

# ANALISIS BIAYA KEMACETAN PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK KM. 26

## ANALYSIS OF CONGESTION COSTS ON THE JAKARTA- CIKAMPEK TOLL ROAD KM. 26

<sup>1</sup>Eristian Gunadi, <sup>2</sup>Nahdalina

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma  
<sup>1</sup>eristiangunadi@gmail.com; <sup>2</sup>nahdalina@staff.gunadarma.ac.id

### Abstrak

Kemacetan lalu lintas memberikan dampak negatif yang sangat besar bagi pengguna jalan seperti pemborosan bahan bakar, terbuangnya waktu secara percuma, dan kerusakan lingkungan akibat polusi udara yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor. Oleh karena itu penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam menganalisis besaran kerugian akibat kemacetan. Lokasi yang ditinjau pada penelitian ini yaitu ruas jalan tol Jakarta-Cikampek kilometer 26. Penelitian ini memfokuskan pembahasan pada kerugian berdasarkan biaya operasional kendaraan (BOK) menggunakan pedoman biaya operasi kendaraan Departemen Pekerjaan Umum tahun 2005, biaya waktu perjalanan menggunakan metode income approach untuk penentuan nilai waktu, dan biaya emisi yang mengacu pada Permen LH no.7 tahun 2014 mengenai biaya per unit pencemarannya. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh besaran kerugian dari biaya operasional kendaraan (BOK) sebesar Rp.134.725,51/km dengan rincian biaya untuk kendaraan jenis LV sebesar Rp.30.209,10/km, jenis MHV sebesar Rp.26.407,76/km, jenis LB sebesar Rp.27.309,12/km dan jenis LT sebesar Rp.50.799,52. Besaran kerugian berdasarkan biaya waktu perjalanan sebesar Rp.1.907.353,40/jam, dan besaran kerugian berdasarkan biaya emisi sebesar Rp.598.593,03/jam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa biaya waktu perjalanan menjadi aspek dengan besaran kerugian tertinggi akibat kemacetan, hal ini dikarenakan aspek ini lebih merepresentasikan nilai dari produktivitas manusia.

**Kata Kunci:** kemacetan, kerugian, biaya operasional kendaraan, biaya waktu perjalanan, biaya emisi.

### Abstract

Traffic congestion has a very large negative impact on road users such as waste of fuel, wasted time, and environmental damage due to air pollution released by motorized vehicles. Therefore, this research is expected to be a reference in analyzing the magnitude of losses due to congestion. The location reviewed in this study is Jakarta-Cikampek toll road kilometer 26. This research focuses on the discussion of losses based on vehicle operating costs (VOC) using the guidelines for vehicle operating costs of the Ministry of Public Works in 2005, travel time costs using the income approach method for determining the value of time, and emission costs that refer to the Minister of Environment and Forestry Regulation No.7 of 2014 regarding cost per unit of pollution. Based on the results of the analysis, the amount of losses in terms of vehicle operating costs (VOC) was Rp.134,725.51/km with details of the costs for LV type vehicles is Rp.30,209.10/km, MHV types is Rp.26,407.76/km, LB types is Rp.27,309.12/km and LT types is Rp.50,799.52/km. The amount of loss based on the travel time cost is Rp.1,907,353.40/jam, and the amount of the loss based on the emission cost is Rp.598,593.03/jam. So it can be concluded that the travel time cost is the aspect with the highest loss due to congestion, this is because this aspect represents the value of human productivity.

**Keywords:** congestion, losses, vehicle operating cost, travel time cost, emission cost.

## PENDAHULUAN

Salah satu masalah utama yang dihadapi oleh semua golongan penduduk adalah masalah transportasi jalan raya. Masalah kemacetan lalu lintas di kota-kota besar dunia merupakan fenomena yang sering terjadi (Mir Shabbar Ali et al. 2014). Sistem transportasi yang mapan tidak hanya menjadi kunci pertumbuhan nasional tetapi juga berfungsi sebagai katalisator pembangunan ekonomi suatu negara (Harriet, Poku, and Emmanuel 2013). Kemacetan lalu lintas didefinisikan sebagai kondisi penundaan lalu lintas yaitu saat arus lalu lintas melambat di bawah kecepatan wajar karena jumlah kendaraan melebihi desain kapasitas jaringan lalu lintasnya (Glen Weisbrod et al. 2003). Dari sebuah perspektif ekonomi, dampak utama kemacetan adalah hilangnya produktivitas waktu kerja, melewatkan pertemuan, dan menghabiskan lebih banyak waktu untuk menyelesaikan tugas. (A.O. Somuyiwa, S.O. Fadare, and B.B. Ayantoyinbo 2015). Biaya kemacetan terdiri dari berbagai biaya, terutama biaya penundaan waktu perjalanan dan biaya operasi kendaraan. Bagian lain yang sangat penting adalah biaya eksternalitas seperti pencemaran udara atau kerusakan lingkungan (Tanzila Khan and Md. Rashedul I. MCIPS 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besaran dampak akibat kemacetan lalu lintas baik dari aspek operasional kendaraan, waktu perjalanan, maupun aspek pencemaran dari emisi kendaraan. Sehingga akan diketahui aspek mana yang paling besar mengalami kerugian akibat terjadinya kemacetan lalu lintas.

## KAJIAN PUSTAKA

### Karakteristik Lalu Lintas

Dalam karakteristik dasar lalu lintas, pada dasarnya ditunjukkan oleh parameter arus

lalu lintas (*flow*), kecepatan (*speed*), dan kerapatan (*density*).

### 1. Arus (*flow*)

Arus lalu lintas (*flow*) adalah jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan pada penggal jalan tertentu pada periode waktu tertentu, dinyatakan dalam kendaraan per jam atau satuan mobil penumpang per jam.

Satuan mobil penumpang (smp) adalah satuan kendaraan di dalam arus lalu lintas yang disetarakan dengan kendaraan ringan atau mobil penumpang, dengan menggunakan ekivalensi mobil penumpang (emp) atau faktor pengali berbagai jenis kendaraan menjadi satu satuan yaitu smp, dimana besaran smp dipengaruhi oleh tipe atau jenis kendaraan.

Klasifikasi kendaraan yang dimaksud adalah kendaraan ringan (LV) meliputi mobil penumpang dan *pick up*. Kendaraan sedang (MHV) meliputi mini bus, truk ringan, metromini, dan mobil *box* sedang. Kendaraan bis besar (LB) meliputi bis besar dengan dua atau tiga gandar. Kendaraan truk besar (LT) meliputi truk besar dengan tiga gandar dan truk kombinasi.

### 2. Kecepatan (*speed*)

Kecepatan adalah tingkat gerakan dalam suatu jarak tertentu dalam satu satuan waktu (km/jam). Dalam pergerakan arus lalu lintas, tiap kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda. Dalam perhitungannya kecepatan rata-rata dibedakan menjadi dua, yaitu *Time Mean Speed* (TMS), yang didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang melewati suatu titik dari jalan selama periode tertentu dan *Space Mean Speed* (SMS), yaitu kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang menempati penggalan jalan selama periode waktu tertentu (Greyti S.J. Timpal et al. 2018).

**Tabel 1. Ekvivalen Mobil Penumpang**

Tipe alinyemen	Arus kend/jam	MHV	LB	LT
Datar	≥ 2800	1,3	1,5	2,0
Bukit	≥ 2250	1,8	1,9	3,5
Gunung	≥ 2000	2,0	2,4	3,8

Sumber: MKJI (1997).

**3. Kerapatan (*density*)**

Kerapatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur, secara umum diekspresikan dalam smp/km. Kerapatan sulit diukur secara langsung di lapangan, sehingga nilai kerapatan diperoleh dari hubungan  $V = \bar{U} * D$ , sehingga:

$$D = \frac{V}{\bar{U}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- D : kerapatan (smp/km)
- $\bar{U}$  : kecepatan (km/jam)
- V : volume kendaraan (smp/jam)

**Hubungan Karakteristik Lalu Lintas**

Ada tiga jenis model yang dapat digunakan untuk merepresentasikan hubungan matematis antara volume, kecepatan, dan kerapatan yaitu model *greenshield*, model *greenberg*, dan model *underwood*. Pemodelan dapat digunakan untuk menentukan nilai kapasitas dan untuk mempresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan.

Pada penelitian ini penulis akan menggunakan model *greenshield*. Model ini mendapatkan hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan bersifat linier. Hubungan linier kecepatan dan kerapatan ini menjadi hubungan yang paling populer dalam tinjauan pergerakan lalu lintas, mengingat fungsi hubungannya adalah yang paling sederhana sehingga mudah diterapkan. Model ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\bar{U}_s = \bar{U}_f - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) D \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- $\bar{U}_s$  : kecepatan rata-rata ruang
- $\bar{U}_f$  : kecepatan rata-rata ruang (*free flow*)
- $D_j$  : Kerapatan pada saat macet (jam *density*)
- D : Kerapatan

Hubungan antara arus dan kerapatan diperoleh dari substitusi  $\bar{U}_s = \left(\frac{V}{D}\right)$  ke persamaan (2) sehingga diperoleh:

$$V = D \cdot \bar{U}_f - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) D^2 \dots\dots\dots(3)$$

Hubungan antara arus dan kecepatan diperoleh dari substitusi  $D = \left(\frac{V}{\bar{U}_s}\right)$  ke persamaan (2) sehingga diperoleh:

$$V = \bar{U}_s \cdot D_j - \left(\frac{D_j}{\bar{U}_f}\right) \bar{U}_s^2 \dots\dots\dots(4)$$

Harga arus maksimum dapat dicari dengan menurunkan persamaan (3) terhadap kerapatan (D) dan nilai arus maksimum terjadi pada saat nilai kerapatan maksimum yakni pada saat nilai turunan pertama (diferensial ke-1) tersebut sama dengan nol sehingga diperoleh:

$$D_m = \frac{D_j}{2} \dots\dots\dots(5)$$

Nilai  $D_m$  disubstitusikan ke dalam persamaan (3) dengan kondisi V berubah menjadi  $V_m$  dan D menjadi  $D_m$  sehingga diperoleh:

$$V_m = \frac{D_j \cdot \bar{U}_f}{4} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- $V_m$  : arus maksimum (smp/jam)
- $D_m$  : kerapatan maksimum (smp/km)

Selanjutnya hubungan antara ketiga variabel karakteristik lalu lintas digambarkan pada Gambar 1.

**Biaya Operasional Kendaraan (BOK)**

Perhitungan BOK dibagi menjadi 2 bagian yaitu biaya tidak tetap dan biaya tetap. Biaya tidak tetap dibagi menjadi 5 komponen yaitu bahan bakar, pelumas, suku cadang, tenaga pemeliharaan dan biaya konsumsi ban. Parameter utama dari komponen tersebut adalah kecepatan,  $V / C$ , medan jalan, dan indeks kekasaran (Nahdalina et al 2017).

**1. Biaya Konsumsi Bahan Bakar**

Data kecepatan lalu lintas dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung dengan metode *moving car observer* dan selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan rata-rata ruang.

Percepatan rata-rata lalu lintas dalam suatu ruas jalan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_R = 0,0128 \times \left(\frac{V}{C}\right) \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

- $A_R$  : percepatan rata-rata
- $V$  : volume lalu lintas (smp/jam)
- $C$  : kapasitas jalan (smp/jam)

Simpangan baku percepatan lalu lintas dalam suatu ruas jalan dapat dihitung dengan persamaan  $SA = SA \max(1,04/(1 + e^{(a_0+a_1)*V/C}) \dots \dots \dots (8)$

Keterangan:

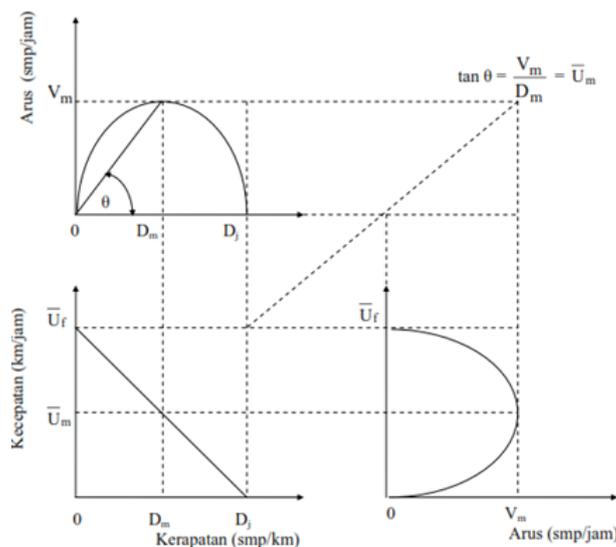
- $SA$  : simpangan baku percepatan
- $SA_{\max}$  : simpangan baku percepatan maksimum ( $m/s^2$ ) (*default* = 0,75)
- $a_0, a_1$  : koefisien parameter (*default*  $a_0 = 5,140$  ;  $a_1 = -8,264$ )

Tanjakan rata-rata ruas jalan dapat dihitung berdasarkan data alinyemen vertikal dengan rumus berikut:

$$R_R = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{L} [m/km] \dots \dots \dots (9)$$

Turunan rata-rata ruas jalan dapat dihitung berdasarkan data alinyemen vertikal dengan rumus berikut:

$$F_R = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{L} [m/km] \dots \dots \dots (10)$$



**Gambar 1. Hubungan antara Arus, Kecepatan, Kerapatan Model Greenshield**

**Tabel 2. Alinyemen Vertikal Tiap Medan Jalan**

Medan	Tanjakan rata-rata [m/km]	Turunan rata-rata [m/km]
Datar	2,5	-2,5
Bukit	12,5	-12,5
Gunung	22,5	-22,5

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2005).

Biaya konsumsi bahan bakar minyak (BiBBM<sub>j</sub>) dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$BiBBM_j = KBBM_i \times HBBM_i \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

- KBBM : konsumsi bahan bakar minyak
- HBBM : harga bahan bakar untuk jenis BBM i (rupiah/liter)
- i : jenis kendaraan
- j : jenis bahan bakar

Konsumsi bahan bakar minyak untuk masing-masing kendaraan dapat dihitung dengan rumus persamaan berikut:

$$KBBM_i = \alpha + \beta_1/V_R + \beta_2 \times V_R^2 + \beta_3 \times R_R + \beta_4 \times F_R + \beta_5 \times F_R^2 + \beta_6 \times DT_R + \beta_7 \times A_R + \beta_8 \times SA + \beta_9 \times BK + \beta_{10} \times BK \times A_R + \beta_{11} \times BK \times SA \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

- $\alpha$  : Kostanta
- $\beta_1 \dots \beta_{12}$  : koefisien-koefisien parameter
- $V_R$  : kecepatan rata-rata
- $R_R$  : tanjakan rata-rata
- $DT_R$  : derajat tikungan rata-rata
- $A_R$  : percepatan rata-rata
- $SA$  : simpangan baku percepatan
- $BK$  : berat kendaraan

**2. Biaya Konsumsi Oli**

Biaya konsumsi oli dapat diperoleh dengan persamaan:

$$BO_i = KO_i \times HO_j \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

- KO<sub>i</sub> : konsumsi oli (liter/km)
- HO<sub>j</sub> : harga oli (rupiah/liter)
- i : jenis kendaraan
- j : jenis oli

Konsumsi oli (KO) untuk masing-masing jenis kendaraan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$KO_i = OHK_i + OHO_i \times KBBM_i \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan:

- OHK : oli hilang akibat kontaminasi (liter/km)
- OHO<sub>j</sub> : oli hilang akibat operasi (liter/km)
- KBBM : konsumsi bahan bakar minyak (liter/km)

Kehilangan oli akibat kontaminasi dihitung sebagai berikut:

$$OHK_i = KAPO_i / JPO_i \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan:

- KAPO : kapasitas oli (liter)
  - JPO<sub>i</sub> : jarak penggantian oli (km)
- Nilai tipikal (*default*) untuk persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

**3. Biaya Konsumsi Suku Cadang**

Biaya konsumsi suku cadang dipengaruhi oleh tingkat kekasaran jalan, harga kendaraan, nilai relatif biaya suku cadang, kumulatif jarak tempuh dan koefisien-koefisien parameter yang dapat dilihat pada tabel 4. Data kekasaran permukaan jalan dapat diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan alat pengukur kerataan permukaan jalan dengan satuan hasil pengukuran meter per kilometer (IRI).

Data harga kendaraan dapat diperoleh melalui survai harga suatu kendaraan baru jenis tertentu dikurangi dengan nilai ban yang digunakan. Harga kendaraan dihitung sebagai harga rata-rata untuk suatu jenis kendaraan tertentu. Survai harga dapat dilakukan melalui

survai langsung di pasar atau mendapatkan data melalui survai instansional seperti asosiasi pengusaha kendaraan bermotor.

$$BP_i = PI_i \times HKB_j / 1000000 \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan:

- BP<sub>i</sub> : biaya pemeliharaan kendaraan (rp/km)
- HKB<sub>i</sub> : harga kendaraan baru rata-rata (rp)
- P<sub>i</sub> : nilai relatif biaya suku cadang terhadap harga kendaraan baru
- I : jenis kendaraan

Nilai relatif biaya suku cadang terhadap harga kendaraan baru atau konsumsi suku

cadang untuk suatu jenis kendaraan i dapat dihitung dengan rumus persamaan berikut:

$$P_i = (\phi + \gamma_1 \times IRI) (KJT_i / 100000)^{\gamma_2} \dots \dots \dots (17)$$

Keterangan:

- Φ : konstanta (lihat tabel 4)
- γ<sub>1</sub> & γ<sub>2</sub> : koefisien-koefisien parameter (lihat tabel 4)
- IRI : kekasaran jalan (m/km)
- KJT<sub>i</sub> : kumulatif jarak tempuh (km)
- I : jenis kendaraan

**Tabel 3. Nilai Tipikal JPO<sub>i</sub>, KPO<sub>i</sub>, dan OHO<sub>i</sub>**

Jenis kendaraan	JPO <sub>i</sub> (km)	KPO <sub>i</sub> (liter)	OHO <sub>i</sub> (liter/km)
Sedan	2000	3,5	2,8 x 10 <sup>-6</sup>
Utiliti	2000	3,5	2,8 x 10 <sup>-6</sup>
Bus kecil	2000	6	2,1 x 10 <sup>-6</sup>
Bus besar	2000	12	2,1 x 10 <sup>-6</sup>
Truk ringan	2000	6	2,1 x 10 <sup>-6</sup>
Truk sedang	2000	12	2,1 x 10 <sup>-6</sup>
Truk berat	2000	24	2,1 x 10 <sup>-6</sup>

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2005).

**Tabel 4. Nilai tipikal φ, γ<sub>1</sub>, dan γ<sub>2</sub>**

Jenis kendaraan	φ	γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>
Sedan	-0,69	0,42	0,10
Utiliti	-0,69	0,42	0,10
Bus kecil	-0,73	0,43	0,10
Bus besar	-0,15	0,13	0,10
Truk ringan	-0,64	0,27	0,20
Truk sedang	-1,26	0,46	0,10
Truk berat	-0,86	0,32	0,40

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2005).

**4. Biaya Upah Tenaga Pemeliharaan**

Biaya Upah Perbaikan Kendaraan untuk masing-masing jenis kendaraan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$BU_i = JP_i \times UTP / 1000 \dots \dots \dots (18)$$

Keterangan:

- BU<sub>i</sub> : biaya upah perbaikan kendaraan (rp/km)
- JP<sub>i</sub> : jumlah jam pemeliharaan (jam/1000km)
- UTP : upah tenaga pemeliharaan (rp/jam)

Data upah tenaga pemeliharaan dapat diperoleh melalui survey penghasilan tenaga

perbaikan kendaraan. Survey upah dapat dilakukan melalui survey langsung di bengkel atau mendapatkan data melalui instansional seperti Dinas Tenaga Kerja.

Kebutuhan jumlah jam pemeliharaan untuk masing-masing jenis kendaraan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$JP_i = a_0 \times P_i^{a_1} \dots \dots \dots (19)$$

Keterangan:

$JP_i$  : jumlah jam pemeliharaan (jam/1000km)  $BB_i = KB_i \times HB_j / 1000$ .....(20)

$P_i$  : konsumsi suku cadang

$a_0, a_1$  : konstanta (lihat tabel 5)

Nilai tipikal (*default*) untuk  $a_0$  dan  $a_1$  dapat dilihat pada Tabel 5.

Keterangan:

$BB_i$  : biaya konsumsi ban (rupiah/km)

$KB_i$  : konsumsi ban (EBB/1000km)

$HB_j$  : harga ban baru (rupiah)

Konsumsi ban untuk masing-masing kendaraan dapat dihitung dengan rumus persamaan berikut:

$$KB_i = \chi + \delta_1 \times IRI + \delta_2 \times TT_R + \delta_3 \times DT_R \dots \dots (21)$$

Keterangan:

$\chi$  : kostanta (lihat tabel )

$\delta_1, \delta_2$  : koefisien-koefisien parameter (lihat tabel 7)

$TT_R$  : tanjakan turunan rata-rata

$DT_R$  : derajat tikungan rata-rata

### 5. Biaya Konsumsi Ban

Perhitungan nilai tanjakan turunan (TT) merupakan penjumlahan nilai tanjakan rata-rata (FR) dan nilai mutlak turunan rata-rata (RR). Nilai tanjakan rata-rata dihitung dengan menggunakan rumus (9) dan nilai turunan rata-rata dihitung dengan menggunakan rumus (10).

Derajat tikungan untuk suatu ruas jalan dapat menggunakan nilai tipikal (*default*) seperti pada Tabel 6.

Biaya konsumsi ban dapat diperoleh dengan persamaan:

**Tabel 5. Nilai tipikal  $a_0$ , dan  $a_1$**

Jenis kendaraan	$a_0$	$a_1$
Sedan	77,14	0,547
Utiliti	77,14	0,547
Bus kecil	242,03	0,519
Bus besar	293,44	0,517
Truk ringan	242,03	0,519
Truk sedang	242,03	0,517
Truk berat	301,46	0,519

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2005).

**Tabel 6. Nilai tipikal derajat tikungan**

Kondisi medan	Derajat tikungan [°/km]
Datar	15
Bukit	115
Gunung	200

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2005).

**Tabel 7. Nilai tipikal  $\chi$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ , dan  $\delta_3$**

Jenis Kendaraan	$\chi$	IRI $\delta_1$	$TT_R$ $\delta_2$	$DT_R$ $\delta_3$
Sedan	-0,0147	0,01489	-	-
Utiliti	0,01905	0,01489	-	-
Bus kecil	0,02400	0,02500	0,00350	0,00067
Bus besar	0,10153	-	0,00096	0,00024
Truk ringan	0,02400	0,02500	0,00350	0,00067
Truk sedang	0,09583	-	0,00173	0,00018
Truk berat	0,15835	-	0,00256	0,00028

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2005).

**6. Biaya Tidak Tetap (BTT) atau besaran Biaya Operasional Kendaraan (BOK)**

Biaya tidak tetap dihitung dengan menjumlahkan biaya konsumsi bahan bakar, biaya konsumsi oli, biaya konsumsi suku cadang, biaya upah tenaga pemeliharaan, dan biaya konsumsi ban seperti berikut:

$$BTT = B_iBBM_j + BO_i + BP_i + BU_i + BB_i \dots(22)$$

Keterangan:

- BTT : biaya tidak tetap (rupiah/km)
- B<sub>i</sub>BBM<sub>j</sub> : biaya konsumsi bahan bakar minyak (rupiah/km)
- BO<sub>i</sub> : biaya konsumsi oli (rupiah/km)
- BP<sub>i</sub> : biaya konsumsi suku cadang (rupiah/km)
- BU<sub>i</sub> : biaya upah tenaga pemeliharaan (rupiah/km)
- BB<sub>i</sub> : biaya konsumsi ban (rupiah/km)

**Biaya Waktu Perjalanan**

Pendekatan yang paling banyak digunakan untuk memperkirakan biaya waktu perjalanan adalah dengan menerapkan nilai waktu penundaan. Nilai waktu bergantung pada banyak faktor, yaitu kondisi sosial ekonomi, wisatawan, tujuan perjalanan, jenis moda, waktu perjalanan dan ada banyak perkiraan yang tersedia dalam literatur mengenai nilai waktu, tergantung pada variasi faktor-faktor yang mempengaruhinya (Bivina G R et al. 2016)

Biaya waktu perjalanan dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$(TTC)_i = \Sigma_i(TTD + VOT + O + N) \dots(23)$$

Keterangan:

- TTC : *travel time cost* / biaya waktu perjalanan (rupiah/jam)
- TTD : *travel time delay* / waktu tundaan (jam)
- VOT : *value of time* / nilai waktu (rupiah/orang/jam)
- O : nilai okupansi (orang/kendaraan)

N : *number of vehicle i* / volume kendaraan jenis i (kendaraan/jam)

**Nilai Waktu Perjalanan**

Nilai waktu perjalanan didefinisikan sebagai jumlah uang yang bersedia dikeluarkan oleh seseorang untuk menghemat waktu perjalanan atau sejumlah uang yang disiapkan untuk dibelanjakan atau dikeluarkan oleh seseorang dengan maksud untuk menghemat atau untuk mendapatkan satu unit nilai waktu perjalanan (Suci dan Maria 2015).

Ada beberapa metode dalam menentukan nilai waktu perjalanan:

**1. Metode *Income Approach***

Charles Sitindaon (2013) menyatakan bahwa perhitungan nilai waktu perjalanan dengan metode *income approach* ini cukup sederhana, sebab hanya terdiri dari dua faktor, yaitu produk domestik regional bruto (PDRB) tiap orang dan jam bekerja tahunan tiap orang. Perhitungan nilai waktu dengan metode ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$VOT = \frac{PDRB/JP}{WKT} \dots(24)$$

Keterangan:

- PDRB : pendapatan domestik regional bruto (rupiah)
- JP : jumlah penduduk (orang)
- WK : waktu kerja tahunan (jam)
- T

**2. Metode *Choice Approach***

Pendekatan dengan metode ini mencoba mendapatkan nilai waktu dari model untuk memperkirakan perbandingan pilihan dari lalu lintas moda tertentu. Perbandingan pilihan diasumsikan menjadi suatu fungsi dari dua variabel yaitu biaya operasi dan biaya waktu. Nilai waktu didefinisikan sebagai perbandingan antara parameter untuk biaya waktu terhadap biaya operasi.

**Okupansi**

Okupansi adalah nilai kegunaan dari kapasitas muatan yang tersedia dari sebuah

moda transportasi. Ini berguna untuk mengetahui rata rata okupansi penumpang pada berbagai rute perjalanan moda transportasi. Okupansi dari tiap jenis kendaraan dapat dilihat pada tabel 8.

### Biaya Emisi

Biaya emisi dari kendaraan bermotor merupakan nilai yang ditimbulkan akibat gas buang kendaraan bermotor yang mana dipengaruhi oleh jenis kendaraan, waktu

tundaan, dan biaya per kilogram jenis polutan yang dihasilkan.

$BE =$

$$Konsentrasi_{ij} \times DT \times Biaya \text{ Kg Polutan} \quad (25)$$

Keterangan:

BE : biaya emisi (rupiah)

DT : tundaan lalu lintas (jam)

$Konsentrasi_{ij} =$

$$V \times faktor \text{ emisi} \dots \dots \dots (26)$$

Keterangan:

V : Volume kendaraan (kendaraan/jam)

**Tabel 8. Okupansi Tiap Jenis Kendaraan**

Jenis kendaraan	Okupansi
Kend. roda tiga	1
Mobil pribadi	3
Angkot	10
Bus kecil	25
Bus besar	50
Truk sedang	2
Truk besar	2
Trailer	2
Sepeda motor	2
Kend. tidak bermotor	1

Sumber: Dinas Perhubungan (2014).

**Tabel 9. Faktor Emisi dalam gr/km**

Polutan	Car & Jeep	Taxi	Omni Bus	Bus
CO <sub>2</sub>	223,6	208,3	515,2	515,2
CO	1,98	0,9	3,6	3,6
NO <sub>x</sub>	0,2	0,5	12	12
CH <sub>2</sub>	0,2	0,01	0,09	0,09
SO <sub>2</sub>	0,05	10,3	1,4	1,4
PM	0,03	0,07	0,6	0,6
HC	0,25	0,13	0,9	0,9

Sumber: Atmospheric Emission Inventory Guidebook (2001).

### HIPOTESIS

Biaya kemacetan yang tertinggi nilai kerugiannya adalah biaya waktu perjalanan, selanjutnya biaya operasional kendaraan, dan yang terakhir biaya emisi.

### METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Ruas Jalan Tol Jakarta-Cikampek KM. 26. Tahap awal

penelitian yaitu mengidentifikasi permasalahan yang akan diambil. Selanjutnya mencari landasan teori dan referensi penulisan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan serta dilanjutkan dengan mengumpulkan data. Pengumpulan data ini dilakukan dengan perekaman lalu lintas serta pengukuran eksisting jalan di titik pemantauan. Selain data lapangan dibutuhkan

data harga kendaraan, harga bahan bakar kendaraan, harga oli, harga ban, upah tenaga pemeliharaan, nilai PDRB, jumlah penduduk, dan biaya per unit pencemaran akibat emisi kendaraan. Data tersebut yang selanjutnya akan digunakan sebagai input pada proses analisis dari masing-masing aspek yang ditinjau.

Analisis karakteristik lalu lintas dilakukan sesuai dengan MKJI 1997, sedangkan biaya operasional kendaraan (BOK) mengacu pada Pedoman Perhitungan Biaya Operasi Kendaraan yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum tahun 2005. Analisis BOK dilakukan dengan menghitung selisih antara kondisi saat arus bebas dengan kondisi saat macet.

Tahap berikutnya yaitu menganalisis biaya waktu perjalanan menggunakan nilai waktu berdasarkan metode *Income Approach* dengan memperhitungkan angka PDRB dan jumlah penduduk. Maka akan didapatkan besaran biaya waktu perjalanan berdasarkan nilai waktu, volume kendaraan, tundaan lalu lintas dan juga okupansi kendaraan. Pada tahap akhir menganalisis biaya emisi menggunakan nilai per unit pencemaran yang mengacu pada Permen LH No. 7 Tahun 2014. Maka akan didapatkan hasil biaya kemacetan dari ketiga aspek tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Lalu Lintas

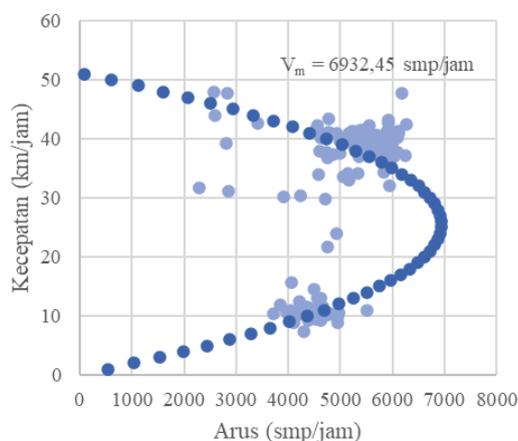
Data arus lalu lintas diperoleh dari hasil survey yang dilakukan mulai pukul 09.00 WIB hingga pukul 21.00 WIB (12 jam) dengan pengamatan satu interval setiap 5 menit dan sesuai klasifikasi jenis kendaraan yang dikalibrasi dengan ekuivalen mobil penumpang, diperoleh volume kendaraan terendah 2289,6 smp/jam dan volume kendaraan tertinggi 6273,6 smp/jam.

Data kecepatan diperoleh dari manual pengamatan pada titik penggalan jalan sepanjang 100 meter yang kemudian dikonversi menjadi satuan kilometer per jam. Diperoleh kecepatan tertinggi saat kondisi arus normal yaitu 47,82 km/ jam dan kecepatan terendah saat arus macet yaitu 7,35 km/jam.

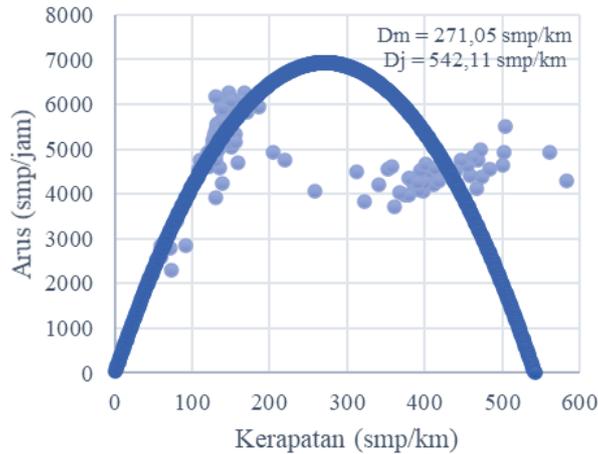
Data kerapatan diperoleh dari nilai volume kendaraan dan kecepatan sehingga diperoleh nilai kerapatan terendah 53,77 smp/km dan nilai kerapatan tertinggi yaitu 583,45 smp/km. Semakin tinggi nilai kerapatan menunjukkan kondisi lalu lintas yang semakin padat atau macet. Pada penelitian ini diperoleh kondisi macet terjadi mulai pukul 16.20 WIB hingga pukul 20.20 WIB.

### Hubungan Karakteristik Lalu Lintas

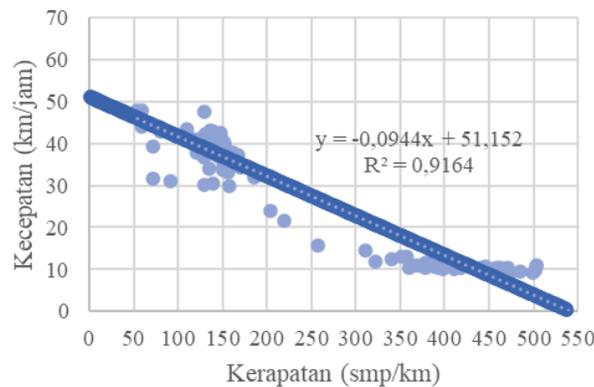
Hubungan arus, kecepatan, dan kerapatan menggunakan pemodelan *greenshield* hasilnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Grafik Hubungan Arus-Kecepatan



**Gambar 3. Grafik Hubungan Arus-Kerapatan**



**Gambar 4. Grafik Hubungan Kecepatan-Kerapatan**

**Biaya Operasional Kendaraan (BOK)**

Hasil analisis biaya operasional BOK saat kondisi macet dan kondisi arus bebas dapat dilihat pada tabel 10 dan tabel 11.

Berdasarkan selisih tersebut diperoleh biaya kemacetan BOK sebesar Rp.134.726/km seperti pada tabel 12.

**Biaya Waktu Perjalanan**

Hasil analisis metode *income approach* adalah sebagai berikut:

PDRB : Rp. 98.208.804.000.000

JP : 3.004.000 orang

WKT : 2080 jam/tahun

Dengan memasukkan data pada persamaan (24), maka diperoleh nilai waktu sebesar Rp.15.718. Setelah itu hasil analisis biaya waktu perjalanan dapat dilihat pada tabel 13.

**Biaya Emisi**

Analisis biaya emisi berdasarkan jenis polutan dapat dilihat pada tabel 14. Diperoleh hasil sebesar Rp.598.593,03/jam.

**Tabel 10. Biaya Operasional Kendaraan (BOK) Saat Kondisi Macet**

Jenis Kendaraan	BBBM (rp/km)	BO (rp/km)	BP (rp/km)	BU (rp/km)	BB (rp/km)	BOK (rp/km)
LV	123.245,91	31.505,64	55.598,40	165.708,90	4.520,88	380.579,73
MHV	142.283,85	15.123,12	27.086,40	165.708,90	5.037,33	355.239,60
LB	189.281,00	44.499,97	139.896,00	515.291,40	21.543,38	910.513,56
LT	393.998,55	89.000,27	338.976,00	966.425,09	35.350,56	1.823.750,47

Sumber: Hasil Analisis.

**Tabel 11. Biaya Operasional Kendaraan (BOK) Saat Kondisi Arus Bebas**

Jenis Kendaraan	BBBM (rp/km)	BO (rp/km)	BP (rp/km)	BU (rp/km)	BB (rp/km)	BOK (rp/km)
LV	93.038,19	31.504,26	55.598,40	165.708,90	4.520,88	350.370,63
MHV	115.876,67	15.122,54	27.086,40	165.708,90	5.037,33	328.831,84
LB	161.973,26	44.499,40	139.896,00	515.292,40	21.543,38	883.204,44
LT	343.200,09	88.999,21	338.976,00	966.425,09	35.350,56	1.772.950,95

Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 12. Rekapitulasi Biaya Operasional Kendaraan (BOK)**

Jenis Kendaraan	BOK Kondisi Macet (rp/km)	BOK Kondisi Arus Bebas (rp/km)	Biaya Kemacetan BOK (rp/km)
LV	380.579,73	350.370,63	30.209,10
MHV	355.239,60	328.831,84	26.407,76
LB	910.513,56	883.204,44	27.309,12
LT	1.823.750,47	1.772.950,95	50.799,52
	Jumlah		134.725,51

Sumber: Hasil Analisis.

**Tabel 13. Biaya Waktu Perjalanan**

Jenis Kendaraan	N (kend/jam)	O (org)	DT (jam)	VOT (rp/org/jam)	Time Travel Cost (Rp/jam)
LV	1578	3	0,0078	15.718	579.447,03
MHV	713	2	0,0078	15.718	174.553,07
LB	155	50	0,0078	15.718	948.657,99
LT	836	2	0,0078	15.718	204.665,31
	Jumlah				1.907.353,40

Sumber: Hasil Analisis.

**Tabel 14. Biaya Emisi**

Jenis Polutan	Biaya Polutan (rp/kg)	DT (jam)	LV 1578 kend/jam (rp/jam)	MHV 713 kend/jam (rp/jam)	LB 155 kend/jam (rp/jam)	LT 836 kend/jam (rp/jam)
CO <sub>2</sub>	61,88	0,0078	170.025,73	71.567,30	38.480,74	207.547,73
CO	61,88	0,0078	1.505,59	309,22	268,89	1.450,26
NO <sub>x</sub>	123,75	0,0078	304,16	343,58	1.792,58	9.668,37
CH <sub>2</sub>	6.187,50	0,0078	15.208,03	343,58	672,22	3.625,64
SO <sub>2</sub>	123,75	0,0078	76,04	7.077,71	209,13	1.127,98
PM	99,00	0,0078	36,50	38,48	71,70	386,73
HC	6.187,50	0,0078	19.010,03	4.466,51	6.722,18	36.256,40
	Jumlah		206.166,09	84.146,38	48.217,44	260.063,11

Sumber: Hasil Analisis

Keterangan: Hasil termasuk pengali dari faktor emisi

## PEMBAHASAN

Berdasarkan tabel 10 dan tabel 11, dapat disimpulkan bahwa biaya upah tenaga pemeliharaan atau biaya upah perbaikan kendaraan adalah yang tertinggi nilai kerugiannya pada biaya operasional kendaraan (BOK) disusul dengan biaya konsumsi bahan bakar.

Berdasarkan tabel 13, terlihat bahwa biaya waktu perjalanan tertinggi pada penelitian ini yaitu dari jenis kendaraan LB. Hal ini sebanding dengan nilai okupansinya. Berdasarkan tabel 14, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi jenis polutan yang paling banyak dihasilkan dari kendaraan bermotor yaitu karbondioksida (CO<sub>2</sub>), hal ini berbanding lurus dengan nilai faktor emisinya.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap biaya kerugian akibat, dapat disimpulkan bahwa besaran kerugian berdasarkan biaya operasional kendaraan (BOK) sebesar Rp.134.725,51/km dengan rincian biaya untuk kendaraan jenis LV sebesar Rp.30.209,10/km, kendaraan jenis MHV sebesar Rp.26.407,76/km, kendaraan jenis LB sebesar Rp.27.309,12/km, kendaraan jenis LT sebesar Rp.50.799,52/km. Selain itu, besaran kerugian akibat kemacetan berdasarkan biaya waktu perjalanan sebesar Rp.1.907.353,40/jam, sedangkan berdasarkan biaya emisi kerugiannya sebesar Rp.598.593,03/jam.

Biaya waktu perjalanan menjadi aspek dengan nilai kerugian tertinggi akibat kemacetan, hal ini dikarenakan biaya waktu perjalanan lebih merepresentasikan nilai dari produktivitas manusia.

### Saran

Disarankan untuk penelitian selanjutnya agar menambahkan analisis terhadap aspek lain yang mempengaruhi kerugian akibat terjadinya kemacetan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu mewujudkan karya tulis ilmiah ini, khususnya kepada dosen pembimbing dari Universitas Gunadarma yang telah memberikan masukan dan dorongan, serta para dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan dan saran.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.O. Somuyiwa, S. O. Fadare and B. B. Ayantoyinbo. 2015. *Analysis of The Cost of Traffic Congestion on Worker's Productivity in a Mega City of a Developing Economy*. International Review of Management and Business Research Vol. 4 Issue 3.
- Bivina G R, Vishrut L, and Sanjay Kumar V S. 2016. *Socio Economic Valuation of Traffic Delays*. Transportation Research Procedia 17: 513-520.
- Charles Sitindaon. 2013. *Analisa Biaya Operasi Kendaraan Ruas Jalan Perkotaan Wilayah Kota Medan*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Glen Weisbrod, Don Vary, and George Treyz. 2003. *Measuring the Economic Costs of Urban Traffic Congestion to Business*. Journal of the Transportation Research Board.
- Greyti S.J. Timpal, Theo K. Sendow, dan Audie L.E. Rumayar. 2018. *Analisa Kapasitas Berdasarkan Pemodelan Greenshield, Greenberg dan Underwood dan Analisa Kinerja Jalan Pada Ruas Jalan Sam Ratulangi Manado*. Jurnal Sipil Statik Vol. 6 No. 8: 599-610.
- Indonesia, 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 7 Tentang Kerugian Lingkungan Hidup Akibat Pencemaran Dan/Atau Kerusakan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.

- Indonesia, Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Pedoman Perhitungan Biaya Operasi Kendaraan*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Indonesia, Direktorat Bina Jalan Kota. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Mir S. Ali, Muhammad Adnan, Syed M. Noman, Syed F. A. Baqueri. 2014. *Estimation of Traffic Congestion Cost-A Case Study of a Major Arterial in Karachi*. *Procedia Engineering* 77: 37-44.
- Nahdalina et al. 2017. *Impact of Traffic Composition on Accessibility as Indicator of Transport Sustainability*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 67 012038.
- Takyi Harriet, Kofi Poku, and Anin K. Emmanuel. 2013. *An Assessment of Traffic Congestion and Its Effect on Produktivity in Urban Ghana*. *International Journal of Business and Social Science* Vol. 4 No. 3.
- Tanzila Khan and Md. Rashedul I. MCIPS. 2013. *Estimating Costs of Traffic Congestion in Dhaka City*. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)* Volume 2 Issue 3.
- Susanti, Suci dan Maria Magdalena. 2015. *Estimasi Biaya Kemacetan di Kota Medan*. Puslitbang Manajemen Transportasi Multimoda.