

# KARAKTERISTIK TINGKAT EMISI CO<sub>2</sub> PADA BERBAGAI DERAJAT KEJENUHAN LALU LINTAS DI JALAN TOL (*LEVEL OF CO<sub>2</sub> EMISSION ON SEVERAL DEGREE OF SATURATION OF TRAFFIC IN TOLL ROAD*)

Edwin Hidayat<sup>1)</sup>, Bintang Pamungkas<sup>2)</sup>, Redi Aditya<sup>3)</sup>, Ade Solihin<sup>4)</sup>, Disi Hanafiah<sup>5)</sup>,  
Yuni Arfah<sup>6)</sup>, Rosma Indriyani<sup>7)</sup>

<sup>1),2),3),4),5)</sup> Pusat litbang Jalan dan Jembatan

<sup>1),2),3),4),5)</sup> Jl A.H Nasution No. 264 Bandung 40294

<sup>6),7)</sup> PT. Jasamarga (Persero)

<sup>6),7)</sup> Plaza Tol Taman Mini Indonesia Indah, Jakarta 13550

e-mail: <sup>1)</sup>edwin.hidayat@pusjatan.pu.go.id, <sup>2)</sup>bintang.pamungkas@pusjatan.pu.go.id,

<sup>3)</sup>redi.aditya@pusjatan.pu.go.id, <sup>4)</sup>ade.solihin@pusjatan.pu.go.id, <sup>5)</sup>disi.hanafiah@pusjatan.pu.go.id

<sup>6)</sup>yuniarfah@yahoo.co.id, <sup>7)</sup>oyzzzma@yahoo.co.id

Diterima: 02 Juni 2013; direvisi: 02 Juli 2013; disetujui: 01 Agustus 2013

## ABSTRAK

Derajat kejenuhan lalu lintas merupakan representasi dari kemampuan suatu ruas jalan dalam mengalirkan aliran kendaraan, jika dilihat dari aspek lingkungan aliran kendaraan yang melaju disuatu ruas jalan menghasilkan polusi udara, salah satunya emisi CO<sub>2</sub>. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mengetahui karakteristik tingkat emisi CO<sub>2</sub> yang didasarkan dari tingkat derajat kejenuhan lalu lintas di jalan tol. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan studi kasus di jalan tol Jakarta – Cikampek, dengan pengambilan data selama tujuh kali dua puluh empat jam, lokasi pengambilan data primer berada di KM. 58.200 dengan tipe jalan 6/2D dan KM. 14+200 dengan tipe 8/2D dimana lokasi pengamatan mempunyai alinyemen horizontal yang lurus dan alinyemen vertical yang rata bukan tanjakan atau turunan. Pengambilan data primer dengan menggunakan kamera video image processing, kemudian menghitung kapasitas serta volume jalan tol sehingga dihasilkan derajat kejenuhan dengan MKJI (1997). Data kecepatan kendaraan digunakan untuk menghitung kebutuhan BBM, dengan pendekatan persamaan dari LAPI ITB (1996) serta penggunaan faktor emisi dari Permen LH No.12/2010. Kemudian di analisis dengan uji statistik. Dari hasil kajian didapatkan karakteristik tingkat emisi CO<sub>2</sub> dengan beberapa tingkat derajat kejenuhan lalu lintas jalan tol. Analisa dengan uji statistik menghasilkan pula persamaan-persamaan dengan koefisien determinasi yang cukup signifikan. Diharapkan persamaan-persamaan hubungan tersebut dapat digunakan untuk inventarisir tingkat emisi CO<sub>2</sub> dengan dasar tingkat derajat kejenuhan untuk jalan tol di Indonesia, sehingga dapat dimanfaatkan untuk langkah mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

**Kata kunci:** Derajat Kejenuhan, Emisi CO<sub>2</sub>, Bahan Bakar Minyak (BBM), Jalan tol, Kecepatan

## ABSTRACT

The degree of saturation in traffic engineering is representing the ability of a road in flowing the vehicle, from environment aspect traffic flow also generating air pollution, one of them is CO<sub>2</sub> emission. The purpose of this paper is to find out the characteristic of CO<sub>2</sub> emission based on the degree of saturation level especially in toll road. The method used is to conduct a case study in the Jakarta – Cikampek toll road, the location for gathering primary data conducted in KM.58+200 with road type 6/2D and in KM 14+200 with road type 8/2D, both locations have flat vertical alignment and straight horizontal alignmen. Video image processing camera was used for primary data collection, then the capacity and volume of the highway were calculated that resulted the degree of saturation with approachment of IHCM (1997). Vehicles' speed data for measuring fuel consumptions with approachment of LAPI ITB (1996) model and the use of emission factor from Permen LH No.12/2010 were analyzed using statistical method. From the results of analysis, characcteristic of CO<sub>2</sub> emission level based on the degree of saturation was obtained. Moreover, statistical analyses also resulting

*equations with significant coefficients of determination. The equations are expected to be used for compiling the inventory of fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions for Indonesian toll road, thus it can be used for mitigation and adaptation to climate change.*

**Keywords:** *degree of saturation, CO<sub>2</sub> emissions, fuels consumption, toll road, speed*

## PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan merupakan prasarana yang penting dalam mendukung kegiatan manusia sehari-hari. Dimana kinerja suatu ruas jalan dihitung berdasarkan tingkat derajat kejenuhan. Pengertian derajat kejenuhan sendiri adalah rasio volume kendaraan terhadap kapasitas dan digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan penilaian lalu lintas pada suatu ruas jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah ruas jalan akan mempunyai masalah atau tidak yang dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per jam (Syaukani dkk. 2005).

Infrastruktur jalan terdiri dari jalan umum dan jalan tol. Dalam PP No.15/2005 (Indonesia 2005) tertulis bahwa untuk jalan tol harus mempunyai tingkat pelayanan keamanan dan kenyamanan yang lebih tinggi dari jalan umum yang ada dan dapat melayani arus lalu-lintas jarak jauh dengan mobilitas tinggi. Dari syarat tersebut dapat diketahui bahwa jalan tol harus mempunyai tingkat derajat kejenuhan yang rendah agar bisa memberikan tingkat kenyamanan dan keamanan yang lebih tinggi daripada jalan umum.

Dilain pihak, dengan meningkatnya jumlah penduduk mengakibatkan meningkatnya aktifitas transportasi. Jumlah populasi penduduk mempunyai efek yang sangat kuat terhadap konsumsi BBM, dimana untuk mobil pribadi berpengaruh terhadap konsumsi bensin, dan panjang jalan berpengaruh terhadap konsumsi solar (Handajani 2012). Dengan tingginya aktifitas transportasi (lalu lintas jalan) maka akan mengakibatkan meningkatnya penggunaan BBM, otomatis menghasilkan emisi kendaraan yang tinggi pula.

Hasil analisis hubungan kecepatan kendaraan dengan emisi yang dikeluarkan di

kota Padang dengan hasil penelitian untuk gas CO, dan NO<sub>2</sub> diketahui bahwa konsentrasi gas yang dihasilkan akan meningkat seiring bertambahnya kecepatan kendaraan. Hasil pengukuran konsentrasi SO<sub>2</sub> pada mesin disel mempunyai kecenderungan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan, maka konsentrasi yang dihasilkan juga semakin besar. Sedangkan untuk kendaraan mesin bensin, konsentrasi SO<sub>2</sub> tidak terdeteksi, karena sangat kecil (Bachtiar dan Surtia 2011). Sedangkan hasil penelitian emisi kendaraan di DKI Jakarta dilihat per kategori kendaraan penyumbang emisi CO<sub>2</sub> terbesar pada tahun 2008 adalah kendaraan penumpang (minibus, jeep, sedan) dengan prosentase 55.41%, disusul sepeda motor sebanyak 22.31%, angkutan ringan (*pickup*, mikrolet, mikrobus) sebanyak 15.29%, dan kendaraan berat (truk, bis besar) sebesar 6.6%. (Nur, dkk. 2010).

Dalam Permen PU No. 11/PRT/M/2012 tentang Rencana Aksi Nasional Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim terdapat komponen *Measurable, Reportable, Verivable (MRV)* kegiatan gas rumah kaca untuk bidang jalan, dimana *measurable* atau perhitungan dampak emisi dibutuhkan untuk mengetahui berapa kontribusi emisi kendaraan dari kegiatan transportasi.

Sehingga untuk mengetahui karakteristik tingkat polusi udara dari kegiatan transportasi di jalan tol, maka dilakukan studi kasus di jalan tol Jakarta – Cikampek untuk melakukan kajian karakteristik tingkat emisi CO<sub>2</sub> yang didasarkan pada perbagai derajat kejenuhan lalu lintas jalan tol. Dimana derajat kejenuhan merupakan representasi dari tingkat pelayanan. Hal ini bermanfaat untuk inventarisir jumlah emisi dari pemanfaatan jalan tol akibat kendaraan bermotor, dimana kegiatan ini mendukung Perpres no. 71/2011 (Indonesia

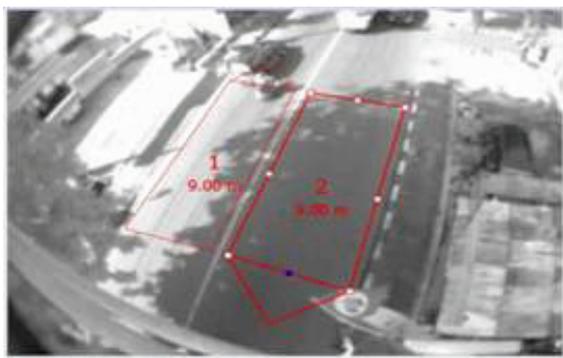
2011) tentang penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional.

## KAJIAN PUSTAKA

### Aplikasi *Video Image Processing (VIP)*

Dewasa ini aplikasi kamera VIP lebih dipilih dalam pengambilan data primer volume lalu-lintas kendaraan daripada menggunakan pencacahan manual. Salah satu kamera VIP adalah jenis *Traficam Collect-R* yang merupakan alat berupa kamera yang dilengkapi program penganalisa gambar video (*Image analyser*) untuk menghitung arus dan kecepatan langsung dari gambar video yang tertangkap oleh kamera (Iskandar 2012).

Kamera VIP merupakan kamera yang didalamnya terinstal perangkat untuk membuat *virtual loop* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Contoh *virtual loop*

Dari Gambar 1 dapat dilihat *virtual loop* yang merupakan ruang virtual untuk mengklasifikasi jenis kendaraan berdasarkan panjang kendaraan, selain hal tersebut juga dapat diketahui kecepatan kendaraan, *headway* antar kendaraan dan lain-lain. *Virtual loop* dapat digunakan dengan sebelumnya dilakukan kalibrasi panjang *virtual loop* dengan panjang jalan sebenarnya sehingga hasil dari klasifikasi kendaraan dapat mendekati kenyataan, lebih lanjut pembagian golongan kendaraan adalah sebagai berikut:

1. Golongan 1 (kendaraan ringan) dengan panjang  $\leq 5$  meter.

2. Golongan 2 (kendaraan sedang) dengan panjang 5.01-9 meter.
3. Golongan 3 (kendaraan berat) dengan panjang  $> 9$  meter.

### Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio volume terhadap kapasitas, digunakan dalam penentuan tingkat pelayanan suatu ruas jalan. DS adalah ukuran yang lazim digunakan untuk mewakili tingkat kemacetan suatu ruas jalan. DS dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp)/jam dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 persamaan DS sebagai berikut:

$$DS = V/C \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

DS = derajat kejenuhan

Q = volume kendaraan (smp/jam)

C = kapasitas ruas (smp/jam)

Perhitungan volume kendaraan dari kendaraan per jam di konversi menjadi smp per jam menggunakan bantuan Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP), dimana kendaraan ringan mempunyai nilai 1, sedangkan untuk kendaraan sedang dan kendaraan berat (truk berat) dikonversi menggunakan EMP untuk daerah datar seperti terlihat pada Tabel 1 EMP untuk jalan bebas hambatan sebagai berikut:

Tabel 1. EMP untuk jalan bebas hambatan

Type Aliny Emn	Vol kend/jam KR terbagi /arah knd/jam	Knd. Sedang	EMP Bus Besar	Truk Berat
	0	1.2	1.2	1.6
Datar	1900	1.4	1.4	2
	3400	1.6	1.7	2.5
	$\geq 4150$	1.3	1.3	2

Sumber : MKJI (Indonesia 1997)

Sedangkan untuk kapasitas dapat diartikan sebagai volume maksimum suatu ruas jalan dalam mengalirkan lalu-lintas kendaraan per satuan ruang dan per satuan waktu. Kapasitas dinyatakan dalam smp/jam, dengan persamaan menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (Indonesia 1997) sebagai berikut:

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{SP} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

C = kapasitas

C<sub>0</sub> = kapasitas dasar

FCW = faktor penyesuaian lebar jalan bebas hambatan

FCSP = faktor penyesuaian pemisahan arah (hanya untuk jalan bebas hambatan tak terbagi)

Dimana kapasitas dasar untuk jalan bebas hambatan terbagi berdasarkan MKJI 1997, dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kapasitas dasar jalan bebas hambatan

Tipe Jalan Bebas Hambatan / Tipe alinyemen	Kapasitas Dasar (smp/jam/lajur)
Empat-dan enam-lajur terbagi/ Datar	2300

Sumber: MKJI (Indonesia 1997)

Sedangkan untuk faktor penyesuaian lebar lajur, pada Tabel 3 disajikan faktor penyesuaian untuk lebar jalur lalu-lintas berdasarkan MKJI 1997 sebagai berikut:

**Tabel 3.** Faktor penyesuaian lebar jalur

Tipe Jalan Bebas Hambatan	Lebar Efektif Jalur Lalu-lintas Wc (meter)	FCW
Empat lajur terbagi /	3.25	0.96
Enam lajur terbagi	3.50	1.00
	3.75	1.03

Sumber: MKJI (Indonesia 1997)

### Konsumsi BBM

Perhitungan konsumsi BBM biasanya terkait dengan perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK), metode yang lazim digunakan adalah metode dari Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri Institut Teknologi Bandung, metode ini dipakai karena merupakan metode yang sederhana yang mudah diterapkan dengan tetap memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi BOK yaitu faktor kelandaian, kekasaran dan kapasitas jalan. Metode LAPI ITB merupakan penyempurnaan dari metode *Pacific Consultant International (PCI)* yang

telah digunakan sebelumnya, dengan mereview seluruh model yang ada dan melakukan survei pada beberapa jalan tol maupun jalan non tol dengan kondisi geometrik yang berbeda-beda. Komponen-komponen yang diperhitungkan adalah yang berkontribusi besar terhadap BOK dan meskipun masih banyak komponen lain yang perlu diperhitungkan, komponen tersebut tidak terlalu dominan.

Seperti telah dijelaskan metode LAPI ITB merupakan hasil penelitian di jalan tol dan jalan non tol, sehingga perhitungan konsumsi BBM untuk kendaraan yang lewat jalan tol dengan menggunakan metode ini dianggap relevan. Dalam Dedy dan Sagara (2008) disampaikan persamaan konsumsi BBM menurut LAPI ITB sebagai berikut:

$$Kbbm = bf(1 + (kk+kl+kr)) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

Kbbm = konsumsi *BBM*

*Bf* = *basic fuel* dalam liter/1000km

kk = koreksi akibat kelandaian

kl = koreksi akibat kondisi lalu-lintas

kr = koreksi akibat kekasaran jalan (*roughness*).

Sedangkan konsumsi BBM jika dilihat per golongan kendaraan dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:

$$Kbbm \text{ gol. I} = 0.0284 V^2 - 3.0644V + 141.68 \dots (4)$$

$$Kbbm \text{ gol. II} = 2.26533 * bf \text{ gol. I} \dots\dots\dots (5)$$

$$Kbbm \text{ gol. III} = 2.90805 * bf \text{ gol. I} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

Kbbm = konsumsi BBM/Gol kendaraan (lt/1000km)

V = kecepatan rata-rata (km/jam)

Lebih lanjut untuk penentuan faktor koreksi kk, kl dan kr pada konsumsi BBM dapat menggunakan Tabel 4.

### Faktor emisi

Dalam Perpres No. 71/2011 (Indonesia 2011) disampaikan bahwa penghitungan emisi dan serapan Gas Rumah Kaca (GRK) termasuk simpanan karbon dilakukan dengan menggunakan faktor emisi dan faktor serapan

lokal. Dalam hal faktor emisi dan faktor serapan lokal tidak tersedia, penghitungan emisi dan serapan GRK termasuk simpanan karbon dapat menggunakan faktor emisi dan faktor serapan yang telah disepakati secara internasional. Faktor emisi pada kajian ini menggunakan faktor emisi lokal yang merupakan faktor emisi per jenis kendaraan untuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia yang berdasarkan Permen Lingkungan Hidup No.12/2010 (Indonesia 2010) tentang Pedoman Inventarisasi data mutu udara ambient dan sumber pencemar udara yang ditampilkan pada Tabel 5.

Dari Tabel 5 dapat diketahui bahwa untuk CO<sub>2</sub> mempunyai satuan g/kg BBM, dimana kuantitas BBM dipengaruhi oleh suhu lingkungannya. Setiap penurunan atau kenaikan

suhu sebanyak 1 derajat celsius, volume BBM akan menyusut/mengembang sebanyak 0,1% tetapi massanya tetap. Pada kajian ini untuk 1 liter bensin ditentukan setara dengan 0.73 kg, sedangkan 1 liter solar setara dengan 0.82 kg.

## HIPOTESIS

Beberapa dugaan awal pada kajian ini adalah:

1. Nilai derajat kejenuhan lalu lintas jalan tol fluktuatif selama dua puluh empat jam
2. Tingkat konsumsi BBM tinggi pada derajat kejenuhan lalu lintas maksimum.
3. Tingkat emisi CO<sub>2</sub> tinggi pada derajat kejenuhan lalu lintas maksimum

**Tabel 4.** Faktor koreksi konsumsi BBM

Parameter Koreksi	Batasan Nilai Parameter	Nilai Faktor Koreksi
Koreksi kelandaian negatif (kk -)	$g \leq -5\%$	-0.337
	$-5\% \leq g \leq 0\%$	-0.158
Koreksi kelandaian positif (kk +)	$0\% \leq g \leq 5\%$	0.400
	$g \geq 5\%$	0.820
Koreksi lalu-lintas (kl)	$0 \leq v/c \leq 0.6$	-0.337
	$0.6 \leq g \leq 0.8$	0.185
Koreksi kekasaran (kr)	$v/c \geq 0.8$	0.253
	$< 3 \text{ m/km}$	0.035
	$\geq 3 \text{ m/km}$	0.085

Sumber: LAPI ITB- Jasa Marga dalam Dedy dan Sagara (2008)

**Tabel 5.** Faktor emisi gas buang kendaraan untuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia

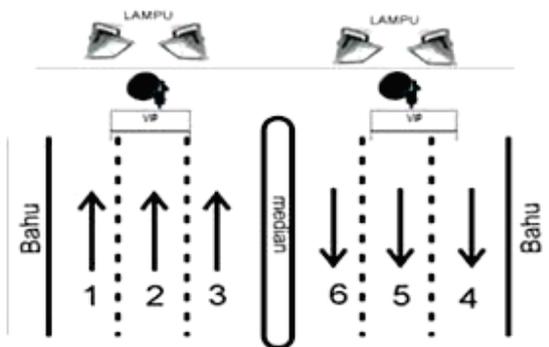
Kategori Pencemar Udara	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	PM <sub>10</sub> (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/kg BBM)	SO <sub>2</sub> (g/km)
Sepeda Motor	14	5.9	0.29	0.24	3180	0.08
Mobil (bensin)	40	4	2	0.01	3180	0.026
Mobil (solar)	2.8	0.2	3.5	0.53	3172	0.44
Mobil	32.4	3.2	2.3	0.12	3178	0.11
Bis	11	1.3	11.9	1.4	3172	0.93
Truk	8.4	1.8	17.7	1.4	3172	0.82

Sumber : Permen LH No.12/2010 (Indonesia 2010)

## METODOLOGI

Langkah-langkah yang dilakukan dalam kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Langkah 1 adalah pemilihan lokasi survei untuk pengambilan data primer, untuk jalan tol Jakarta – Cikampek dipilih 2 lokasi survei pada geometrik 6/2 D dan 8/2 D. Pemilihan lokasi harus mempertimbangkan geometrik jalan yang lurus dan bukan tanjakan atau turunan untuk mendapatkan kecepatan arus bebas kendaraan. Lokasi adalah jembatan penyeberangan orang (JPO) atau jalan layang diatas jalan tol sehingga kamera VIP dapat dipasang tegak lurus dan mempunyai ketinggian minimal 7 meter diatas permukaan jalan, sketsa pemasangan alat penghitung volume lalu-lintas dan kecepatan seperti dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Penempatan Alat di 6/2D

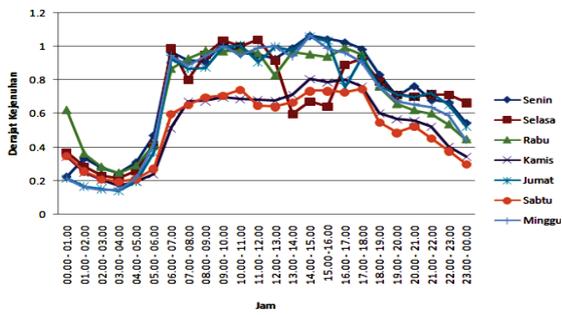
2. Langkah 2 adalah melakukan ekstraksi data dari hasil kamera VIP dengan menghitung volume kendaraan yang dirubah menjadi smp/jam dengan menggunakan bantuan pada Tabel 1 pada kajian pustaka.
3. Langkah 3 yaitu menghitung kapasitas jalan sesuai dengan persamaan 2 dengan menggunakan bantuan Tabel 2 dan Tabel 3 pada kajian pustaka. Hasil perhitungan kapasitas juga digunakan dalam faktor koreksi arus lalu-lintas dalam perhitungan kebutuhan konsumsi BBM.
4. Langkah 4 adalah menghitung derajat kejenuhan untuk mendapatkan kinerja lalu-lintas dengan menggunakan persamaan 1

- pada kajian pustaka, yang merupakan perbandingan dari langkah 2 dan langkah 3
5. Langkah 5 adalah melakukan perhitungan hubungan konsumsi BBM (total penjumlahan dari tiga golongan) dengan kecepatan kendaraan menggunakan persamaan 4, persamaan 5, dan persamaan 6 serta Tabel 4 pada kajian pustaka, kebutuhan BBM ini dihitung per satu kilometer.
  6. Langkah 6 melakukan analisa hubungan total emisi kendaraan dari semua golongan kendaraan dengan derajat kejenuhan dengan menggunakan analisa regresi
  7. Langkah 7 adalah melakukan perhitungan emisi kendaraan dengan menggunakan Tabel 5 pada kajian pustaka, untuk mobil penumpang menggunakan faktor emisi mobil dengan BBM bensin, kendaraan ringan menggunakan faktor emisi bis dengan BBM solar dan untuk kendaraan berat menggunakan faktor emisi truk dengan BBM solar. Kemudian dianalisa dengan uji statistik regresi linier untuk mendapatkan hubungan antara emisi kendaraan dan derajat kejenuhan.

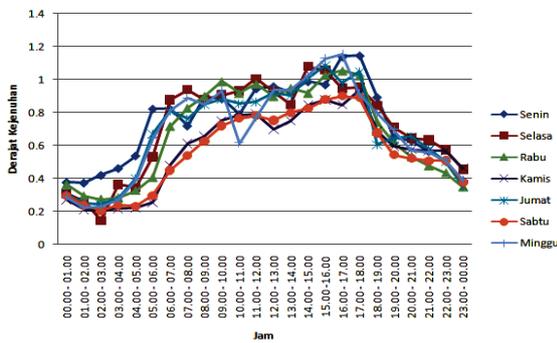
## HASIL DAN ANALISIS

Hasil dari langkah 1 pada metodologi, survei dilakukan di jalan layang pada Km. 14+200 untuk 8/2 D dan untuk 6/2 D lokasi survei berada di JPO pada km 58+200. Dari hasil pengamatan visual lokasi pengambilan data di dua lokasi tersebut mempunyai faktor koreksi kelandaian positif antara 0%-5%. Sedangkan untuk faktor koreksi kekasaran permukaan jalan mempunyai kekasaran dibawah 3 m/km.

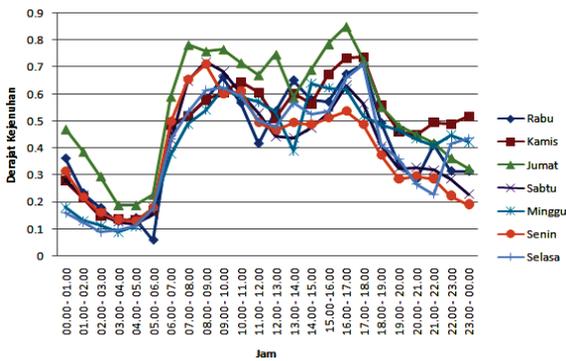
Kemudian berdasarkan hasil perhitungan pada langkah 2, langkah 3, dan langkah 4 metodologi didapatkan hasil derajat kejenuhan seperti yang terlihat pada Gambar 3, Gambar 4 Gambar 5 dan Gambar 6.



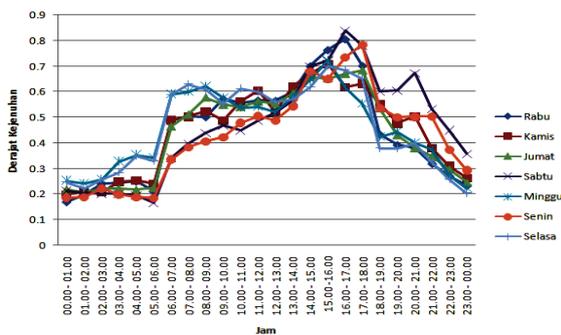
Gambar 3. DS pada 6/2D arah Cikampek



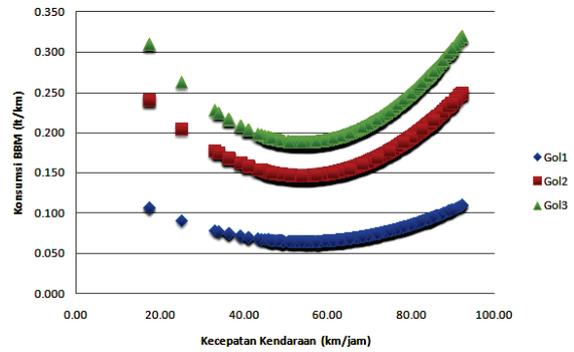
Gambar 4. DS pada 6/2D arah Jakarta



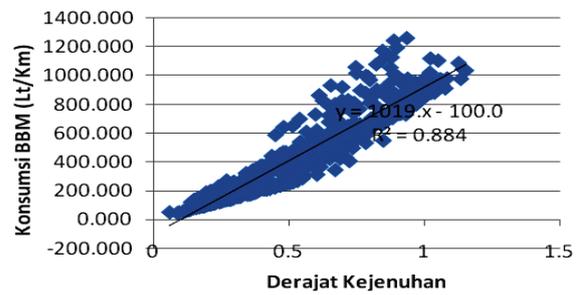
Gambar 5. DS pada 8/2D arah Cikampek



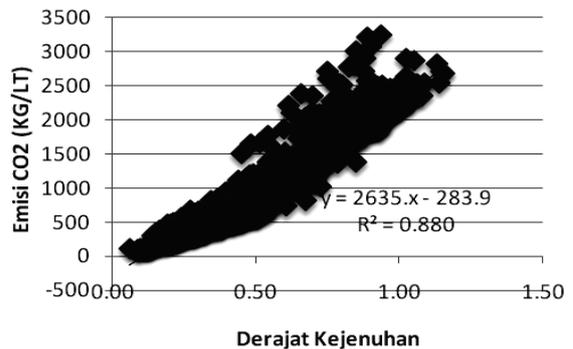
Gambar 6. DS pada 8/2D arah Jakarta



Gambar 7. Hubungan kecepatan kendaraan dan konsumsi BBM



Gambar 8. Hubungan DS dengan konsumsi BBM



Gambar 9. Hubungan DS dan emisi CO<sub>2</sub>

Kemudian untuk hasil perhitungan hubungan kecepatan kendaraan dan kebutuhan BBM pada langkah 5 metodologi, hasil perhitungan per golongan kendaraan dengan menggunakan data di dua lokasi survei baik di Km. 14+200 dan km 58+200 hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 7.

Sedangkan hasil perhitungan pada langkah 6 metodologi antara hubungan derajat kejenuhan dan konsumsi BBM di dua lokasi survei untuk semua golongan dapat dilihat pada Gambar 8.

Terakhir pada langkah 7 hasil perhitungan jumlah emisi kendaraan dan analisa hubungan emisi tersebut dengan derajat kejenuhan dapat dilihat pada Gambar 9.

## PEMBAHASAN

Untuk derajat kejenuhan (DS), dari Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 dapat diketahui bahwa untuk keseluruhan DS di jalan tol Jakarta – Cikampek dalam 24 jam memiliki DS yang fluktuatif. Namun jika dilihat kecenderungannya, mulai dari jam 24.00 sampai dengan jam 06.00 kecenderungan DS rendah, berkisar antara 0,2 sampai 0,4, hal ini dikarenakan aliran kendaraan pada jam tersebut memang sedikit, dan mulai pukul 07.00 terjadi kenaikan DS yang sangat signifikan mencapai 0,6 sampai 1,0 hal ini bertahan sampai kira-kira jam 18.00 yang kemudian DS mengalami penurunan sampai dengan pukul 24.00. Dari hasil tersebut dapat ditarik asumsi bahwa kebutuhan BBM dan dampak emisi yang paling tinggi terjadi antara jam 07.00 sampai dengan jam 18.00. Jika dilihat per arah dari Gambar 3 dan Gambar 5 untuk arah Cikampek, dibandingkan dengan arah Jakarta pada Gambar 4 dan Gambar 5, untuk arah Cikampek lonjakan pada jam 06.00-07.00 terlihat lebih tinggi dari pada arah Jakarta, hal ini berarti bahwa aliran volume kendaraan pada pagi hari yang meninggalkan kota Jakarta lebih banyak jika dibandingkan yang menuju kota Jakarta. Lebih lanjut jika dilihat per hari, maka pada *trend* volume lalu-lintas di semua arah dan semua lokasi hari sabtu dan hari minggu mempunyai kecenderungan DS yang lebih kecil dibandingkan pada hari kerja.

Kemudian untuk hubungan konsumsi BBM terhadap kecepatan kendaraan, dari Gambar 7 konsumsi BBM per kilometer dapat diketahui bahwa dari ketiga golongan kendaraan, golongan tiga merupakan kelompok kendaraan yang menggunakan BBM yang paling tinggi, disusul golongan dua dan golongan satu merupakan kelompok kendaraan dengan kebutuhan BBM yang paling kecil. Namun yang menarik dari Gambar 7 dapat

diketahui bahwa jika kecepatan kendaraan 20 km/jam maka membutuhkan BBM yang tinggi, saat kecepatan kendaraan meningkat sampai 50 km/jam kebutuhan justru BBM berkurang, tapi yang menarik saat kecepatan melebihi 50 km/jam maka kebutuhan BBM juga semakin meningkat, terlihat bahwa hubungan konsumsi BBM dan kecepatan kendaraan adalah non linear.

Lebih lanjut untuk hubungan antara DS dan konsumsi BBM dapat dilihat pada Gambar 8, dari Gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi DS maka semakin tinggi pula kebutuhan BBM, namun perlu digaris bawahi, DS tidak secara langsung berhubungan dengan konsumsi BBM karena DS merupakan perbandingan antara volume dan kapasitas, dimana tidak bisa secara langsung mewakili kecepatan. Parameter kecepatan yang digunakan dalam perhitungan BBM menggunakan kecepatan rata-rata.

Terakhir untuk hubungan antara DS dengan dampak emisi CO<sub>2</sub>, dari Gambar 9 dapat diketahui tipikal hubungan yang serupa dengan Gambar 8, dimana semakin jika nilai DS rendah maka tingkat emisi CO<sub>2</sub> juga rendah, namun jika nilai DS semakin tinggi, maka semakin tinggi pula tingkat emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Dari Gambar 8 dan Gambar 9 dapat diketahui bahwa hubungan antara DS dengan konsumsi BBM serta hubungan DS dengan tingkat emisi memiliki hubungan yang linier.

Perhitungan dan persamaan dari hasil kajian ini perlu digaris bawahi bahwa hasil tersebut dapat diaplikasikan pada ruas jalan tol yang mempunyai karakteristik yang sama dengan karakteristik jalan tol Jakarta – Cikampek yaitu jalan tol antar kota, dengan tipe geometrik 6/2D atau 8/2D, dimana mempunyai alinyemen vertikal yang rata atau data bukan tanjakan atau turunan, mempunyai alinyemen horizontal yang lurus tidak terdapat tikungan yang signifikan. Untuk jalan tol diluar karakteristik tersebut persamaan hubungan DS dan konsumsi BBM perlu dikalikan dengan faktor koreksi. Demikian pula untuk hubungan DS dan emisi CO<sub>2</sub> juga perlu dikalikan faktor emisi.

Persamaan pada Gambar 8 dan persamaan pada Gambar 9 diproyeksikan untuk jalan tol dengan volume lalu lintas yang tinggi dimana hal ini sebagai salah satu langkah mitigasi akibat pertumbuhan kendaraan bermotor yang tinggi, sehingga ruas jalan tol dengan tipe di bawah 6/2D kedepan diasumsikan akan ditingkatkan karena jalan tol dengan tipe tersebut dianggap mempunyai volume yang rendah.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari kajian diatas dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai derajat kejenuhan selama waktu pengambilan data menunjukkan nilai yang naik turun, hal ini terkait volume lalu lintas pengguna jalan tol, dimana terdapat jam-jam tertentu yang mengakibatkan volume lalu lintas maksimum (*peak hours*) yang terjadi pada jalan tol Jakarta – Cikampek berkisar antara jam 07.00 sampai dengan 18.00, dan derajat kejenuhan pada hari sabtu dan minggu mempunyai kecenderungan yang lebih kecil daripada hari senin sampai jumat.
2. Hasil perhitungan dengan uji statistik menghasilkan gambaran bahwa jika nilai derajat kejenuhan tinggi, maka tingkat konsumsi BBM juga tinggi.
3. Hal serupa juga terjadi untuk tingkat derajat kejenuhan tinggi dari hasil analisa statistik diketahui tingkat emisi CO<sub>2</sub> juga tinggi, begitu juga sebaliknya jika tingkat derajat kejenuhan rendah maka tingkat emisi CO<sub>2</sub> juga rendah.
4. Hasil uji statistik menghasilkan hubungan yang linier antara nilai derajat kejenuhan dengan tingkat konsumsi BBM dengan persamaan  $Konsumsi\ BBM = 1019.ds - 100.0$  dengan  $R^2 = 0.884$ . Sedangkan hasil uji statistik tingkat emisi CO<sub>2</sub> dengan derajat kejenuhan persamaan  $Emisi\ CO_2 = 2635.ds - 283.9$  dengan  $R^2 = 0.88$ , dimana DS adalah derajat kejenuhan, dengan syarat untuk jalan tol dengan alinyemen jalan datar, dengan karakteristik jalan antar kota dan geometrik jalan 6/2D dan 8/2D.

### Saran

Dari hasil kajian diatas saran yang dapat diberikan adalah:

1. Data yang digunakan pada kajian ini adalah data dari aplikasi *Video Image Processing*, walaupun telah dilakukan kalibrasi namun untuk lebih memperkuat hasil kajian perlu dibandingkan dengan menggunakan data perhitungan manual untuk mengetahui kevaliditasannya.
2. Analisa perhitungan konsumsi BBM perlu validasi dengan menggunakan metode atau model yang lain
3. Dikemudian hari, penggunaan faktor emisi kendaraan diharapkan menggunakan faktor emisi dengan data yang lebih mutakhir.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Data yang digunakan pada kajian ini merupakan bagian dari kerjasama antara PT. Jasamarga dengan Pusjatan dalam studi *occupancy lane* dan tingkat pelayanan jalan tol. Terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang terkait dengan pelaksanaan pekerjaan tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, Vera Surtia. 2011. *Kajian Hubungan Antara Variasi Kecepatan Kendaraan Dengan Emisi Yang Dikeluarkan Pada Kendaraan Bermotor Roda Empat*, Padang: Universitas Andalas.
- Dedy, Yohanes dan Sagara, Venpri 2008. *Taksiran tarif tol dan tingkat efektivitas kebijakan berdasarkan permintaan transportasi antar kota Dengan menggunakan teknik pilihan pernyataan (stated preference technique): Studi kasus pada rencana pembangunan jalan tol Semarang-Solo*. Semarang: Jurusan Teknik Sipil Undip.
- Handajani, Mudjiastuti 2012. "The Fuel Consumption and Non Linear Model Metropolitan and Large City Transportation System", *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 69 : 1279-1286.
- Indonesia. Kementerian Pekerjaan Umum. Ditjen Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan*

- Indonesia (MKJI)*. Jakarta: Sweroad-PT. Bina Karya.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005 Tentang Jalan Tol*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- \_\_\_\_\_, Kementerian Lingkungan Hidup, 2010. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12 tahun 2010 tentang Pedoman Inventarisasi data mutu udara ambient dan sumber pencemar udara*, Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- \_\_\_\_\_. 2011. *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 71 Tahun 2011 Tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional* . Jakarta: Pemerintah republik Indonesia.
- Iskandar, Hikmat. 2012. Kapasitas Dasar Jalan Bebas Hambatan. *Jurnal Jalan dan Jembatan*. 29(1) : 13-25.
- Nur, Yusratika, Puji Lestari, Iga Utari. 2010. *Inventori emisi gas rumah kaca (co2 dan ch4) Dari sektor transportasi di DKI Jakarta berdasarkan konsumsi bahan bakar*. Bandung: Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB.
- Syaukani, Ahmad, Abdul majid ismail, Dwira aulia, Rahmad Dian (2005) *Kajian pengaruh perumahan terhadap tingkat pelayanan jalan studi kasus perumahan setiabudi indah Medan*. *Jurnal Arsitektur ATRIUM* vol. 02 no. 02, 2005: 9-18