

## ESTIMASI EMISI PENCEMAR UDARA KONVENSIONAL ( $SO_x$ , $NO_x$ , CO, DAN PARTIKULAT) TRANSPORTASI UMUM BERDASARKAN METODE *INTERNATIONAL VEHICLE EMISSION* DI BEBERAPA RUAS JALAN KOTA SEMARANG

Latifah Herdian Chaerunnisa<sup>\*)</sup>, Budi Prasetyo Samadikun<sup>\*\*)</sup>, Haryono Setiyo Huboyo<sup>\*\*)</sup>  
Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Email: latifaherdian@gmail.com

### Abstrak

Transportasi merupakan kebutuhan penting untuk menunjang kebutuhan hidup manusia. Terdapat beberapa jenis transportasi umum yang beroperasi di Kota Semarang, diantaranya adalah bus, taksi, dan angkutan umum. Akibat perkembangan Kota Semarang yang pesat dan diikuti dengan pertambahan akan kebutuhan dan jumlah kendaraan umum mengakibatkan adanya penurunan kualitas udara yang diakibatkan oleh emisi kendaraan bermotor. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menanggulangi resiko terjadinya pencemaran udara di Kota Semarang adalah dengan melakukan inventarisasi emisi pencemar udara konvensional ( $SO_x$ ,  $NO_x$ , CO, dan PM) melalui estimasi emisi menggunakan metode IVE (*International Vehicle Emission*). Model IVE merupakan sebuah model komputer yang didesain untuk dapat mengestimasi emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Terdapat beberapa data kendaraan umum yang dibutuhkan program IVE untuk melakukan perhitungan, diantaranya berupa data karakteristik dan pola mengendarai kendaraan umum yang didapatkan dengan metode *Parking Lot Survei* di sekitar area parkir Kota Semarang. Hasil dari perhitungan menggunakan metode IVE didapatkan besaran emisi running dan start up pencemar udara konvensional yang dihasilkan oleh kendaraan umum Kota Semarang sejumlah 2,1 ton/tahun untuk emisi running  $SO_x$  tertinggi oleh taksi dan 0,0117 ton/tahun untuk emisi start up  $SO_x$  tertinggi oleh angkot, 233,301 ton/tahun untuk emisi running  $NO_x$  tertinggi oleh bus dan 2,84 ton/tahun untuk emisi start up  $NO_x$  tertinggi oleh angkot, 1.909,417 ton/tahun untuk emisi running CO tertinggi oleh angkot dan 88,24 ton/tahun untuk emisi start up CO tertinggi oleh taksi, dan 43,73 ton/tahun untuk emisi running dan 0,326 ton/tahun untuk emisi start up PM tertinggi oleh bus.

**Kata kunci:** IVE, Transportasi, Semarang, Konvensional

### Abstract

[*Emission Estimation of Conventional Pollutant ( $SO_x$ ,  $NO_x$ , CO and PM) from Public Transportation Based on International Vehicle Emission Method in Several Roads of Semarang City*]. Transportation is one of the most important aspects in human life. There are several types of public transportation that operates in Semarang City, such as bus, taxi, and paratransit. Rapid development in Semarang which followed by the growth in demands and number of public transportation decreasing the air quality level as the side effect of vehicles activities. Those can be solved by estimating the number of conventional air pollutants emission using International Vehicle Emission Method. IVE model is a computer model that designed to estimates the number of emission produced by vehicles. There are some data needed in calculating emission with IVE model, such as vehicle characteristic and driving pattern data which collected from *Parking Lot Survey Method* in several parking place located in Semarang. IVE model give two types of conventional pollutant emission result, consist of running and start up emission with 2,1 tons/year for the highest  $SO_x$  running emission by taxi and 0,0117 tons/year for the highest start up emission by paratransit, 233,01 tons/year as the highest  $NO_x$  running emission by bus and 2,84 tons/year as the highest  $NO_x$  start up emission by paratransit, 1.909,417 tons/year as the highest CO running emission by paratransit and 88,24 tons/year as the highest CO start up emission by taxi, and 43,73 tons/year as the highest PM running emission and 0,326 tons/year as the highest PM start up emission by bus.

**Keywords:** IVE, Transportation, Semarang, Conventional

## I. PENDAHULUAN

Menurut KBBI, transportasi merupakan pengangkutan barang oleh berbagai jenis kendaraan sesuai dengan teknologi. Saat ini keberadaan transportasi merupakan kebutuhan penting untuk menunjang kehidupan manusia, salah satunya adalah jenis transportasi umum. Menurut data moda transportasi di Kota Semarang tahun 2013 terdapat beberapa jenis transportasi umum yang beroperasi di Kota Semarang, diantaranya adalah bus (*medium bus* dan *Bus Rapid Transport*), taksi, dan angkutan umum dengan jumlah pengguna sebanyak 3.821.144 jiwa (Dinas Perhubungan, Komunikasi dan Informatika Kota Semarang, 2013). Dari data tersebut dapat dilihat bahwa pergerakan penduduk sebagian besar ditunjang dengan keberadaan transportasi umum. Namun hal ini juga membawa dampak negatif bagi lingkungan Kota Semarang, terutama akibat emisi yang ditimbulkan oleh hasil samping kerja mesin kendaraan.

Kota Semarang merupakan ibukota Provinsi Jawa Tengah dengan jumlah penduduk 1.765.396 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2016). Pesatnya perkembangan yang terjadi menjadikan Kota Semarang sebagai salah satu kota metropolitan terbesar di Indonesia setelah Jakarta, Surabaya, Bandung, dan Medan. Berdasarkan perbandingan jumlah penduduk dan luas wilayah kota Semarang juga menempati peringkat ketujuh dalam daftar kota terpadat di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2016).

Kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat pencemar udara yang memberikan dampak negatif terhadap kesehatan dan kesejahteraan manusia, serta lingkungan hidup. Zat-zat yang diemisikan dari knalpot

kendaraan bermotor adalah CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, HC, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, dan Pb (dari bahan bakar yang mengandung timah hitam/ timbal). Berdasarkan *The Study on the Integrated Air Quality Management for Jakarta Area* dan *Integrated Vehicle Emission Reduction Strategy for Greater Jakarta* menyimpulkan bahwa sektor transportasi memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pencemaran udara perkotaan (Suhadi, 2008).

Akibat perkembangan Kota Semarang yang pesat dan diikuti dengan penambahan akan kebutuhan dan jumlah kendaraan umum mengakibatkan adanya penurunan kualitas udara yang diakibatkan oleh emisi kendaraan bermotor. Hal tersebut perlu ditangani dengan melakukan langkah penanggulangan maupun merumuskan kebijakan yang dapat mengurangi resiko terjadinya pencemaran udara ambien di Kota Semarang. Salah satu langkah yang dapat membantu untuk menyusun penanggulangan terhadap emisi kendaraan yang dihasilkan adalah dengan melakukan estimasi emisi dengan metode IVE (*International Vehicle Emissions*). Model IVE merupakan sebuah model komputer yang didesain untuk dapat mengestimasi emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Dengan dilakukannya 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 (*International Sustainable Systems Research Center*, 2016). Oleh karena itu, penelitian

Model IVE terhadap emisi pencemar udara konvensional transportasi umum di beberapa ruas jalan Kota Semarang ini perlu dilaksanakan.

## II. METODOLOGI PELAKSANAAN

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan sampel kendaraan umum menggunakan metode Parking Sampel didapatkan dengan cara melakukan *interview* kepada pengendara kendaraan umum yang sedang berhenti di beberapa area parkir yang tersebar di Kota Semarang. *Interview* dilakukan berdasarkan lembar kuesioner yang berisi pertanyaan mengenai data-data yang akan diinput dalam aplikasi model IVE.

Terdapat 16 kecamatan Kota Semarang yang menjadi daerah penelitian dengan jumlah sampel yang ditentukan berdasarkan rumus perhitungan sampel Taro Yamane (1967), dimana:

$$n = \frac{N}{Nd^2 + 1}$$

Keterangan:

n: Jumlah sampel kendaraan umum

N: Jumlah total kendaraan umum yang teregistrasi

D: Presisi yang ditetapkan

Jumlah sampel yang telah didapat kemudian didistribusikan keseluruh wilayah penelitian sesuai kepadatan kendaraan teregistrasi pada kecamatan tersebut. Pada **Tabel 2.1** akan diperlihatkan jumlah sampel kendaraan umum yang diambil.

**Tabel 2.1 Jumlah Sampel Kendaraan Umum**

Tipe	Jumlah yang Teregistrasi	Jumlah Sampel Berdasarkan Taro Yamane		Sampel yang Diambil
		5%	10%	
Taksi	2024	334	95	150
Bus	445	211	82	100
Paratransit	1355	309	94	200

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2016

Pengambilan sampel dilakukan selama kurang lebih lima minggu, dengan total empat hari tiap minggunya yaitu dua hari kerja (*weekdays*) dan dua hari libur (*weekends*).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Karakteristik Kendaraan Umum Kota Semarang

#### 3.1.1 Karakteristik Jenis Mesin, Exhaust Type, dan Jenis Bahan Bakar Kendaraan Umum

Berdasarkan hasil survei diketahui bahwa kendaraan umum Kota Semarang memiliki beragam jenis teknologi. Pada dasarnya, terdapat dua jenis mesin yang digunakan dalam sistem operasi kendaraan bermotor. Yaitu jenis mesin tipe karburator dan injeksi. Karburator merupakan bagian dari sistem bahan bakar (*fuel system*) pada kendaraan yang berfungsi untuk mencampurkan bahan bakar dengan udara yang dikendalikan oleh pergerakan *throttle* untuk kemudian dimasukkan ke ruang bakar (Daryanto, 2004). Sedangkan injeksi merupakan suatu sistem penyaluran bahan bakar dengan menggunakan pompa pada tekanan tertentu untuk mencampurnya dengan udara yang masuk ke ruang bakar (Honda, 2009). Lebih rinci lagi, sistem injeksi untuk kendaraan bahan bakar bensin terbagi menjadi dua jenis

yaitu Single Point Injection dan Multi Point Injection. Begitu pula untuk sistem injeksi kendaraan bahan bakar solar terbagi atas dua jenis, berupa Direct Injection dan FI. Pada Tabel 2.1 akan diperlihatkan komposisi kendaraan umum Kota Semarang berdasarkan jenis mesin yang digunakan.

**Tabel 3.1 Komposisi Kendaraan Umum Berdasarkan Jenis Mesin**

Jenis Kendaraan Umum	Jenis Sistem Bahan Bakar				
	Karburator	Injeksi			
		Multi Pt FI	Sing le Pt FI	Direct Injection	FI
Angkot (n:198)	56,57%	33,3 %	0,51 %	4,55 %	5,0 5%
Bus (n:100)	1%	-	-	1%	98 %
Taksi (n:150)	1,33%	98%	-	-	0,6 7%

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Keterangan: n: Jumlah sampel

Setidaknya untuk kendaraan umum jenis angkot, terdapat 56,57% kendaraan yang masih menggunakan sistem bahan bakar jenis karburator. Sedangkan untuk kendaraan umum jenis bus dan taksi menggunakan mayoritas telah menggunakan sistem bahan bakar jenis injeksi. Diperkirakan penggunaan sistem injeksi yang lebih dominan pada kendaraan bus dan taksi akan mengakibatkan hasil emisi yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kendaraan umum jenis angkot yang sebagian besar menggunakan mesin karburator.

Selain jenis sistem bahan bakar, karakteristik kendaraan umum Kota Semarang juga akan dibedakan berdasarkan jenis pengendalian gas buang (*exhaust type*) yang digunakan. Penggunaan teknologi pengelolaan gas buang pada kendaraan digunakan untuk mengurangi jumlah emisi yang

dihasilkan. Berdasarkan KEPMENLH No. 141 Tahun 2003 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang menyatakan bahwa Indonesia telah menerapkan standar Euro 2 bagi kendaraan roda dua mulai tahun 2006 dan roda empat untuk tahun 2007. Standar euro sendiri merupakan peraturan yang yang dikeluarkan oleh *European Union* untuk mengurangi potensi pencemaran udara yang disebabkan oleh aktivitas kendaraan bermotor. Pada **Tabel 3.2** Akan ditunjukkan besaran persentase kendaraan umum yang telah memenuhi standar Euro.

**Tabel 3.2 Persentase Kendaraan Umum Kota Semarang yang Telah Memenuhi Standar Euro**

Tipe Kendaraan	Pengelolaan Gas Buang		
	Pre-Euro	Euro II	Euro III & IV
Angkot (n:198)	71.72%	28.28%	-
Bus (n:100)	2%	52%	46%
Taksi (n:150)	1.33%	98.67%	-

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Keterangan: n: Jumlah sampel

Kendaraan taksi yang 98,67% telah memenuhi standar Euro 2 diperkirakan akan menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan dua jenis kendaraan umum lainnya. Hal ini dikarenakan dengan memenuhi suatu standar Euro, maka suatu kendaraan telah dirancang untuk menaati batasan emisi tertentu saat diproduksi.

Karakterisasi kendaraan umum juga dilakukan berdasarkan bahan bakar yang digunakan. Terdapat dua jenis bahan bakar yang digunakan kendaraan bermotor di Indonesia. Yaitu bahan bakar jenis bensin dan solar. Untuk bahan bakar bensin sendiri terbagi

menjadi beberapa jenis berdasarkan kandungan penyusunnya, yang umum digunakan diantaranya jenis premium, pertalite, dan pertamax. Namun, sebagian besar kendaraan umum di Kota Semarang masih menggunakan jenis bahan bakar bensin bersubsidi yaitu premium.

**Tabel 3.3 Komposisi Kendaraan Umum Kota Semarang Berdasarkan Jenis Bahan Bakar**

Jenis Kendaraan	Jenis Bahan Bakar	
	Bensin (Premium)	Solar
Angkot (n:198)	90,4 %	9,6%
Bus (n:100)	1%	99%
Taksi (n:150)	99,33%	0,67%

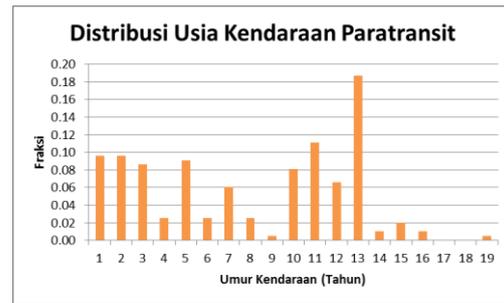
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Keterangan: n: Jumlah sampel

Sebanyak 90,4% dan 99,3% kendaraan angkot dan taksi di Kota Semarang menggunakan bahan bakar bensin dalam operasionalnya. Berbeda dengan kendaraan umum jenis bus yang memiliki persentase 99% untuk kendaraan bus yang menggunakan bahan bakar solar. Perbedaan kandungan penyusun didalam bahan bakar yang digunakan akan berpengaruh terhadap emisi yang dihasilkan oleh suatu kendaraan.

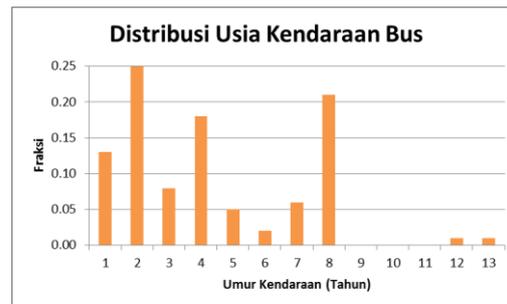
### 3.1.2 Karakteristik Jarak Tempuh dan Umur Kendaraan Umum

Umur kendaraan umum yang beroperasi di Kota Semarang dapat diketahui berdasarkan tahun pembuatan mesin yang tercantum dalam STNK masing-masing kendaraan yang telah disurvei. Sedangkan untuk jarak tempuh dari masing-masing kendaraan umum diperoleh dari hasil pembacaan odometer kendaraan untuk mengetahui besaran VKT (*Vehicle Kilometers Travelled*).



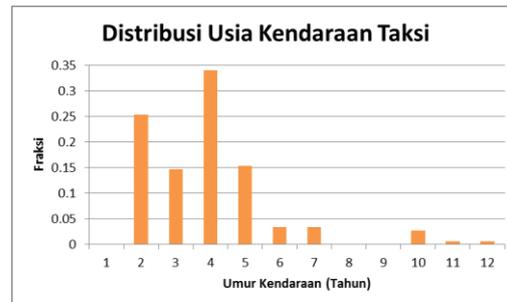
**Gambar 3.1 Distribusi Usia Kendaraan Angkot**

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



**Gambar 3.2 Distribusi Usia Kendaraan Bus**

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



**Gambar 3.3 Distribusi Usia Kendaraan Taksi**

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Rata-rata kendaraan umum jenis angkot yang beroperasi di Kota Semarang berusia 7,8 tahun, kendaraan umum jenis bus 4,27 tahun, dan jenis taksi 2,9 tahun. Sebanyak  $\pm$  49% kendaraan umum jenis angkot yang beroperasi telah berusia lebih dari 10 tahun. Menurut Peraturan Daerah DKI No.5 Tahun 2014 tentang Transportasi pasal 51 menyebutkan bahwa kendaraan angkot dengan usia lebih dari sepuluh tahun harus diganti dengan kendaraan yang baru. Masih beroperasinya kendaraan dengan usia diatas 10 tahun

akan menghasilkan emisi pencemar yang lebih besar dibanding dengan kendaraan dengan usia dibawahnya.

Setelah didapatkan usia kendaraan, dapat dilakukan perhitungan VKT (*Vehicle Kilometers Travelled*) untuk mengetahui panjang perjalanan yang dilakukan oleh kendaraan umum Kota Semarang setiap harinya. Perhitungan VKT dilakukan dengan rumus berikut ini:

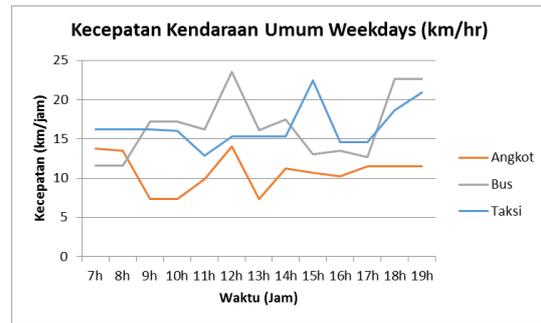
$$VKT = \frac{\text{Jarak Tempuh Odometer (km)}}{\text{Umur Kendaraan} \times 365 \text{ hari}}$$

Sehingga didapatkan rata-rata VKT kendaraan angkot sebesar 99 km/hari, bus sebesar 119 km/hari, dan taksi sebesar 127 km/hari.

### 3.2 Pola Berkendara Kendaraan Umum Kota Semarang

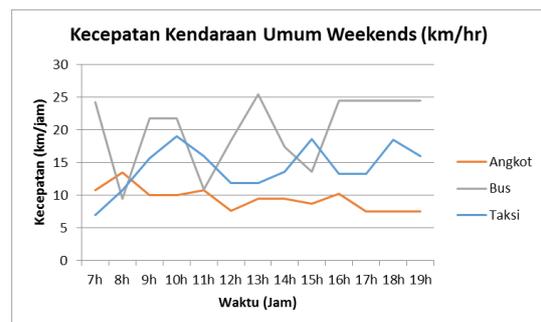
Analisis mengenai pola berkendara (*driving behavior*) kendaraan umum Kota Semarang didapatkan dari hasil *GPS Survei* yang dilakukan selama empat hari yang terdiri atas dua hari *weekdays* dan *weekends* selama 24 jam. Diambil sampel masing-masing  $\pm 5$  kendaraan untuk tiap jenis kendaraan umum. Terdapat dua aspek yang dilihat dari pola berkendara, yaitu pola pergerakan kendaraan dan jumlah start up kendaraan.

Berdasarkan data *GPS Survei* didapatkan data kecepatan rata-rata perjam kendaraan umum Kota Semarang. Untuk kendaraan umum jenis angkot memiliki kecepatan rata-rata *weekdays* sebesar 8,84 km/jam dan *weekends* 8,19 km/jam, *weekdays* bus sebesar 13,74 km/jam dan *weekends* 20,057 km/jam, dan *weekdays* taksi sebesar 19,13 km/jam dan *weekends* 14,77 km/jam.



Gambar 3.4 Kecepatan *Weekdays* Kendaraan Umum

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.5 Kecepatan *Weekends* Kendaraan Umum

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Aspek pola mengemudi lain yang perlu diperhatikan adalah jumlah distribusi *start-up* dan *soak time* kendaraan. *Soak time* merupakan waktu jeda antara waktu kendaraan terakhir dimatikan dengan pengoperasian kendaraan berikutnya. Pada penelitian di beberapa negara, digunakan alat yang dapat menganalisa sistem voltasi kendaraan yang disebut unit VOCE (*Vehicle Occupancy Characteristics Enumerator*). Data VOCE dapat digunakan untuk menentukan kapan kendaraan dinyalakan, berapa lama kendaraan tersebut beroperasi, dan berapa lama waktu jeda antar *start*.

Namun, karena keterbatasan ketersediaan alat tersebut untuk mendapatkan data mengenai jumlah *start-up* dan *soak time* dari masing-masing kendaraan umum Kota Semarang dilakukan dengan survei

kuesioner dan analisis data hasil *GPS survei*.

Berdasarkan hasil survei kuesioner diketahui kendaraan yang paling banyak melakukan *start up* adalah taksi, yaitu sebanyak 22 kali per hari. Sedangkan untuk bus, khususnya BRT hanya melakukan *start up* sebanyak satu kali sehari dan angkot melakukan *start up* sebanyak 13 kali sehari.

Kendaraan umum jenis angkot mayoritas melakukan *start up* dengan *soak time* 15 menit. *Start up* tersebut dilakukan saat kendaraan menunggu penumpang datang. *Start* dengan *soak time* terlama terjadi pada pukul 05.00 sebesar 8 jam. Bus yang beroperasi di Semarang, khususnya BRT rata-rata menyalakan mesin sebanyak satu kali selama sehari disaat bus akan mulai beroperasi. Mesin kemudian akan tetap menyala selama jam operasional, walaupun saat bus menunggu giliran jalan di *shuttle*. Saat bus telah selesai beroperasi, yaitu sekitar pukul 19.00 WIB mesin kemudian baru dimatikan. Hal ini mengakibatkan waktu istirahat mesin bus (*soak time*) sebesar 8 jam, yaitu saat bus berhenti beroperasi pukul 19.00 WIB – 05.00 WIB. Untuk kendaraan umum jenis taksi mayoritas melakukan *start up* dengan *soak time* 15 menit. *Start up* dengan *soak time* terlama terjadi pada pukul 05.00 saat kendaraan taksi mulai beroperasi.



Gambar 3.6 Distribusi *Start Up* Kendaraan Umum

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Pola *start up* yang berbeda juga akan mengakibatkan perbedaan emisi yang dihasilkan. Pada pola *start-up* hal yang paling menentukan adalah jeda mesin berhenti (*soak time*). *Start up* suatu kendaraan terbagi menjadi dua, yaitu *cold start* dan *warm start*. *Cold start* merupakan jenis *start up* yang dilakukan ketika mesin kendaraan dinyalakan kembali setelah benar-benar dingin atau beristirahat  $\pm 18$  jam atau lebih. Jenis *start up* ini akan menghasilkan emisi yang lebih, dikarenakan mesin harus mengalami “*warm up*” dan katalis akan memakan waktu yang lebih lama untuk mencapai suhu operasi. Sedangkan *warm start* merupakan kondisi *start up* ketika mesin yang bekerja dimatikan dan dinyalakan  $\pm 5$  menit kemudian (*IVE User Manual 2.0, 2008*).

### 3.3 Kondisi Lingkungan

Data kondisi lingkungan daerah penelitian terdiri atas data suhu dan kelembaban per jam dalam setahun Kota Semarang yang diperoleh dari BMKG dan BPS. Pada **Tabel 3.4** merupakan data suhu dan kelembaban per jam dari Kota Semarang.

**Tabel 3.4 Data Suhu dan Kelembaban Per Jam Rata-rata Tahunan Kota Semarang**

Jam (WIB)	Suhu (°C)	Kelembaban
00.00	26.7	76.0
01.00	28.1	76.0
02.00	29.2	76.0
03.00	30.1	76.0
04.00	30.8	76.0
05.00	31.3	76.0
06.00	31.5	76.0
07.00	31.4	76.0
08.00	31.0	76.0
09.00	30.5	76.0
10.00	29.9	76.0
11.00	29.2	76.0
12.00	28.8	76.0
13.00	28.4	76.0
14.00	28.1	76.0
15.00	27.8	76.0
16.00	27.5	76.0
17.00	27.2	76.0
18.00	27.0	76.0
19.00	26.8	76.0
20.00	26.6	76.0
21.00	26.4	76.0
22.00	26.3	76.0
23.00	26.2	76.0

Sumber: BMKG dan BPS Kota Semarang, 2016

### 3.4 Input Data dan Running Model IVE

Sebelum melakukan perhitungan emisi dengan program *International Vehicle Emission*, perlu dilakukan penginputan data kedalam *fleet template* dan *location template*. *Fleet template* merupakan *template* data yang disediakan untuk memasukkan seluruh data mengenai karakteristik kendaraan yang akan dihitung. Sedangkan *location template* merupakan *template* yang disediakan untuk memasukkan data pola mengemudi dan kondisi lingkungan lokasi perhitungan. Seluruh *template* yang dibutuhkan dapat diunduh dari *website* [www.issrc.org/ive](http://www.issrc.org/ive).

#### 1) Input Fleet Template

Data karakteristik kendaraan umum yang telah diuraikan dalam sub bab 3.1.1 dan 3.1.2 kemudian

dimasukkan satu-persatu sesuai jenis kedalam *fleet template* program IVE. Terdapat beberapa data karakteristik kendaraan yang dibutuhkan dalam pengisian *fleet template*, diantaranya berupa data jenis mesin, jenis bahan bakar, tipe pengelolaan gas buang (*exhaust type*), dan jarak tempuh. Data yang diinput diurutkan sesuai dengan angka indeks teknologi yang ada di dalam *template*. Terdapat 1371 angka indeks yang berisi data jenis teknologi kendaraan dalam program IVE.

Pada **Tabel 3.5** berikut ini akan diperlihatkan contoh hasil pengolahan data karakteristik kendaraan bus yang telah disesuaikan dengan angka indeks teknologi yang ada di program IVE.

**Tabel 3.5 Input Karakteristik Kendaraan Bus Berdasarkan Angka Indeksi Teknologi IVE**

Index	Description	Fuel	Weight	Fuel Injection	Exhaust Control	Evap	Mileage	Share
836	Truck/Bus	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	>161K km	1
1097	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	>161K km	1
1131	Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroII	None	<79K km	2
1133	Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroII	None	>161K km	30
1140	Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroIII	None	<79K km	17
1141	Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroIII	None	80-161K km	20

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Setelah selesai diisi *fleet template* diubah kedalam format teks (*.text*), kemudian disimpan dalam folder IVE data program IVE.

#### 2) Input Location Template

Untuk melakukan pengisian *location template* diperlukan dua jenis data, yaitu data pola mengemudi dan lokasi penelitian. Pada bagian awal, pengguna program diminta untuk memasukkan data mengenai informasi lokasi penelitian (nama kota, koordinat, dan ketinggian) dan kualitas bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan. Langkah selanjutnya yaitu memasukkan data mengenai jumlah VKT (*Vehicle Kilometers Travelled*), jumlah dan distribusi start up sesuai pembahasan sub bab 4.1.2 dan 3.2. Untuk VKT juga

diperlukan masukan data mengenai distribusi jarak tempuh kendaraan per jamnya. Sehingga dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

Data temperatur dan kelembaban per jam yang terdapat pada sub bab 3.4 juga dimasukkan kedalam *location template*. Data ini merupakan salah satu faktor perhitungan IVE yang masuk dalam faktor koreksi variabel lokal.

Input data terakhir yang dimasukkan kedalam *location template* adalah pengisian data mengenai nilai *bin* yang didapatkan dari hasil perhitungan vsp dan *engine stress* data *GPS Survei*. Data *GPS Survei* berupa *latitude*, *longitude*, kecepatan, dan *altitude* nantinya akan dikalkulasi untuk mendapatkan besaran nilai VSP (*Vehicle Specific Power*) dan *engine stress* yang akan dicakup kedalam nilai *binning*. Parameter tersebutlah yang nantinya menjadi acuan dalam pola pergerakan suatu kendaraan. Dikutip dari *IVE Model Users Manual Version 2.0* (2008), berikut ini merupakan rumus untuk mencari VSP dan *engine stress* suatu kendaraan:

$$a. VSP = v[1.1a+9.81 + (atan(\sin(\text{grade}))) + 0.132] + 0.000302v^3$$

Keterangan:

v : Kecepatan kendaraan (m/s)

Road Grade (ht=0 – ht=1)

a : Akselerasi kendaraan (m/s<sup>2</sup>)

H : *Altitude* jalan (m)

Koefisien gravitasi (9,81)

Koefisien *rolling resistance* (0,132)

Koefisien tarik (0,000302)

$$b. Engine Stress (unitless) = RPM Index + (0,08 \text{ ton/kW}) \times Pre\text{-average Power}$$

Keterangan:

Pre-average Power : *Average*

(VSP<sub>t=5sec to t=25 sec</sub>) (kW/ton)

$$RPM Index : Velocity_{t=0} / Speed Divider (unitless)$$

Hasil perhitungan VSP dan *engine stress* kemudian dicakup kedalam suatu bilangan yang disebut nilai *bin* yang terdiri atas nilai nol sampai enam puluh. Persentase distribusi nilai *bin* kendaraan umum Kota Semarang diperlihatkan pada **Gambar 3.7** dibawah ini.



**Gambar 3.7** Persentase Distribusi Nilai *Bin* Kendaraan Umum

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Untuk melakukan perhitungan emisi kemudian nilai *bin* yang didapatkan dimasukkan kedalam *template location* program IVE. Input nilai *bin* yang masuk dilakukan sesuai dengan jam operasi kendaraan dan disertai dengan data kecepatan rata-rata pada jam tersebut.

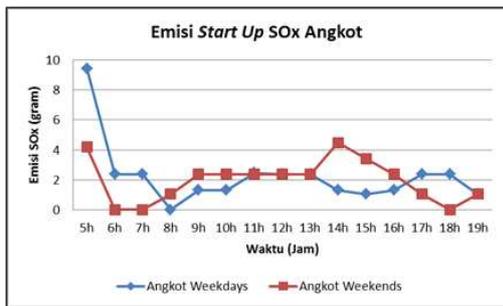
*Location template* yang telah selesai diisi diubah kedalam format teks (.txt) dan disimpan pada folder IVE Data program IVE. Setelah semua tahapan selesai dilakukan, program IVE siap dijalankan.

### 3.5 Hasil Estimasi Emisi Kendaraan Umum Kota Semarang dengan Model IVE

Terdapat dua jenis emisi yang dihasilkan dari perhitungan metode IVE, yaitu emisi *start up* dan emisi *running*. Emisi *start up* merupakan pencemar yang timbul akibat dilakukannya *start up* kendaraan. Sedangkan emisi *running* merupakan pencemar yang diproduksi dari hasil samping mesin kendaraan ketika berjalan.

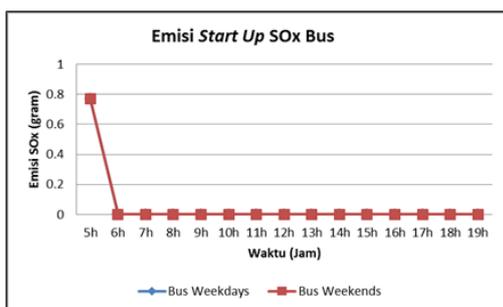
#### 3.5.1 Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>)

Belerang oksida atau sering ditulis dengan SO<sub>x</sub> terdiri atas gas sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan gas sulfur trioksida (SO<sub>3</sub>) yang keduanya memiliki sifat berbeda. Berdasarkan hasil perhitungan IVE, berikut ini merupakan besaran estimasi emisi SO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh kendaraan umum Kota Semarang.



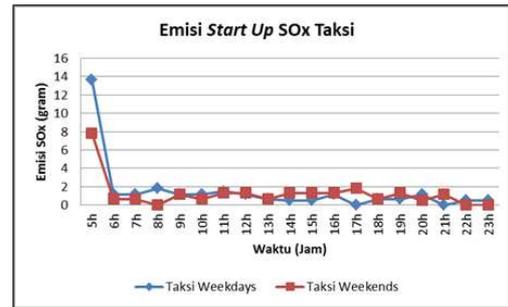
Gambar 3.8 Emisi SO<sub>x</sub> Start Up Angkot

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.9 Emisi SO<sub>x</sub> Start Up Bus

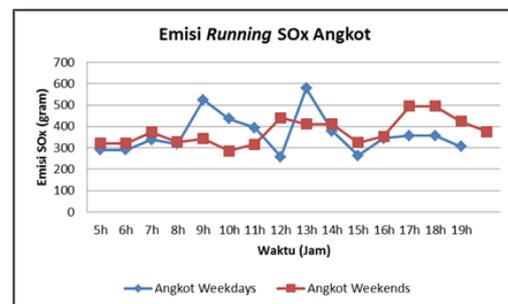
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.10 Emisi SO<sub>x</sub> Start Up Taksi

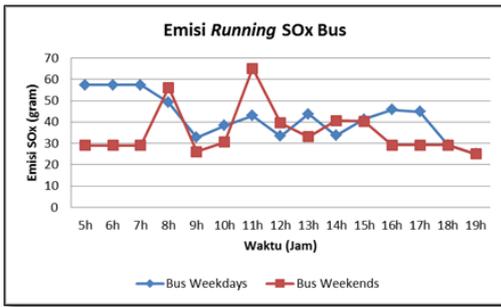
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Kendaraan umum jenis angkot, bus, dan taksi memiliki emisi SO<sub>x</sub> *start up weekdays* maksimum pada pukul 05.00, saat ketiga jenis kendaraan umum tersebut akan mulai beroperasi. Besaran faktor emisi sulfur oksida *start up* yang dihasilkan oleh kendaraan angkot, bus, dan taksi masing-masing sebesar 9,43 gram, 0,77 gram, dan 13,7 gram pada jam tersebut. Sedangkan untuk emisi SO<sub>x</sub> *start up weekends* maksimum terjadi pada pukul 05.00 untuk kendaraan bus dan taksi, namun pada pukul 14.00 untuk angkot. Hal disebabkan karena pada pukul 14.00 tersebut memiliki persentase distribusi saat yang besar, yaitu sejumlah 17,39% *start*.



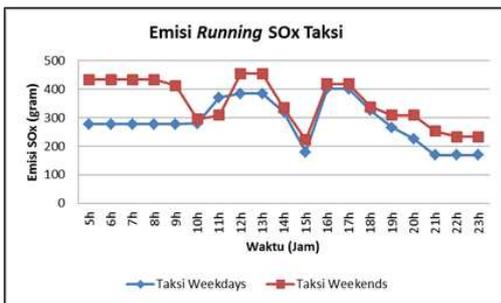
Gambar 3.11 Emisi SO<sub>x</sub> Running Angkot

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.12 Emisi SO<sub>x</sub> Running Bus

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.13 Emisi SO<sub>x</sub> Running Taksi

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Besaran emisi sulfur oksida *running weekdays* terbesar yang dihasilkan oleh kendaraan umum jenis angkot senilai 578,94 gram pada pukul 13.00, kendaraan bus sebesar 57,37 gram pada pukul 05.00-07.00, dan kendaraan taksi sebesar 400,33 gram pada pukul 16.00-17.00. Sedangkan untuk emisi SO<sub>x</sub> *running weekends* terbesar dihasilkan kendaraan angkot pada pukul 17.00-18.00 sebesar 494,6 gram, kendaraan bus pukul 11.00 sebesar 65,1 gram, dan taksi pada pukul 12.00-13.00 sebesar 454,32 gram. Berdasarkan data emisi *start up* dan *running* SO<sub>x</sub> perjam dapat didapatkan data akumulasi emisi SO<sub>x</sub> per tahun yang dihasilkan oleh kendaraan umum.

Tabel 3.6 Akumulasi Emisi SO<sub>x</sub> Kendaraan Umum Kota Semarang

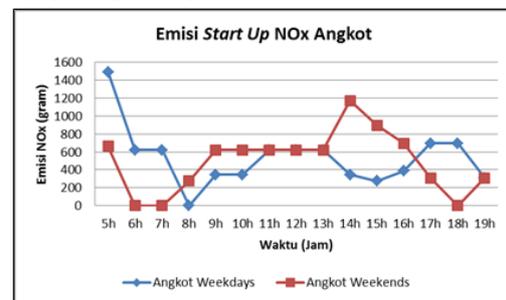
Jenis Kendaraan	Emisi Start Up (ton/tahun)	Emisi Running (ton/tahun)
Angkot	0,0117	1,99
Bus	0,00028	0,21
Taksi	0,0100	2,109

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Emisi SO<sub>x</sub> paling besar dihasilkan oleh kendaraan angkot sejumlah 0,0117 ton/tahun untuk emisi SO<sub>x</sub> *start up* dan kendaraan taksi sebesar 2,1 ton/tahun untuk emisi SO<sub>x</sub> *running*. Sedangkan emisi SO<sub>x</sub> terkecil dihasilkan oleh bus dengan jumlah 0,00028 ton/tahun untuk emisi *start up* dan 0,21 ton/tahun untuk emisi *running*.

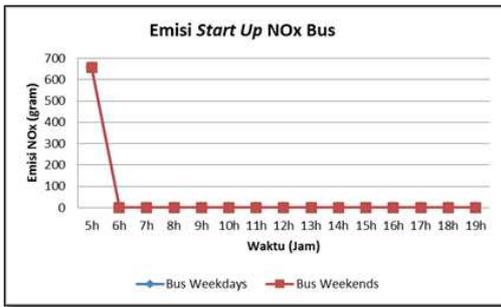
### 3.5.2 Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) adalah salah satu jenis bahan pencemar udara yang dihasilkan dari aktivitas kendaraan. Pencemaran NO<sub>x</sub> di udara mempunyai dampak terhadap lingkungan, baik langsung maupun tidak langsung (Prayudi, 2003).



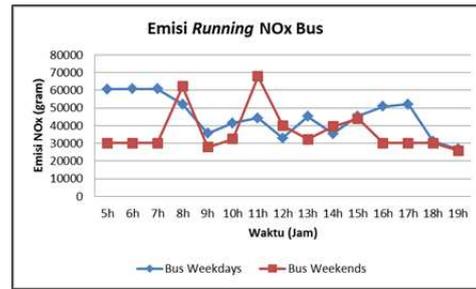
Gambar 3.14 Emisi NO<sub>x</sub> Start Up Angkot

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



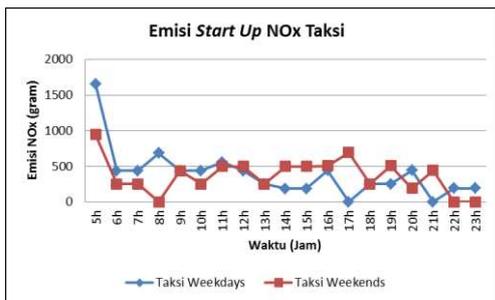
**Gambar 3.15 Emisi NO<sub>x</sub> Start Up Bus**

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



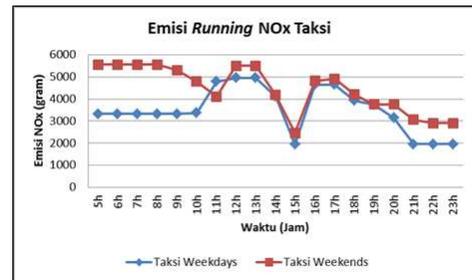
**Gambar 3.18 Emisi NO<sub>x</sub> Running Bus**

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



**Gambar 3.16 Emisi NO<sub>x</sub> Start Up Taksi**

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

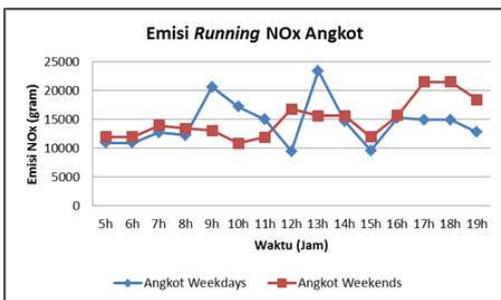


**Gambar 3.19 Emisi NO<sub>x</sub> Running Taksi**

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Emisi NO<sub>x</sub> start up weekdays tertinggi pada kendaraan umum Kota Semarang terjadi pada pukul 05.00 dengan jumlah emisi NO<sub>x</sub> kendaraan angkot sebesar 9,43 gram, kendaraan bus sebesar 0,77 gram, dan taksi sebesar 13,7 gram. Emisi NO<sub>x</sub> start up weekends tertinggi terjadi pada pukul 14.00 sebesar 4,48 gram untuk angkot, pukul 05.00 sebesar 0,77 gram dan 7,83 gram untuk kendaraan bus dan taksi.

Sedangkan untuk emisi tertinggi NO<sub>x</sub> running weekdays kendaraan umum jenis angkot terjadi pada pukul 13.00 sebesar 23.390 gram, kendaraan bus pada pukul 05.00-07.00 sebesar 60.585,16 gram, dan kendaraan taksi pada pukul 11.00 sebesar 4.788,27 gram. Sedangkan untuk emisi NO<sub>x</sub> running weekends maksimum terjadi pada pukul 17.00-18.00 sebesar 21.470,5 gram untuk angkot, pukul 11.00 sebesar 67.950,15 gram untuk bus, dan pukul 05.00-08.00 sebesar 5.564,89 gram untuk taksi. Akumulasi tahunan emisi NO<sub>x</sub> kendaraan umum Kota Semarang akan ditunjukkan pada **Tabel 3.7** dibawah ini.



**Gambar 3.17 Emisi NO<sub>x</sub> Running Angkot**

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

**Tabel 3.7 Akumulasi Emisi NO<sub>x</sub> Kendaraan Umum**

Jenis Kendaraan	Emisi Start Up (ton/tahun)	Emisi Running (ton/tahun)
Angkot	02,84	79,087

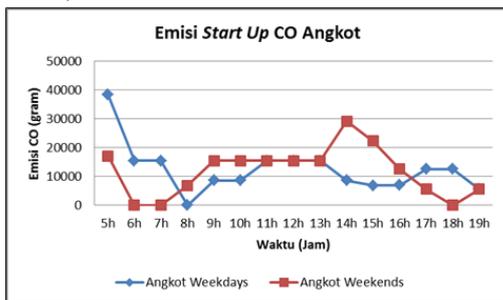
Jenis Kendaraan	Emisi Start Up (ton/tahun)	Emisi Running (ton/tahun)
Bus	0,239	233,301
Taksi	0,826	26,13

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Emisi  $\text{NO}_x$  paling besar dihasilkan oleh kendaraan angkot sejumlah 2,84 ton/tahun untuk emisi  $\text{NO}_x$  start up dan kendaraan bus sebesar 233,3 ton/tahun untuk emisi  $\text{NO}_x$  running. Sedangkan emisi  $\text{NO}_x$  terkecil dihasilkan oleh bus dengan jumlah 0,239 ton/tahun untuk emisi start up dan kendaraan taksi sebesar 26,13 ton/tahun untuk emisi running.

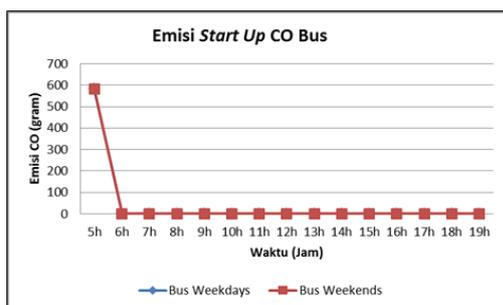
### 3.5.3 Karbon Monoksida (CO)

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon diokasida ( $\text{CO}_2$ ) sebagai hasil pembakaran yang sempurna (Fardiaz, 1992).



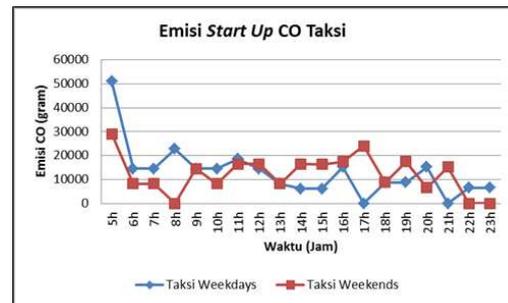
Gambar 3.20 Emisi CO Start Up Angkot

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.21 Emisi CO Start Up Bus

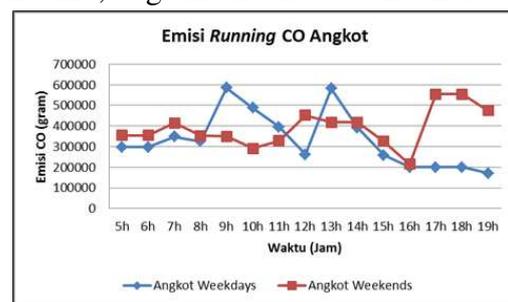
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.22 Emisi CO Start Up Taksi

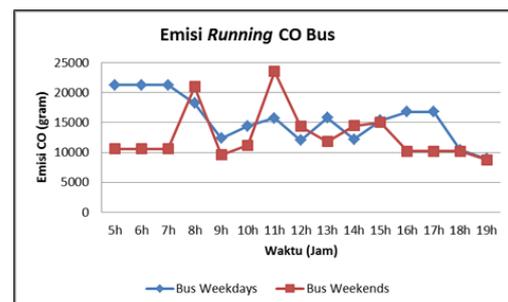
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Emisi karbon monoksida (CO) start up weekdays tertinggi dihasilkan pada pukul 05.00, dengan jumlah 38.354,5 gram, 583,67 gram, dan 50.964,21 gram untuk kendaraan umum jenis angkot, bus, dan taksi. Besaran emisi start up CO weekends maksimum dihasilkan pada pukul 14.00 sebesar 29.139,9 gram untuk angkot dan pukul 05.00 sebesar 583,67 gram dan 29.120,07 gram untuk bus dan taksi.



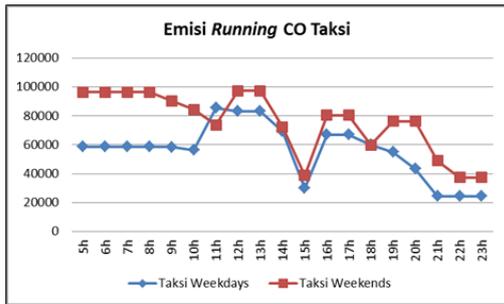
Gambar 3.23 Emisi CO Running Angkot

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.24 Emisi CO Running Bus

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.25 Emisi CO *Running* Taksi

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Untuk hari *weekdays* kendaraan umum jenis angkot menghasilkan emisi CO *running* tertinggi pada pukul 09.00 sejumlah 585.585 gram, kendaraan bus pada pukul 05.00-07.00 sejumlah 21.278,88 gram, dan kendaraan taksi pada pukul 11.00 sebesar 85.48,73 gram. Sedangkan untuk hari *weekends* emisi CO *running* maksimum kendaraan angkot terjadi pada pukul 17.00-18.00 sebesar 554.321 gram, kendaraan bus pukul 11.00 sebesar 23.526,29 gram, dan taksi pukul 12.00-13.00 sejumlah 97.352,57 gram. Pada **Tabel 3.8** berikut ini merupakan akumulasi emisi karbon monoksida yang dihasilkan dari kendaraan umum Kota Semarang.

Tabel 3.8 Akumulasi Emisi CO Kendaraan Umum

Jenis Kendaraan	Emisi Start Up (ton/tahun)	Emisi Running (ton/tahun)
Angkot	66,649	1909,416
Bus	0,212	80,528
Taksi	88,24	426,87

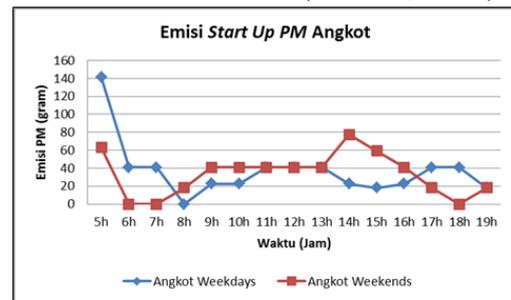
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Emisi CO paling besar dihasilkan oleh kendaraan taksi sejumlah 88,24 ton/tahun untuk emisi CO start up dan 1909,41 ton/tahun untuk emisi CO *running* oleh kendaraan angkot. Sedangkan emisi CO terkecil dihasilkan oleh bus dengan jumlah 0,21

ton/tahun untuk emisi start up dan 80,52 ton/tahun untuk emisi *running*.

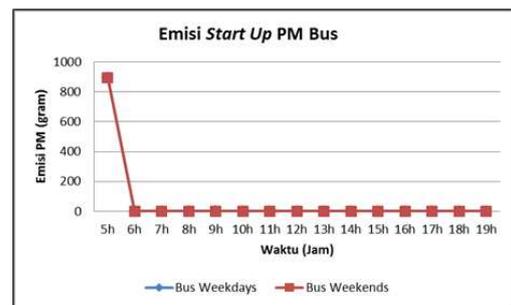
### 3.5.4 Partikulat (PM)

*Particulate Matter* atau PM merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang tersebar di udara dengan diameter yang sangat kecil, mulai dari < 1 mikron sampai dengan maksimal 500 mikron (Fardiaz, 1992).



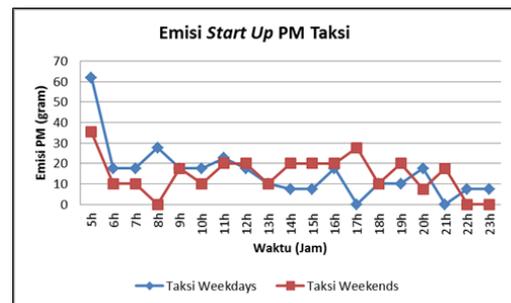
Gambar 3.26 Emisi PM *Start Up* Angkot

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.27 Emisi PM *Start Up* Bus

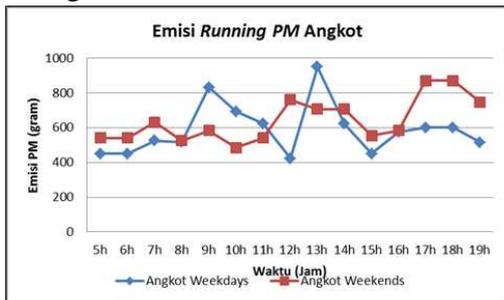
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.28 Emisi PM *Start Up* Taksi

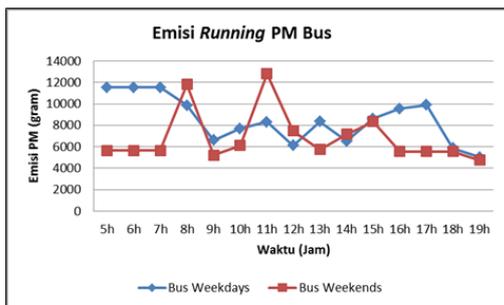
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Emisi partikulat *start up weekdays* tertinggi dihasilkan oleh ketiga jenis kendaraan umum pada pukul 05.00 senilai 141,22 gram untuk angkot, 895,61 gram untuk bus, dan 61,96 gram untuk taksi. Untuk emisi partikulat *startup weekends* maksimum tertinggi terjadi pada pukul 14.00 sebesar 77,32 gram untuk angkot dan sebesar 895,61 gram dan 35,4 gram untuk bus dan taksi.



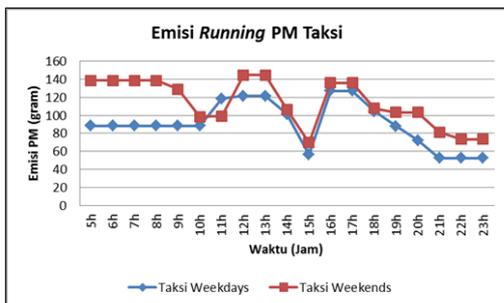
Gambar 3.29 Emisi PM *Running* Angkot

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.30 Emisi PM *Running* Bus

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017



Gambar 3.31 Emisi PM *Running* Taksi

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Emisi partikulat *running weekdays* memiliki nilai maksimum pada pukul 13.00 senilai 949,26 gram untuk angkot, pukul 05.00-07.00 sebesar 11.524,99 gram untuk bus, dan pukul 16.00-17.00 sebesar 127,17 gram untuk kendaraan taksi. Untuk emisi partikulat *running weekends* memiliki nilai maksimum sebesar 871,01 gram pukul 17.00-18.00 untuk angkot, 12.791.85 gram pukul 11.00 untuk bus, dan 144,5 gram pukul 12.00-13.00 untuk kendaraan taksi. Akumulasi emisi pencemar partikulat kendaraan umum Kota Semarang dapat dilihat pada **Tabel 3.9** berikut ini.

Tabel 3.9 Akumulasi Emisi PM Kendaraan Umum

Jenis Kendaraan	Emisi Start Up (ton/tahun)	Emisi Running (ton/tahun)
Angkot	0,196	3,297
Bus	0,326	43,73
Taksi	0,105	0,67

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2017

Emisi PM paling besar dihasilkan oleh kendaraan bus sejumlah 0,326 ton/tahun untuk emisi CO *start up* dan 80,52 ton/tahun untuk emisi PM *running*. Sedangkan emisi CO terkecil dihasilkan oleh bus dengan jumlah 0,105 ton/tahun untuk emisi *start up* dan 0,672 ton/tahun untuk emisi *running*.

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Kendaraan umum Kota Semarang memiliki karakteristik yang sangat beragam, diantaranya:

a. Jenis mesin sebagian besar kendaraan taksi dan bus yang beroperasi telah menggunakan sistem injeksi, sedangkan setengah kendaraan angkot masih

menggunakan sistem bahan bakar jenis karburator.

b. Sepertiga kendaraan angkot masih belum memiliki teknologi pengelolaan gas buang (*exhaust type*), sebaliknya lebih dari setengah kendaraan bus dan taksi dilengkapi dengan teknologi pengelolaan gas buang dan telah menerapkan standar Euro 2.

c. Sebagian besar kendaraan angkot dan taksi menggunakan bensin (premium) untuk bahan bakar kendaraan dan sebaliknya sebagian besar bus menggunakan solar.

d. Jarak yang ditempuh kendaraan angkot setiap harinya sebesar 99 km/hari dengan jumlah *start up* 13 kali/hari, bus sebesar 119 km/hari dengan jumlah *start up* 1 kali/hari, dan taksi sebesar 127 km/hari dengan jumlah *start up* 22 kali/hari.

2. Berdasarkan perhitungan estimasi emisi menggunakan IVE didapatkan nilai emisi pencemar udara konvensional ( $SO_x$ ,  $NO_x$ , CO, dan PM) sebesar:

a. Emisi *running*  $SO_x$  tertinggi dihasilkan oleh kendaraan taksi sebesar 2,1 ton/tahun dan *start up*  $SO_x$  tertinggi oleh kendaraan angkot sebesar 0,0117 ton/tahun.

b. Emisi *running*  $NO_x$  tertinggi dihasilkan oleh kendaraan bus sebesar 233,301 ton/tahun dan *start up*  $NO_x$  tertinggi oleh kendaraan angkot sebesar 2,84 ton/tahun.

c. Emisi *running* CO tertinggi dihasilkan oleh kendaraan angkot sebesar 1.909,417 ton/tahun dan emisi *start up* CO tertinggi dihasilkan oleh kendaraan taksi dengan jumlah 88,24 ton/tahun.

d. Emisi *running* PM tertinggi dihasilkan oleh kendaraan bus sebesar 43,73 ton/tahun dan emisi *start up* PM tertinggi oleh kendaraan bus sebesar 0,326 ton/tahun.

#### 4.2 Saran

1. Keterbatasan data dan alat dalam analisis distribusi *start up* kendaraan umum mengakibatkan penulis menggunakan data GPS untuk menentukan distribusi *start up* kendaraan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai analisis distribusi *start up* menggunakan data hasil unit VOCE. Kemudian jumlah *start up* yang dilakukan oleh suatu kendaraan pada umumnya akan mempengaruhi total emisi *start up* yang dihasilkan. Untuk kondisi bus BRT yang hanya melakukan *start up* sebanyak satu kali dalam sehari akan menghasilkan total emisi aktivitas *start up* yang lebih kecil dibandingkan kendaraan lain yang melakukan *start up* berulang kali dalam sehari. Namun, melakukan satu kali *start up* dalam sehari akan mengakibatkan penggunaan bahan bakar yang lebih banyak karena mesin harus menyala terus selama jam operasi walaupun saat menunggu datangnya penumpang di pemberhentian. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai hal tersebut.

2. Akibat teknologi kendaraan yang terus berkembang setiap harinya perlu dilakukan pembatasan usia kendaraan umum jenis angkot sehingga keberadaan kendaraan dengan usia diatas 10 tahun dapat diperbaharui dengan kendaraan baru, seperti yang dilakukan di Jakarta yang tercantum dalam Perda No. 5 Tahun 2014 tentang Transportasi mengenai penggantian kendaraan umum dengan usia diatas sepuluh tahun untuk mengurangi emisi yang dihasilkan.



#### DAFTAR PUSTAKA

Astra Honda Motor. 2009. *Buku Pedoman Reparasi Honda Supra X 125*. PT. Astra Honda Motor: Jakarta.

Anonim, 2016. *Data Suhu Tahunan Kota Semarang*. BMKG: Semarang.

Anonim, 2016. *Kota Semarang Dalam Angka 2016*. BPS Kota Semarang: Semarang.

Daryanto. 2004. *Teknik Sepeda Motor*. Yrama Widya. Bandung.

Anonim, 2016. *Trayek Angkutan Umum Kota Semarang*. Dinas Perhubungan:Semarang.

Fardiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Penerbit Kanisius:Yogyakarta.

International Sustainable Systems Research Center. *IVE Model User Manual Version 2.0*. Diakses tanggal 4 Agustus 2016 dari ISSRC Web Site: <https://issrc.org/ivem>

Anonim, 2003. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 141 Tahun 2003 tentang Ambang Batas Emis Gas Buang*. Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia: Jakarta

Prayudi, Teguh. 2003. *Dampak Industri Pengecoran logam Terhadap Kualitas Gas NO<sub>x</sub> dalam Udara Ambien di Daerah Ceper*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi:Jakarta.

Suhadi, D.R. 2008. *Penyusunan Petunjuk Teknis Perkiraan Beban Pencemaran Udara dari Kendaraan Bermotor di Indonesia*. Kementrian Lingkungan Hidup.