

ESTIMASI EMISI GAS RUMAH KACA DARI OPERASIONAL BUS RAPID TRANSIT (BRT) BERDASARKAN MODEL INTERNATIONAL VEHICLE EMISSION SERTA POTENSI REDUKSI EMISI DARI OPERASIONAL BRT DI KOTA SEMARANG

Annisa Luthfia Ulfa^{*)}, Haryono Setiyo Huboyo^{**)}, Budi Prasetyo Samadikun^{**)}

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Email: nisaalu@gmail.com

Abstrak

Transportasi didefinisikan sebagai kegiatan memindahkan atau mengangkut sesuatu dari suatu tempat ke tempat lain. Jumlah transportasi yang semakin meningkat menimbulkan dampak negatif berupa pencemaran udara. Salah satu transportasi umum yang sering digunakan di Kota Semarang adalah Bus Trans Semarang. Transportasi tersebut tentu menghasilkan pencemar udara, salah satunya adalah gas rumah kaca. The International Vehicle Emission (IVE) adalah model komputer yang dirancang untuk memperkirakan emisi dari kendaraan bermotor. Model ini memperkirakan polutan udara lokal, emisi gas rumah kaca, dan polutan beracun. Emisi dari Model IVE didapatkan dari karakteristik kendaraan, kecepatan kendaraan, suhu dan kelembaban lokasi uji, jumlah kendaraan dan sebagainya. Hasil emisi model IVE terbagi menjadi 2 yaitu emisi running dan emisi start-up. Hasil dari penelitian adalah emisi CO₂ merupakan emisi paling besar yaitu 4780,75 ton/tahun untuk emisi running dan 3,84 ton/tahun untuk emisi start-up. Sedangkan emisi running N₂O hanya sebesar 0,35 ton/tahun dan 0,0022 ton/tahun untuk emisi start-up. Tidak ada emisi CH₄ yang dihasilkan dalam penelitian ini atau hasilnya adalah nol. Emisi yang dihasilkan oleh BRT sebenarnya lebih sedikit daripada kendaraan pribadi dengan jumlah orang yang sama. Hal tersebut dapat menjadi dasar untuk mengetahui potensi reduksi emisi dengan penggunaan transportasi umum seperti BRT. Potensi reduksi emisi gas rumah kaca dari operasional BRT Trans Semarang dihitung berdasarkan metode Tier 1 yaitu menggunakan data aktivitas dan faktor emisi. Kemudian potensi reduksi didapatkan dari selisih emisi BRT per unit per trip per koridor dengan emisi kendaraan pribadi responden yang telah berpindah ke BRT. Hasil potensi reduksi emisi CO₂ sebesar 958,25 g; N₂O 13,59 g; dan CH₄ 13,90 g untuk koridor I. Sedangkan untuk koridor II, potensi reduksi emisi CO₂ sebesar 979,78 g; N₂O 14,21 g; dan CH₄ 16,23 g.

Kata kunci: GRK, IVE, potensi reduksi emisi

Abstract

[*Estimation of Green House Gas Emission from The Operational of Bus Rapid Transit (BRT) based on International Vehicle Emission Model and Emission Reduction Potention from the BRT Operational in Semarang City*]. Transportation is defined as moving or transporting something from one place to another place. Increasing amount of transportation is create negative impact such as air pollution. Bus Trans Semarang is one of public transportation that people often used in Semarang. That transportation must produce air pollution such as greenhouses emission. The International Vehicle Emission (IVE) is a program that designed to estimate emission from vehicle. IVE is calculating emissions inventory of criteria, toxic pollutants, and greenhouses gases emission from vehicle. Vehicle's characteristics are used for calculate emission from IVE models. Emission result of running program are the greatest emission come from CO₂ 4780,75 ton/year for running emission and 3,84 ton/year for start-up emission. While N₂O has 0,35 ton/year for running emission and 0,0022 ton/year for start-up emission. There is no emission for CH₄. Emission produced by BRT is actually less than privat vehicle with the same number of people. It can be the basis to determine the potential for emission reductions. The potential reduction of greenhouse gas emissions from BRT operations

calculated based on Tier 1 method that using activity data and emission factors. Then, the potential reduction is obtained from the difference between BRT emissions per unit per trip per corridor with privat vehicle emissions respondents who have shifting to BRT. The result of the potential reduction is 958,25 g from CO₂; 13,59 g from N₂O; and 16,23 g from CH₄.

Keywords: GRK, IVE, the potential for emission reductions.

PENDAHULUAN

Transportasi didefinisikan sebagai kegiatan memindahkan atau mengangkut sesuatu dari suatu tempat ketempat lain (Morlok, 1978). Kebutuhan transportasi yang semakin meningkat menimbulkan dampak negatif berupa pencemaran udara. Pemanasan global merupakan isu internasional yang hangat dibicarakan. Salah satu pemicu terjadinya pemanasan global adalah pencemaran udara akibat keberadaan gas-gas penyebab efek rumah kaca seperti CO₂, CH₄ dan N₂O di atmosfer, baik yang berasal dari aktivitas manusia maupun dari sumber alami. Kendaraan bermotor menghasilkan zat-zat pencemar udara yang dapat membahayakan kesehatan dan kesejahteraan manusia serta lingkungan hidup. Salah satunya pencemar yang dihasilkan kendaraan bermotor adalah gas-gas rumah kaca (CO₂, CH₄ dan N₂O).

Menurut Asosiasi Transportasi Publik Amerika (APTA) tahun 2014, transportasi umum di Amerika Serikat menghemat sekitar 1,4 miliar galon bensin dan sekitar 1,5 juta ton karbon dioksida per tahun. Namun hanya 14 juta orang Amerika menggunakan transportasi umum setiap hari, sementara 88 persen dari seluruh perjalanan di Amerika Serikat yang dibuat dengan mobil dan banyak mobil hanya membawa satu orang. Oleh karena itu diperlukan survey kepada pengguna BRT untuk mengetahui jumlah orang yang berpindah dari kendaraan pribadi ke BRT. Data tersebut kemudian dapat menjadi dasar untuk mengetahui potensi reduksi emisi khususnya gas rumah kaca.

The International Vehicle Emission (IVE) adalah model komputer yang dirancang untuk memperkirakan emisi dari kendaraan bermotor. Model ini memperkirakan polutan udara lokal, emisi gas rumah kaca, dan polutan beracun. Estimasi emisi menggunakan model IVE akan membantu perkotaan dalam menyusun strategi penanggulangan dan

rencana transportasi yang dianggap efektif, memperkirakan dampak terhadap kondisi emisi lokal dari strategi penanggulangan yang berbeda, dan melakukan pengukuran kemajuan dalam upaya penurunan emisi dari waktu ke waktu. Sedangkan potensi reduksi gas rumah kaca dari berpindahnya penggunaan kendaraan pribadi ke BRT dapat membantu perkotaan memperbaiki transportasi umum untuk mengurangi emisi yang dihasilkan. Oleh karena itu penelitian Model IVE terhadap emisi gas rumah kaca (CO₂, CH₄, dan N₂O) dari operasional BRT serta potensi reduksi emisi dari operasional BRT di Kota Semarang perlu dilakukan.

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu penelitian yaitu antara bulan November-Desember 2016. Lokasi penelitian adalah di beberapa ruas jalan di Kota Semarang dan 4 koridor BRT serta 2 *shelter* persimpangan. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara *Parking Lot Survey* yaitu melakukan *interview* kepada BRT yang sedang berhenti di beberapa *pool area* BRT di Kota Semarang dan kepada pengguna bus BRT di 4 koridor BRT serta 2 *shelter* persimpangan. Pertanyaan yang disampaikan pada saat *interview* adalah mengenai data-data yang akan diinput ke dalam aplikasi Model IVE dan data-data yang akan diolah menjadi potensi reduksi berdasarkan lembar kuesioner.

Analisis data terbagi menjadi 2 yaitu perhitungan emisi gas rumah kaca dengan IVE Model dan perhitungan potensi reduksi emisi gas rumah kaca.

1. Melalui data distribusi teknologi kendaraan, data aktivitas kendaraan berupa kecepatan dan *altitude*, serta data jumlah *start-up* kendaraan, maka dapat diolah dalam Model *International Vehicle Emission* untuk mendapatkan besaran emisi gas rumah kaca. Setelah mendownload model dan data,

kemudian dilakukan penginputan dan pengolahan data.

Data berupa jenis kendaraan, jenis bahan bakar, *weight* kendaraan, *air fuel control*, tipe gas buang, *evaporative control*, dan odometer kendaraan dikelompokkan kemudian dihitung jumlahnya dalam fraksi. Fraksi tersebut yang diinput ke dalam *Fleet File Template*. Data jumlah *start-up* kendaraan dan data aktivitas kendaraan berupa kecepatan kemudian diolah untuk dapat diinput ke dalam *Location Fleet Template*.

Selain nilai *bin* tersebut, data yang diinput adalah *latitude*, *longitude*, dan *altitude* lokasi penelitian; kandungan sulfur dan benzene pada bahan bakar yang digunakan kendaraan uji; jumlah armada kendaraan yang akan dihitung emisinya; *Vehicle Kilometers Travelled* atau VKT; jumlah *start-up* kendaraan tiap harinya; dan data rata-rata temperatur dan kelembaban lokasi uji per jam selama pengambilan sampel. Kedua template tersebut kemudian disimpan dalam bentuk Text (MS-DOS) dan disimpan ke dalam folder IVE data (folder secara otomatis didapatkan pada saat men-download aplikasi).

Aplikasi Model IVE secara otomatis akan membaca *file* yang tersimpan dalam folder IVE Data ketika aplikasi dibuka. Pada aplikasi tersebut terdapat 4 *tab* yaitu *calculation*, *location*, *fleet* dan *base adjustment*. Data dari *Fleet File Template* secara otomatis telah terbaca pada *tab Fleet*, begitu pula pada *tab Location* sudah terbaca data dari *Location Fleet Template*. Emisi didapatkan pada *tab calculation*, caranya adalah dengan menambahkan data dari *available locations* ke *calculate locations* kemudian pilih *display hour* dan klik *calculate one hour*. Emisi yang didapatkan berupa emisi *start-up hour* dan emisi *running hour*.

2. Melalui data jumlah responden yang melakukan *shifting* dari kendaraan pribadi ke BRT tiap koridor, jarak antar halte, aktivitas kendaraan, konsumsi bahan bakar kendaraan dan faktor emisi bahan bakar dapat diperoleh emisi dari BRT dan emisi dari kendaraan pribadi responden yang melakukan *shifting*. Selisih kedua emisi tersebut adalah potensi reduksi

emisi. Emisi gas rumah kaca dihitung berdasarkan metode Tier 1 yaitu konsumsi bahan bakar dikalikan faktor emisi.

Konsumsi bahan bakar (liter/km) didapatkan dari rumus fungsi konstanta dengan menggunakan kecepatan rata-rata kendaraan.

Tabel 1 Rata-Rata Konsumsi Bahan Bakar per Hari Tiap Kendaraan

Jenis Kendaraan	Rata-rata Konsumsi Bahan Bakar per Hari (Liter/Km)
Mobil Penumpang	0,13
Sepeda Motor	0,05
Bus Kecil/Angkot	0,13
Bus Sedang	0,18
Bus Besar	0,33

Sumber: PEP Pelaksanaan GRK, 2012

Sedangkan faktor emisi dari parameter gas rumah kaca dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2 Faktor Emisi CO₂, N₂O dan CH₄

Jenis Bahan Bakar	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Premium	69,3	0,0032	0,033
Solar	74,1	0,003	0,0039

Sumber: IPCC, 2006

Emisi kendaraan dihitung berdasarkan metode Tier 1. Berdasarkan metode tersebut, emisi didapatkan dengan mengalikan konsumsi bahan bakar dalam liter dengan faktor emisi bahan bakar yang digunakan. Emisi BRT yang didapatkan dalam *weekday* dan *weekend* kemudian dirata-rata dan mendapatkan emisi BRT per unit per trip. Emisi masing-masing kendaraan responden yang melakukan *shifting* kemudian dijumlahkan dan menjadi emisi total.

Kedua emisi yang didapatkan diatas kemudian dihitung selisihnya. Selisih kedua emisi tersebut merupakan potensi reduksi emisi yang dihasilkan saat masyarakat berpindah menggunakan transportasi umum khususnya BRT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Klasifikasi Karakteristik Kendaraan

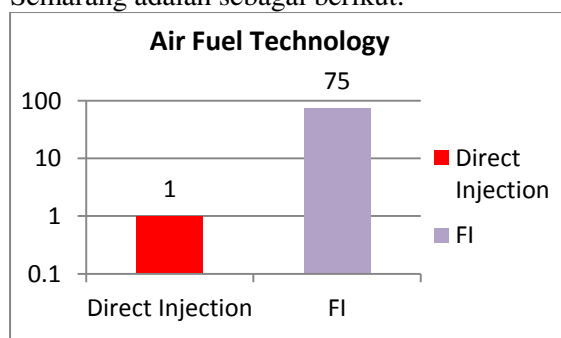
Klasifikasi karakteristik kendaraan dibutuhkan untuk perhitungan emisi menggunakan model IVE.

- Karakteristik Jenis Bahan Bakar

BRT Trans Semarang yang tersurvei sebanyak 76 unit armada, semuanya berbahan bakar solar. Menurut (James Lents, dkk) sebuah studi mengenai Emisi dari Operasional Kendaraan Diesel di San Paulo, Brazil dan Mexico tahun 2007, mengatakan bahwa emisi dari kendaraan berbahan bakar diesel sangat berkontribusi penting terhadap penurunan kualitas udara di daerah perkotaan. Partikulat diesel dianggap menjadi karsinogenik atau memungkinkan sebagai karsinogen di United States.

- Karakteristik Jenis Mesin

Data BRT Trans Semarang akan dibedakan berdasarkan jenis mesinnya yaitu karburator atau injeksi. Hasil survei dari 76 unit BRT, semuanya berjenis mesin injeksi. Menurut Daimler Chrysler (2000) dalam buku Sistem Injeksi Bahan Bakar Diesel diedisi I, *Air Fuel Technology* untuk mesin injeksi berbahan bakar solar yaitu mesin diesel terbagi menjadi 2 jenis. Kedua jenis tersebut adalah *Direct Injection* dan *FI (Fuel Injection)*. Jenis *Direct Injection* diterapkan pada kendaraan dibawah tahun 2000. Sedangkan, jenis mesin *Fuel Injection* diterapkan untuk kendaraan yang tahun pembuatannya diatas tahun 2000. Klasifikasi jenis mesin untuk BRT Trans Semarang adalah sebagai berikut.



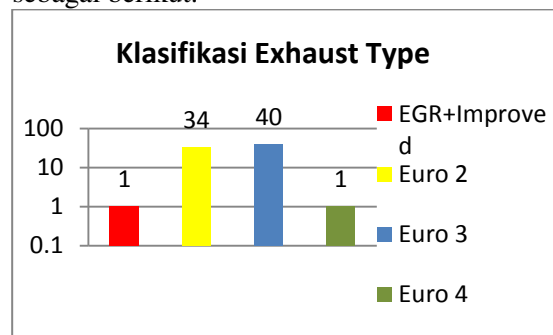
Gambar 1 Klasifikasi *Air Fuel Technology*

- Klasifikasi Tipe Gas Buang (Exhaust Type)

Penerapan standar Euro-2 di Indonesia diatur dalam Kepmen LH No. 141 Tahun 2003, Indonesia menerapkan standar Euro 2 mulai Januari 2005 untuk kendaraan sepeda motor 4 tak mulai tahun 2006 dan kendaraan roda empat dan motor 2 tak mulai 2007.

Namun, menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 23 Tahun 2012 tentang perubahan atas peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 10 Tahun 2012 tentang baku emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru kategori L3, menjelaskan bahwa mulai 1 Agustus 2013 Indonesia mulai menerapkan standar Euro 3.

Jadi dapat disimpulkan bahwa BRT Trans Semarang yang diproduksi diatas Agustus 2013 menerapkan standar Euro 3, sedangkan kendaraan umum bus yang diproduksi antara Januari 2007 sampai Agustus 2013 menerapkan euro 2. Kemudian, khusus untuk kendaraan umum bus model *mercedes benz* termasuk kategori euro 4 karena tidak diproduksi di Indonesia melainkan di salah satu negara di Eropa. Selain penggunaan Euro 2, 3 dan 4, Indonesia masih memiliki kendaraan pre-euro atau belum dapat memenuhi standar euro yang ada. Klasifikasi tipe gas buang BRT Trans Semarang adalah sebagai berikut.



Gambar 2 Klasifikasi Tipe Gas Buang

- Klasifikasi Umur Kendaraan

Rata-rata umur kendaraan BRT adalah 3,11 tahun dan VKT rata-rata BRT Trans Semarang yang didapatkan dari perhitungan tersebut adalah 113,58 km/hari.

- Klasifikasi Jarak Tempuh Kendaraan

Pembagian jarak tempuh kendaraan dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 3 Klasifikasi Jarak Tempuh Kendaraan

<i>Air/Fuel Control</i>	<i>Exhaust Control</i>	Jarak Tempuh Kendaraan	Jumlah
<i>Direct Injection</i>	<i>EGR+Improved</i>	>161k Km	1

Air/Fuel Control	Exhaust Control	Jarak Tempuh Kendaraan	Jumlah
FI	Euro 2	<79k km	2
		>161k Km	32
	Euro 3	<79k km	17
		80-161k km	20
		>161k Km	3
	Euro 4	>161k Km	1
Total			76

- Klasifikasi Jumlah *Start-up* Kendaraan
Berdasarkan *interview* dengan pengendara BRT, bus melakukan *start up* sebanyak satu kali dalam sehari baik pada waktu *weekday* maupun *weekend* dan dilakukan pada saat mulai beroperasi pukul 05.00.

2. Volume Kendaraan

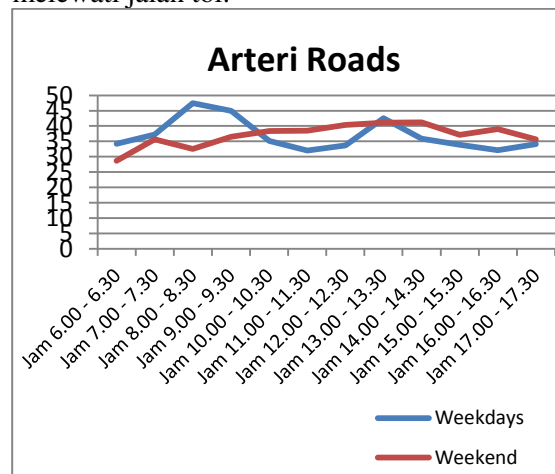
Volume kendaraan untuk setiap ruas persimpangan jalan yang ada di Kota Semarang berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh rute bus umum yang melintas dan waktu. Volume kendaraan yang digunakan dalam studi penelitian ini dihitung dari jumlah kendaraan di beberapa simpang di Kota Semarang.

Tabel 4 Simpang Perhitungan Volume Jalan

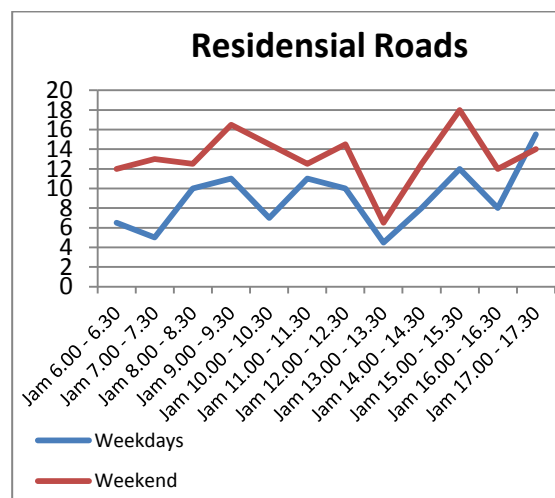
Nama Simpang	Klasifikasi Jalan
Simpang Banyumanik	Arteri
Simpang Tugu Muda	Arteri
Simpang Fatmawati	Arteri
Simpang Bangkong	Arteri
Simpang Krapyak 1	Arteri
Simpang Krapyak 2	Highway
Simpang Polda	Residensial

Sedangkan rata-rata volume kendaraan tiap klasifikasi jalan pada *weekdays* dan *weekend* dapat dilihat pada gambar berikut. Klasifikasi jalan *highway* yang ada di simpang krapyak, volume kendaraan bus tidak ada atau sama dengan nol. Hal tersebut dikarenakan

tidak ada bus dalam kota semarang yang melewati jalan tol.



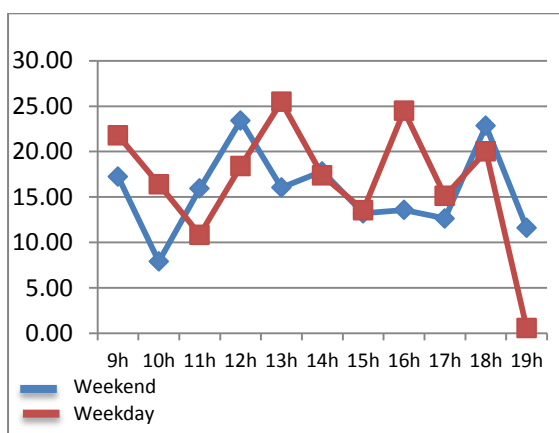
Gambar 3 Volume Rata-Rata Jalan Arteri



Gambar 4 Volume Rata-Rata Jalan Residensial

3. Kecepatan Kendaraan

Perhitungan emisi gas rumah kaca dengan IVE Model, selain membutuhkan data distribusi teknologi juga membutuhkan data lain seperti kecepatan kendaraan. Kecepatan BRT Trans Semarang didapatkan dari menggunakan GPS *Global Sat DG-100* dan GPS *Data Logger*. Dari data kecepatan kendaraan tersebut didapatkan kecepatan rata-rata dalam tiap jam operasi bus. Kecepatan rata-rata (*V Average*) sangat mempengaruhi hasil emisi *running* yang dihasilkan model IVE. Rata-rata kecepatan total pada saat *weekdays* adalah 15,05 m/s, sedangkan *weekend* 12,30 m/s.



Gambar 4 Grafik VKT BRT

4. Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Berdasarkan International Vehicle Emission Model

Menurut (James Lents, dkk) sebuah studi mengenai Emisi dari Operasional Kendaraan Diesel di San Paulo, Brazil dan Mexico tahun 2007, model IVE didesain untuk membuat estimasi dari emisi kendaraan yang digunakan di berbagai daerah perkotaan global. Beberapa data perlu diinput sebelum me-running IVE Model. Data distribusi kendaraan diinput ke dalam *Fleet File Template*.

Data kecepatan kendaraan yang telah diolah menjadi nilai bin; *latitude*, *longitude*, dan *altitude* lokasi penelitian; kandungan sulfur dan benzene pada bahan bakar yang digunakan kendaraan uji; jumlah armada kendaraan yang akan dihitung emisinya; *Vehicle Kilometers Travelled* atau VKT; jumlah start-up kendaraan tiap harinya; dan data rata-rata temperatur dan kelembaban lokasi uji per jam selama pengambilan sampel diinput ke dalam *Location Fleet Template*.

Kedua template tersebut kemudian disimpan dalam bentuk Text(MS-DOS) dan disimpan ke dalam folder IVE data (folder secara otomatis didapatkan pada saat men-download aplikasi). Emisi yang dihitung oleh IVE Model terbagi menjadi 2 yaitu emisi *running* dan emisi *start-up*. Hasil emisi yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 5 Emisi GRK BRT dalam Setahun

	Emisi Start-up (ton/tahun)	Emisi Running (ton/tahun)
CO ₂	3,84	4780,75
N ₂ O	0,0022	0,35
CH ₄	0	0

5. Perhitungan Potensi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca

Penggunaan BRT ini sendiri sebenarnya dapat menjadi alternatif sebagai pengurangan emisi kendaraan pribadi. Dalam penelitian ini akan dihitung emisi dari BRT tiap trip koridor I dan II karena kedua koridor tersebut adalah dua koridor terpadat, serta emisi dari penggunaan kendaraan pribadi responden sebelum menggunakan BRT. Kedua emisi tersebut akan dikurangi dan hasilnya menjadi potensi reduksi atau emisi yang tereduksi. Perhitungan emisi dalam perhitungan potensi reduksi ini menggunakan metode Tier 1 dengan menggunakan pendekatan data aktivitas berupa konsumsi bahan bakar tiap jenis kendaraan. Konsumsi bahan bakar didapatkan dari perhitungan fungsi konstanta berdasarkan jenis kendaraan.

Tabel 6 Fungsi Konstanta Berdasarkan Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Fungsi Konstanta
PC (private car)	$y = 7E-05x^2 - 0,0077x + 0,2579$
MC (motorcycle)	$y = 1E-05x^2 - 0,0009x + 0,0601$
SB (small bus)	$y = 3E-05x^2 - 0,0029x + 0,1285$
MB (medium bus)	$y = 5E-05x^2 - 0,0056x + 0,2961$
Patas-AC, LB (large bus)	$y = 3E-05x^2 - 0,0029x + 0,1533$
S/MT (small/medium truck)	$y = 5E-05x^2 - 0,0053x + 0,2771$
LT (large truck)	$y = 5E-05x^2 - 0,006x + 0,3147$

Sumber: PEP Pelaksanaan GRK, 2012

Perhitungan kecepatan dilakukan dengan menggunakan GPS *Global Sat DG-100* dan GPS *Data Logger*. BRT yang dihitung kecepatannya masing-masing 2 bus pada tiap koridor. Masing-masing bus diukur kecepatannya selama 4 hari, 2 hari *weekdays* dan 2 hari *weekend*. Bus 1 dan bus 2 merupakan BRT koridor II yang mewakili rute dari Semarang bagian utara ke selatan, sedangkan bus 3 dan 4 merupakan BRT koridor I yang mewakili rute dari Semarang

bagian timur ke utara. Kecepatan rata-rata koridor I untuk *weekday* adalah 14,15 km/jam dan *weekend* 17,81 km/jam. Sedangkan kecepatan rata-rata koridor II untuk *weekday* adalah 16,04 km/jam dan *weekend* 13,91 km/jam.

Setelah konsumsi bahan bakar (liter/km) dihitung berdasarkan rumus fungsi konstanta dengan data kecepatan kendaraan seperti diatas, kemudian dikalikan dengan jarak agar satuannya menjadi liter. Perhitungan beban emisi Tier 1 menggunakan metode perhitungan dengan pendekatan konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bakar dan tipe kendaraan kemudian dikalikan dengan faktor emisi berdasarkan jenis bakar dan tipe kendaraan.

$$\text{Emission} = \text{Data aktivitas} \times \text{faktor emisi} \\ = [\text{Fuel a,b} \times \text{FE a,b}]$$

Dimana,

Emission = Beban emisi polutan tertentu (g)

Fuel a,b = konsumsi bahan bakar jenis a (l)

FE a = faktor emisi (g/l)

a = jenis bahan bakar (seperti premium, solar)

b = tipe kendaraan

Tabel 7 Hasil Emisi GRK Koridor I dan II

	Konsumsi bahan bakar (lt/km)	Konsumsi bahan bakar (liter)	Emisi (g)		
			CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Week day	0,12	3,28	242,76	2,93	0,32
Week end	0,11	3,08	228,18	2,75	0,30
Rata-rata Emisi Koridor I			235,47	2,84	0,31
Week day	0,22	5,71	423,03	5,20	0,56
Week end	0,23	5,94	439,87	5,31	0,58
Rata-rata Emisi Koridor II			862,89	5,26	0,57

Sedangkan emisi kendaraan pribadi responden yang melakukan shifting ke BRT juga dilakukan perhitungan yang sama. Kecepatan rata-rata kendaraan pribadi (motor) adalah 14,80 km/jam. Jarak tiap responden berbeda-beda tergantung halte awal dan halte akhirnya.

Tabel 8 Hasil Emisi GRK Kendaraan Pribadi

Koridor	Total Emisi CO ₂ (g)	Total Emisi N ₂ O (g)	Total Emisi CH ₄ (g)
I	1193,72	16,43	14,21
II	1411,23	19,42	16,80

Potensi reduksi emisi gas rumah kaca adalah selisih dari rata-rata emisi *weekday* dan *weekend* BRT per unit per trip per koridor dengan emisi total kendaraan pribadi pengguna BRT yang melakukan *shifting*.

Tabel 9 Potensi Reduksi Emisi

Koridor	Total Emisi CO ₂ (g)	Total Emisi N ₂ O (g)	Total Emisi CH ₄ (g)
I	958,25	13,59	13,90
II	979,78	14,21	16,23

KESIMPULAN

1. Karakteristik Bus Rapid Transit (BRT) Trans Semarang adalah sebagai berikut.

- Karakteristik Jenis Bahan Bakar
Kendaraan umum BRT Trans Semarang semuanya berbahan bakar solar yang memiliki kontribusi sangat penting terhadap penurunan kualitas udara di daerah perkotaan.
- Karakteristik Jenis Mesin
Kendaraan umum BRT Trans Semarang memiliki dua jenis mesin yaitu Direct Injection dan FI/Fuel Injection. BRT yang termasuk Direct Injection hanya satu unit, sisanya sebanyak 75 unit merupakan Fuel Injection.
- Klasifikasi Tipe Gas Buang (Exhaust Type)
Kendaraan umum BRT Trans Semarang memiliki 4 exhaust type yaitu EGR+Improved, Euro 2, Euro 3, dan Euro 4. BRT yang memiliki tipe gas buang EGR+Improved hanya 1 unit, euro 2 sebesar 34 unit, euro 3 sebesar 40 unit, dan euro 4 hanya 1 unit.
- Klasifikasi Umur Kendaraan
Umur kendaraan umum BRT Trans Semarang memiliki rata-rata 3,11 tahun dan VKT atau Vehicle

- Kilometers Travelled sebesar 113,58 km/hari.
- Klasifikasi Jarak Tempuh Kendaraan
Jarak tempuh kendaraan umum BRT Trans Semarang <79000 km sebanyak 19 unit, sedangkan jarak tempuh antara 80000-161000 km sebanyak 20 unit, dan yang paling banyak adalah jarak tempuh lebih dari 161000 km yaitu sebanyak 37 unit.
 - Klasifikasi Jumlah Start-up
Kendaraan umum BRT Trans Semarang memiliki jumlah start-up hanya satu kali dalam satu hari baik pada saat weekday maupun weekend yaitu mulai awal operasi pukul 05.00.
2. Emisi gas rumah kaca dari operasional BRT Trans Semarang berdasarkan model IVE dibagi menjadi 2 emisi yaitu emisi start-up dan emisi running. Emisi start-up sangat dipengaruhi oleh banyaknya start-up kendaraan dalam satu hari. Sedangkan emisi running sangat dipengaruhi oleh data Vehicle Spesific Power (VSP). Selain data-data tersebut, terdapat data lain yang juga memiliki pengaruh seperti data distribusi teknologi BRT, VKT, jumlah armada BRT, dan rata-rata kelembaban dan suhu Kota Semarang per jam dalam satu bulan. Hasilnya, emisi CO₂ merupakan emisi paling besar yaitu 4780,75 ton/tahun untuk emisi running dan 3,84 ton/tahun untuk emisi start-up. Sedangkan emisi running N₂O hanya sebesar 0,35 ton/tahun dan 0,0022 ton/tahun untuk emisi start-up. Tidak ada emisi CH₄ yang dihasilkan dalam penelitian ini atau hasilnya adalah nol.
 3. Potensi reduksi emisi gas rumah kaca dari operasional BRT Trans Semarang berdasarkan metode Tier 1 yaitu menggunakan data aktivitas dan faktor emisi didapatkan dari selisih emisi BRT per trip per koridor dengan emisi kendaraan pribadi responden yang telah berpindah ke BRT. Hasil potensi reduksi emisi CO₂ sebesar 958,25 g; N₂O 13,59 g; dan CH₄ 13,90 g untuk koridor I. Sedangkan untuk koridor II, potensi reduksi emisi CO₂ sebesar 979,78 g; N₂O 14,21 g; dan CH₄ 16,23 g.

SARAN

1. Penelitian ini perlu dikembangkan untuk perhitungan beban emisi dari kendaraan pribadi yang melakukan shifting ke BRT pada koridor III dan IV.
2. Penelitian ini perlu dikembangkan untuk pengambilan data pada koridor dan shelter persimpangan BRT pada waktu yang terpisah pagi dan sore agar emisi yang dihitung dapat lebih akurat.
3. Perlu ketelitian dalam mengumpulkan data di lapangan dan perhitungan dalam pengerjaan laporan untuk mengurangi human error yang mungkin saja dapat terjadi.
4. Perlu adanya perbaikan fasilitas transportasi umum khususnya Bus Rapid Transit (BRT) Trans Semarang seperti penambahan halte, rute, dan lain-lain agar semakin banyak masyarakat yang memilih menggunakan transportasi umum supaya emisi dari kendaraan dapat berkurang dan potensi reduksi emisi main bertambah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim E. 2016. *Kota Semarang dalam Angka 2016*. Pemerintah Kota Semarang, Semarang.
- Anonim G. 2003. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 141 Tahun 2003 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dan Kendaraan Bermotor Tipe Baru dan Kendaraan Bermotor yang Sedang Diproduksi (Current Production). http://hukum.unsrat.ac.id/lh/menlh_14_1_2003.pdf. Diakses pada 20 Januari 2017.
- Anonim H. 2012. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2012 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 10 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori L3. http://www.menlh.go.id/DATA/permen_23_2002.pdf. Diakses 23 Januari 2017.
- DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors

- Corporation. (2000). *Potential Failure Mode & Effects Analysis For Tooling & Equipment: Reference Manual Uncertainty* [electronic version].
- Haworth, Narele and Mark Symmons. 2001. *The relationship between fuel economy and safety outcomes*. Monash University, Canberra.
- Husein Umar, 2003, *Metodologi Penelitian Untuk Skripsi dan Tesis Bisnis*, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka.
- IPCC. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme*. IGES, Japan.
- ISSRC. 2008. IVE Model Users Manual Version 2.0. Diakses pada 17 Agustus 2016, from <http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual.pdf>.
- JICA. 2004. *Study of Integrated Transportation Master Plan for Jabodetabek* (SITRAM Phase II).
- Karthikeyan, Senthilkumara, C., & Ganesan, G., 2013, Influence of Input Parameters on Characteristics of Electro Chemical Machining Process, *International Journal of Applied Science and Engineering*, no. 11, vol. 1, pp. 13-24.
- Katara, Prashant. 2013. *Review Paper on Catalytic Converter for Automobile Exhaust Emission*. India: Departement of Mechanical Engineering National Institute of Technology Raipur.
- Kementrian Perencanaan Pembangunan Nasional. 2012. *Petunjuk Teknis Pemantauan, Evaluasi dan Pelaporan (PEP) Pelaksanaan RAD-GRK*. Jakarta: Kementrian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Lents, J., Nickila, N., Davis, N., Canada, M., Martinez, H., Osses, M., dan Tolvet, S. 2007. *A Study of the Emissions from Diesel Vehicle Operating in Sao Paulo, Brazil and Mexico City, Mexico*. University of Chile.
- Miller, V. 2014. *Public Transportation is Leading the Way in Green Vehicles*. American Public Transport Association (APTA), viewed 22 September 2016.
- Morlok, E. K. 1988. *Introduction to Transport Engineering and Planning didalam Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi : Johan K. Hainim (Penerjemah) cetakan Tahun 1985*. Jakarta : Erlangga.
- Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wark, Kenneth and Warner, Cecil F. 1981. *Air pollution Its Origin and Control*, Harrper & Row. New York.
- Warpani, Suwardjoko. 1990. *Merencanakan Sistem Perangkutan*. Bandung: Penerbit ITB.