam, dengan truk 2 gandar mencapai 27,9 km/jam sebagai kecepatan tertinggi, sedangkan truk 5 gandar hanya mencapai 21,2 km/jam sebagai yang terendah. Kondisi serupa terjadi di Jalur Pantura Non-Tol arah Jakarta, dengan kecepatan yang sedikit lebih tinggi berkisar 24,2 km/jam hingga 34,8 km/jam, yang mana truk 2 gandar mencatat kecepatan tertinggi sebesar 34,8 km/jam dan truk 5 gandar mencapai kecepatan terendah sebesar 24,2 km/jam. Perbedaan kecepatan rata-rata ruang antara tol dan non-tol dapat disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya adalah kondisi jalan yang lebih baik pada jalan tol dengan permukaan lebih rata dan minim hambatan seperti persimpangan dan perlintasan sebidang. Selain itu, faktor jenis truk juga mempengaruhi, yang mana truk 2 gandar secara konsisten mencatat kecepatan tertinggi di seluruh ruas, sementara truk 5 gandar yang memiliki kapasitas muatan lebih besar menunjukkan kecepatan yang lebih rendah, terutama pada jalur Non-Tol yang cenderung memiliki kondisi lalu lintas lebih padat dan hambatan jalan lebih banyak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Tol Kanci-Pemalang, baik arah Semarang maupun Jakarta, memiliki efisiensi kecepatan lebih baik dibandingkan dengan Jalur Pantura Non-Tol, meskipun kecepatan truk tetap dipengaruhi oleh jumlah gandar dan kapasitas muatan yang diangkut. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penggunaan jalan tol lebih mendukung kelancaran arus lalu lintas bagi kendaraan angkutan barang dengan kecepatan rata-rata ruang yang lebih tinggi dibandingkan jalur non-tol. Rincian lebih lanjut mengenai kecepatan rata-rata ruang pada ruas Tol Kanci-Pemalang arah Semarang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil *Space Mean Speed*

	Ruas Tol Kanci - Pemalang						Ruas Non-Tol Pantura					
	Arah Semarang			Arah Jakarta			Arah Semarang			Arah Jakarta		
	Truk 2 Axle	Truk 3 Axle	Truk 5 Axle	Truk 2 Axle	Truk 3 Axle	Truk 5 Axle	Truk 2 Axle	Truk 3 Axle	Truk 5 Axle	Truk 2 Axle	Truk 3 Axle	Truk 5 Axle
Rata-Rata Waktu Perjalanan (detik)	9,7	13,8	14,0	9,3	11,6	11	12,8	15,4	17	10,3	13,1	13,0
Space Mean Speed (km/jam)	36,9	25,9	25,7	38,6	30,9	32,7	27,9	23,3	21,2	34,8	27,3	24,2

3.2 Biaya Operasi Truk

Berdasarkan hasil perhitungan BOK menggunakan metode HDM-4, komponen biaya bahan bakar memberikan kontribusi terbesar terhadap total biaya operasional, dengan kisaran 40,8% hingga 51,6%. Persentase tertinggi tercatat pada truk 3 gandar yang melintasi jalur non-tol arah Semarang, dengan kontribusi mencapai 51,6% atau sebesar Rp 486.222,58 per kendaraan per trip, sedangkan kontribusi terendah tercatat pada truk 2 gandar di tol arah Jakarta dengan Rp 146.335,35 per kendaraan per trip. Selain itu, biaya ban menjadi komponen biaya menengah dengan kontribusi yang cenderung lebih tinggi pada jalur non-tol akibat kondisi jalan yang lebih kasar, seperti yang terlihat pada truk 5 gandar non-tol arah Jakarta yang mencapai Rp 106.357,69 per kendaraan per trip, dibandingkan dengan tol sebesar Rp 101.820,41 per kendaraan per trip. Di sisi lain, biaya pelumas memberikan kontribusi terendah dalam struktur biaya operasional, dengan kisaran antara 3,1% hingga 6,1%, yang cenderung stabil di semua jenis rute dan konfigurasi gandar. Sebagai contoh, truk 2 gandar pada tol arah Semarang hanya mencatat biaya pelumas sebesar Rp 21.219,96 per kendaraan per trip, sedangkan pada jalur non-tol mencapai Rp 22.005,05 per kendaraan per trip. Biaya pemeliharaan juga berkontribusi signifikan terhadap total BOK,

dengan tren yang lebih tinggi pada jalur non-tol akibat kondisi jalan yang lebih menantang. Truk 5 gandar di jalur non-tol arah Jakarta mencatat biaya pemeliharaan tertinggi sebesar Rp 470.758,12 per kendaraan per trip, sedangkan pada jalur tol hanya sebesar Rp 453.978,62 per kendaraan per trip. Sementara itu, biaya tenaga kerja (labour) cenderung konstan di seluruh jenis kendaraan dan rute, berkisar antara Rp 25.166,31 hingga Rp 26.096,48 per kendaraan per trip, menunjukkan bahwa faktor ini lebih dipengaruhi oleh kebijakan gaji standar daripada kondisi jalan. Biaya depresiasi kendaraan, yang mencerminkan penurunan nilai aset akibat penggunaan, menunjukkan tren serupa dengan biaya pemeliharaan, yang mana truk 5 gandar non-tol arah Jakarta mencatat depresiasi tertinggi sebesar Rp 109.779,96 per kendaraan per trip, sedangkan pada jalur tol arah Semarang hanya sebesar Rp 105.867,01 per kendaraan per trip. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa jalur non-tol menghasilkan biaya operasional yang lebih tinggi dibandingkan dengan jalur tol pada semua jenis truk dan konfigurasi gandar. Hal ini disebabkan oleh kondisi jalan yang kurang optimal, lebih banyaknya hambatan lalu lintas, serta waktu tempuh yang lebih panjang. Di sisi lain, truk dengan jumlah gandar lebih banyak cenderung memiliki biaya operasional yang lebih tinggi akibat bobot kendaraan yang lebih besar dan kebutuhan pemeliharaan yang lebih intensif. Dengan demikian, penggunaan jalan tol lebih disarankan untuk meningkatkan efisiensi biaya operasional kendaraan angkutan barang, terutama dalam mengurangi biaya bahan bakar dan pemeliharaan. Rincian lengkap mengenai hasil perhitungan BOK per jenis kendaraan dapat dilihat dalam Tabel 2.

Berdasarkan hasil perhitungan total biaya operasi truk, BOK dasar tetap menjadi komponen dominan dalam total biaya operasional truk di seluruh rute dan konfigurasi gandar. Pada truk 2 gandar, total BOK tertinggi tercatat pada tol arah Semarang sebesar Rp 524.331 per trip, yang terdiri dari BOK dasar Rp 349.831, tarif tol Rp 134.500, dan biaya makan Rp 40.000. Sementara itu, pada Non-Tol arah Semarang, total BOK tercatat lebih rendah, yaitu Rp 401.458, dengan BOK dasar Rp 376.458 dan hanya terdapat biaya makan Rp 25.000 tanpa adanya biaya tol. Selanjutnya, pada truk 3 gandar, total BOK tertinggi juga ditemukan pada tol arah Semarang, dengan nilai Rp 1.005.535 per trip, yang terdiri dari BOK dasar Rp 831.035, tarif tol Rp 134.500, dan biaya makan Rp 40.000. Di sisi lain, pada Non-Tol arah Semarang, total BOK lebih rendah, yaitu Rp 967.289, dengan BOK dasar Rp 942.289 dan biaya makan Rp 25.000. Sementara itu, truk 5 gandar mencatat total BOK tertinggi di tol arah Semarang, dengan nilai mencapai Rp 1.512.899 per trip, yang terdiri dari BOK dasar Rp 1.293.399, tarif tol tertinggi Rp 179.500, dan biaya makan Rp 40.000. Sebaliknya, pada Non-Tol arah Semarang, total BOK lebih rendah, yaitu Rp 1.448.949, dengan BOK dasar Rp 1.423.949 dan biaya makan Rp 25.000. Secara keseluruhan, biaya tol merupakan komponen biaya tambahan yang signifikan, terutama pada truk 5 gandar yang dikenakan Rp 179.500 per trip, lebih tinggi dibandingkan dengan truk 2 gandar dan 3 gandar yang dikenakan tarif sebesar Rp 134.500 per trip. Selain itu, biaya makan juga menunjukkan pola yang konsisten lebih tinggi pada jalur tol, dengan Rp 40.000 per trip, dibandingkan dengan jalur Non-Tol yang hanya sebesar Rp 25.000 per trip. Kontribusi biaya tol yang signifikan ini berperan penting dalam peningkatan total biaya operasional kendaraan di jalur tol dibandingkan dengan jalur Non-Tol. Total biaya perjalanan pada setiap jenis kendaraan selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Biaya Operasi Truk Dasar

		Biaya BBM (Rp/kend -trip)	Biaya Ban (Rp/kend -trip)	Biaya Pelumas (Rp/kend -trip)	Biaya Pemeliha- raan (Rp/kend- trip)	Biaya Labour (Rp/kend -trip)	Biaya Depresiasi (Rp/kend- trip)
Truk 2 Gandar	Via Tol arah Semarang	147.167	21.532	21.219	109.264	25.166	25.480
	Via Non Tol arah Semarang	166.298	22.333	22.005	113.302	26.096	26.422
	Via Tol arah Jakarta	146.335	21.602	21.219	109.264	25.166	25.480
	Via Non Tol arah Jakarta	155.395	22.569	22.004	113.302	26.096	26.422

Truk 3 Gandar	Via Tol arah Semarang	391.355	40.129	42.293	269.291	25.166	62.798
	Via Non Tol arah Semarang	486.222	41.743	43.861	279.245	26.096	65.119
	Via Tol arah Jakarta	354.185	40.782	42.291	269.291	25.166	62.798
	Via Non Tol arah Jakarta	438.360	41.975	43.859	279.245	26.096	65.119
Truk 5 Gandar	Via Tol arah Semarang	564.998	101.084	42.303	453.978	25.166	105.867
	Via Non Tol arah Semarang	667.339	106.102	43.872	470.758	26.096	109.779
	Via Tol arah Jakarta	501.632	101.820	42.300	453.978	25.166	105.867
	Via Non Tol arah Jakarta	615.416	106.357	43.869	470.758	26.096	109.779

Tabel 3. Hasil Perhitungan Total Biaya Operasi Truk

		BOK Dasar (Rp/kend- trip)	Biaya Lainnya		Total BOK (Rp/kend- trip)
			Biaya Tol (Rp/kend-trip)	Biaya Makan (Rp/kend-trip)	
Truk 2 gandar	Via Tol arah Semarang	349.831	134.500	40.000	524.331
	Via Non Tol arah Semarang	376.458	-	25.000	401.458
	Via Tol arah Jakarta	349.069	134.500	40.000	523.569
	Via Non Tol arah Jakarta	365.790	-	25.000	390.790
Truk 3 gandar	Via Tol arah Semarang	831.035	134.500	40.000	1.005.535
	Via Non Tol arah Semarang	942.289	-	25.000	967.289
	Via Tol arah Jakarta	794.516	134.500	40.000	969.016
	Via Non Tol arah Jakarta	894.656	-	25.000	919.656
Truk 5 gandar	Via Tol arah Semarang	1.293.399	179.500	40.000	1.512.899
	Via Non Tol arah Semarang	1.423.949	-	25.000	1.448.949
	Via Tol arah Jakarta	1.230.765	179.500	40.000	1.450.265
	Via Non Tol arah Jakarta	1.372.278	-	25.000	1.397.278

3.3 Perbandingan Total Biaya Operasi Truk

Berdasarkan data Biaya Operasi Kendaraan (BOK) yang mencakup biaya tol, biaya makan, dan total keseluruhan, terlihat bahwa penggunaan jalur tol secara umum menghasilkan biaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan jalur Non-Tol. Truk 2 gandar yang melintas melalui tol arah Semarang mencatat total BOK sebesar Rp 524.331 per trip, terdiri atas BOK dasar Rp 349.831, biaya tol Rp 134.500, dan biaya makan Rp 40.000. Sebaliknya, pada Non-Tol arah Semarang, total BOK tercatat lebih rendah, yaitu Rp 401.458 per trip, dengan BOK dasar Rp 376.458 dan biaya makan Rp 25.000. Selisih total BOK antara jalur tol dan Non-Tol untuk rute ini mencapai Rp 122.873 atau 23,4% lebih tinggi pada jalur tol. Pola serupa terjadi pada tol arah Jakarta, dengan total BOK sebesar Rp 523.569 per trip, yang 25,4% lebih tinggi dibandingkan dengan Non-Tol arah Jakarta yang hanya mencapai Rp 390.790 per trip.

Pada truk 3 gandar, total BOK pada tol arah Semarang mencapai Rp 1.005.535 per trip, terdiri dari BOK dasar Rp 831.035, biaya tol Rp 134.500, dan biaya makan Rp 40.000. Sedangkan pada Non-Tol arah Semarang, total BOK lebih rendah, yaitu Rp 967.289 per trip, dengan BOK dasar Rp 942.289 dan biaya makan Rp 25.000. Selisih total BOK antara tol dan Non-Tol untuk rute ini mencapai Rp 38.246 atau 3,8%. Pada rute tol arah Jakarta, total BOK tercatat sebesar Rp 969.016 per trip, yang 5,1% lebih tinggi dibandingkan dengan Non-Tol arah Jakarta sebesar Rp 919.656 per trip.

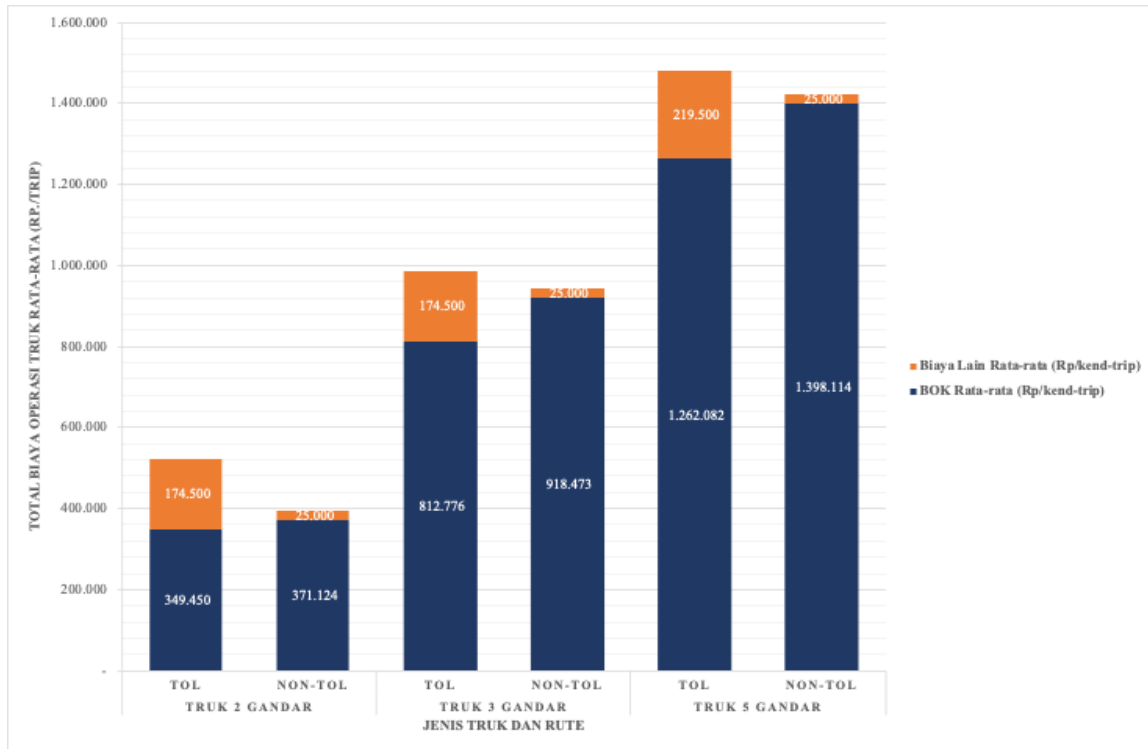
Sementara itu, pada truk 5 gandar, total BOK pada tol arah Semarang mencapai Rp 1.512.899 per trip, dengan rincian BOK dasar Rp 1.293.399, biaya tol Rp 179.500, dan biaya makan Rp 40.000.

Dibandingkan dengan Non-Tol arah Semarang, yang mencatat total BOK sebesar Rp 1.448.949 per trip, selisihnya mencapai Rp 63.950 atau 4,2% lebih tinggi di jalur tol. Pada rute tol arah Jakarta, total BOK tercatat sebesar Rp 1.450.265 per trip, yang 3,7% lebih tinggi dibandingkan dengan Non-Tol arah Jakarta sebesar Rp 1.397.278 per trip.

Hal yang menarik dalam hasil ini adalah meskipun penggunaan jalur tol menunjukkan biaya operasional yang lebih tinggi secara keseluruhan, truk 2 gandar memiliki selisih biaya tertinggi dengan perbedaan mencapai 23,4% hingga 25,4% antara rute tol dan Non-Tol, sedangkan truk 3 gandar hanya 3,8% hingga 5,1% dan truk 5 gandar di kisaran 3,7% hingga 4,2%. Hal ini menunjukkan bahwa truk dengan kapasitas lebih kecil cenderung lebih terdampak oleh biaya tol dan makan, yang lebih dominan dibandingkan dengan truk berkapasitas lebih besar. Selain itu, proporsi biaya makan yang tetap pada Rp 40.000 per trip di jalur tol dan Rp 25.000 per trip di jalur Non-Tol berkontribusi dalam perbedaan total biaya operasional.

Apabila dilihat dari total biaya operasi truk rata-rata dari kedua arah, maka penggunaan jalur Non-Tol secara konsisten menunjukkan biaya operasional yang lebih tinggi dibandingkan dengan jalur Tol untuk semua jenis truk. Truk 2 gandar memiliki BOK rata-rata pada jalur Tol sebesar Rp 349.450 per trip, sedangkan pada Non-Tol lebih tinggi, yaitu Rp 371.124 per trip. Selisih biaya operasional dasar ini mencapai Rp 21.674 atau 6,2% lebih tinggi pada jalur Non-Tol. Untuk truk 3 gandar, BOK rata-rata pada Tol tercatat sebesar Rp 812.776 per trip, sementara pada Non-Tol meningkat menjadi Rp 918.473 per trip, dengan selisih Rp 105.697 atau 13% lebih tinggi pada jalur Non-Tol. Selisih ini lebih signifikan dibandingkan dengan truk 2 gandar, menunjukkan bahwa peningkatan jumlah gandar berbanding lurus dengan kenaikan selisih biaya operasional. Sementara itu, truk 5 gandar menunjukkan perbedaan biaya operasional yang paling mencolok, dengan BOK rata-rata pada Tol sebesar Rp 1.262.082 per trip, sedangkan pada Non-Tol mencapai Rp 1.398.114 per trip, menghasilkan selisih Rp 136.032 atau 10,8% lebih tinggi pada jalur Non-Tol.

Jika memperhitungkan biaya lain rata-rata, yaitu biaya tol dan biaya makan, perbedaan signifikan muncul yang mana biaya lainnya pada jalur Tol jauh lebih tinggi untuk semua jenis truk. Truk 2 gandar mencatat biaya lain rata-rata sebesar Rp 174.500 di jalur Tol dibandingkan dengan Rp 25.000 pada Non-Tol. Hal serupa terjadi pada truk 3 gandar, dengan Rp 174.500 di Tol dan Rp 25.000 di Non-Tol, serta truk 5 gandar dengan biaya lain tertinggi sebesar Rp 219.500 di Tol dibandingkan dengan Rp 25.000 di Non-Tol. Dengan demikian, meskipun BOK dasar lebih tinggi pada Non-Tol, perbedaan signifikan dalam biaya lain, khususnya biaya tol, menyebabkan total biaya operasional pada jalur Tol menjadi lebih tinggi secara keseluruhan. Truk 3 gandar dan 5 gandar menunjukkan perbedaan yang lebih signifikan dalam biaya operasional, menunjukkan bahwa kapasitas kendaraan yang lebih besar memperbesar dampak perbedaan biaya operasional antara Tol dan Non-Tol. Temuan ini mengindikasikan bahwa truk 2 gandar lebih sensitif terhadap biaya tol dibandingkan truk dengan kapasitas yang lebih besar. Jika pengemudi truk memilih menggunakan jalur Non-Tol, maka uang lebih yang dapat diterima pengemudi setelah mengurangi biaya operasional dan biaya lainnya adalah sebagai berikut: Truk 2 gandar sebesar Rp 127.825 per trip, truk 3 gandar sebesar Rp 43.803 per trip, dan truk 5 gandar sebesar Rp 58.468 per trip. Hal ini menunjukkan bahwa truk 2 gandar memberikan sisa uang lebih yang paling signifikan bagi pengemudi jika dibandingkan dengan truk lainnya, meskipun truk 3 dan 5 gandar tetap memberikan keuntungan tambahan dalam jumlah yang lebih kecil. Grafik perbandingan total BOK rata-rata dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Total Biaya Operasi Kendaraan Rata-rata

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, kecepatan rata-rata ruang (*Space Mean Speed*) pada Tol Kanci-Pemalang cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan Non-Tol Pantura, dengan truk 2 gandar mencatat kecepatan tertinggi dan truk 5 gandar terendah di seluruh rute. Perbedaan ini dipengaruhi oleh kondisi jalan tol yang lebih baik dengan permukaan lebih rata dan minim hambatan, sedangkan jalur Non-Tol memiliki lebih banyak hambatan seperti persimpangan dan lalu lintas campuran yang memperlambat pergerakan kendaraan.

Dari segi Biaya Operasi Kendaraan (BOK), komponen terbesar berasal dari biaya bahan bakar yang berkontribusi antara 40,8% hingga 51,6% dari total BOK, dengan kontribusi tertinggi tercatat pada truk 3 gandar Non-Tol arah Semarang sebesar Rp 486.222,58 per trip. Sebaliknya, biaya pelumas merupakan komponen terendah, berkisar 3,1% hingga 6,1%. Biaya ban dan biaya pemeliharaan cenderung lebih tinggi pada Non-Tol karena kondisi jalan yang lebih kasar dan lebih banyak hambatan.

Perbedaan Biaya Operasi Kendaraan (BOK) dasar tanpa penambahan biaya tambahan menunjukkan bahwa penggunaan jalan tol pada truk 2 gandar lebih ekonomis dengan selisih 6,2% lebih rendah dibandingkan dengan jalur Non-Tol. Demikian pula, truk 3 gandar mencatat BOK dasar 13,0% lebih rendah di jalan tol dibandingkan dengan Non-Tol, sedangkan pada truk 5 gandar, selisih BOK dasar di jalan tol lebih hemat sebesar 10,8% dibandingkan dengan Non-Tol. Namun, dengan adanya penambahan biaya tol dan biaya makan, total BOK melalui jalan tol menjadi lebih tinggi, yakni 32,3% untuk truk 2 gandar, 4,6% untuk truk 3 gandar, dan 4,1% untuk truk 5 gandar dibandingkan dengan jalur Non-Tol.

Dengan kondisi perusahaan truk memberikan uang jalan yang terbatas, maka pemilihan jalur Non-Tol menjadi pilihan yang lebih rasional bagi pengemudi truk. Hal ini dikarenakan jalur Non-Tol tidak membebankan tarif tol yang signifikan, meskipun berdampak pada waktu tempuh yang lebih lama. Selain itu, biaya makan yang lebih rendah pada jalur Non-Tol dapat mengurangi total pengeluaran selama perjalanan. Dengan demikian, pengurangan biaya tersebut memungkinkan adanya sisa uang jalan yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan pribadi pengemudi.

Untuk penelitian lebih lanjut, diperlukan kalibrasi HDM-4 Level II agar sesuai dengan teknologi truk saat ini. Kalibrasi ini penting untuk memastikan bahwa model perhitungan BOK dapat mencerminkan karakteristik truk modern, termasuk efisiensi bahan bakar yang lebih baik, perbedaan teknologi mesin, serta dampak penggunaan jalan tol dan Non-Tol terhadap BOK. Dengan melakukan kalibrasi ini, estimasi biaya operasional dapat lebih akurat dan relevan dalam mendukung pengambilan keputusan bagi operator truk dan perencana transportasi.

5. REFERENSI

- Ardiyono, S. K., Parenrengi, N. P. A., & Faturachman, F. (2018). How does toll road impact accessibilities, trades, and investments in short term? A case study of Cipali toll road in West Java, Indonesia. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 2(2), 226–247. <https://doi.org/10.24294/jipd.v2i2.673>
- Bennett, C. R., & Paterson, W. D. O. (2000). *A Guide to Calibration and Adaptation. Highway Development and Management Series* (1st ed., Vol. 5). The World Road Association (PIARC).
- Calderón-Ramírez, J., Gutiérrez-Moreno, J. M., Montoya-Alcaraz, M., & Casillas, Á. (2024). Measurement of Road Transport Emissions, Case Study: Centinela-La Rumorosa Road, Baja California, México. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/app14072921>
- Departemen Pekerjaan Umum. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*.
- Dewitasari, T. (2016). Dampak Pembangunan Jalan Tol Surabaya – Mojokerto Terhadap Kondisi Sosial Dan Ekonomi Penduduk Di Daerah Kecamatan Wringinanom Kabupaten Gresik. *Swara Bhumi*, 1(1), 197–207. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/swara-bhumi/article/view/14208>
- Dinda, A. F. (2019). *Identifikasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sopir Truk tidak Melewati Tol Trans Jawa (Studi Kasus: Tol Pejagan-Pemalang)*. Sekolah Tinggi Manajemen Logistik Indonesia.
- Hamidah, R. (2023). Evaluasi Kebermanfaatan Kebijakan Pembangunan Infrastruktur Jalan Tol Trans Jawa (Cipali) Berdasarkan Tinjauan Aspek Ekonomi Dan Lingkungan. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Ekonomi Akuntansi*, 8(3), 378–393. <https://doi.org/10.24815/jimeka.v8i3.28188>
- Hidayat, T., Ircham, & Anggorowati, V. D. A. (2020). Analisis Dampak Keberadaan Jalan Tol Trans Jawa Di Area Pemalang-Batang. *EQUILIB*, 01(01), 111–119. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:225578251>
- Kebebew, B., & Quezon, E. T. (2022). Comparative Analysis on Road Users' Cost Using HDM-4 Software and Manual Technique: A Case of Addis Ababa-Adama Expressway. *Journal of Management Science & Engineering Research*, 5(1), 64–75. <https://doi.org/10.30564/jmser.v5i1.4468>
- Kerali, H. G. R., Odoki, J. B., & Stannard, E. E. (2006). *Overview of HDM-4. Highway Development and Management Series* (2nd ed., Vol. 1). World Road Association PIARC. <https://www.gtkp.com/document/the-highway-development-and-management-series-volume-one-overview-of-hdm-4/>
- Kumaravel, P., & Velkennedy, R. (2024). Navigating Cityscapes: Innovations in Urban Mobility and Infrastructure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1409(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1409/1/012039>
- Merdeka.com. (2019, Februari 27). *Selain Tarif, Ini Alasan Pengusaha Truk Tak Mau Masuk Tol Trans Jawa*. Merdeka.com. <https://www.merdeka.com/uang/selain-tarif-ini-alasan-pengusaha-truk-tak-mau-masuk-tol-trans-jawa.html>
- Odoki, J. B. (2016). *Case Study: HDM-4 adaptation for analyzing Kenya roads*. <https://www.research4cap.org/ral/OdokiJB-2016-HDM-4AdaptationForAnalyzingKenyaRoads-ICTRR2016-ReCAP-v20160316.pdf>
- Odoki, J. B., & Kerali, H. G. R. (2006). *Analytical Framework and Model Descriptions. Highway Development and Management Series* (2nd ed., Vol. 4). World Road Association PIARC.
- Perrotta, F., Parry, T., Neves, L. C., Buckland, T., Benbow, E., & Mesgarpour, M. (2019). Verification of the HDM-4 fuel consumption model using a Big data approach: A UK case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.11.001>
- Prasad, C., Swamy, A. K., & Tiwari, G. (2013). Calibration of HDM-4 Emission Models for Indian Conditions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.120>
- Rahayu, I. R. S. (2019, Februari 3). *Ogah Gunakan Tol, Truk Logistik Lebih Untung Lewat Jalan Umum*. Inews.id. <https://www.inews.id/finance/makro/ogah-gunakan-tol-truk-logistik-lebih-untung-lewat-jalan-umum>
- Ranawaka, S., & Pasindu, H. R. (2019). A case study on economic cost increment in urban highway work zones. *11th Asia Pacific Transportation and the Environment Conference (APTE 2018), Advances in Engineering Research*, 186, 97–102. <https://doi.org/10.2991/apte-18.2019.18>

- Thube, D. T. (2013). Highway Development and Management Model (HDM-4): calibration and adoption for low-volume roads in local conditions. *International Journal of Pavement Engineering* , 14(1), 50–59. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1203-9>
- Valdés, M., Hidalgo, P., Chamorro, A., & Gutiérrez, D. (2011, November). Monitoring Asphalt Pavements to Calibrate HDM-4. *8th International Conference on Managing Pavement Assets (ICMPA8)*. <https://worldcat.org/title/769647513?oclcNum=769647513>
- Zaabar, I., & Chatti, K. (2010). Calibration of HDM-4 Models for Estimating the Effect of Pavement Roughness on Fuel Consumption for U.S. Conditions. *Journal of the Transportation Research Board*, 2155, 105–116. <https://doi.org/10.3141/2155-12>