



**KAJIAN PREDIKSI BEBAN EMISI PENCEMAR UDARA (TSP, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, dan CO ) DAN GAS RUMAH KACA (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O ) SEKTOR TRANSPORTASI DARAT DI KOTA SURAKARTA DENGAN METODE *TOP DOWN* DAN *BOTTOM UP***

Ana Megawati Sutrisno<sup>\*)</sup>, Haryono S.Huboyo<sup>\*\*)</sup>, Endro Sutrisno<sup>\*\*)</sup>  
Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275  
email : [anamegal1@gmail.com](mailto:anamegal1@gmail.com)

**Abstrak**

*Semakin bertambahnya jumlah penduduk diiringi dengan semakin meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor ini selain berdampak positif juga memiliki dampak negatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beban emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dengan membandingkan hasil perhitungan beban emisi antara metode Top Down (konsumsi bahan bakar) dengan metode Bottom Up (jarak tempuh kendaraan) serta mengetahui distribusi spasialnya. Dengan metode Top Down beban emisi yang dihasilkan pada tahun 2014 yaitu TSP sebesar 196,50 ton/tahun, NO<sub>x</sub> sebesar 857,50 ton/tahun, SO<sub>2</sub> sebesar 6,14 ton/tahun, HC sebesar 488,81 ton/tahun, CO sebesar 35.834 ton/tahun, dan CO<sub>2</sub> ekuivalen sebesar 319.399 ton/tahun. Dengan metode Bottom Up beban emisi yang dihasilkan pada tahun 2014 yaitu TSP sebesar 496,16 ton/tahun, NO<sub>x</sub> sebesar 6.073 ton/tahun, SO<sub>2</sub> sebesar 290,33 ton/tahun, HC sebesar 17.017 ton/tahun, CO sebesar 57.835 ton/tahun dan CO<sub>2</sub> sebesar 492.492 ton/tahun. Sebaran beban emisi untuk semua jenis parameter hampir sama pada setiap grid. Beban emisi paling tinggi hanya berada di satu grid saja yaitu di antara desa Kemlayan, Timuran dan Keprabon Kota Surakarta.*

**Kata Kunci:** TSP, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub> ekuivalen, Top Down, Bottom Up, distribusi spasial

**Abstract**

**[Study of Prediction Load Emission Air Pollutants (TSP, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, and CO) and Greenhouse Gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O) Land Transportation Sector In Surakarta With Top Down and Bottom Up Method]**  
*The increasing number of population accompanied with the increase number of motor vehicles. Increasing the number of motor vehicles, in addition to had a positive impact also has the negative impact. This study aims to knowing the burden of emissions produced by motor vehicle by comparing the results between the emission load calculation Top Down methods (fuel consumption) with Bottom Up methods (vehicle mileage) and knowing the spatial distribution. With the Top Down load method emissions produced in 2014, namely TSP at 196,50 ton /year, NO<sub>x</sub> by 85750 ton / year, SO<sub>2</sub> by 6,14 ton /year, HC by 488,81 ton /year, CO by 35.834 tonnes / year, and CO<sub>2</sub> by 319.399 ton / year. With the Bottom Up methods burden of emissions produced in 2014, namely TSP at 496,16 tons / year, NO<sub>x</sub> by 6.073 ton/ year, SO<sub>2</sub> by 290,33 ton/year, HC by 17.017 ton / year, CO by 57.835 ton / year and CO<sub>2</sub> by 492.492 ton/ year. The distribution of the burden of emissions for all types of parameters almost the same on each grid. The highest emissions in Surakarta City is only in one grid is of villages Kemlayan, Timuran and Keprabon.*

**Keywords:** TSP, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub> equivalent, Top Down, Bottom Up, spatial distribution



## PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya kebutuhan hidup manusia maka beberapa sektorpun ikut mengalami peningkatan, khususnya sektor transportasi tak terkecuali sektor transportasi darat. Transportasi darat saat ini didominasi oleh kendaraan pribadi yang dikarenakan fasilitas maupun infrastruktur kendaraan umum belum memadai. Transportasi darat yang menghasilkan pencemar udara (TSP, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, dan CO) dan gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O) dapat menyebabkan pemanasan global. Pemanasan global yang ditimbulkan oleh efek rumah kaca merupakan fenomena yang telah berlangsung sekian lama akan tetapi hingga saat ini belum ditemukan upaya yang berarti. Upaya mengurangi emisi gas rumah kaca menjadi salah satu program yang mendapat perhatian besar dalam pengelolaan lingkungan. Efek rumah kaca akan menyebabkan energi dari sinar matahari tidak dapat terpantul keluar bumi. Pada keadaan normal, energi matahari yang diadsorpsi bumi akan dipantulkan kembali dalam bentuk infra merah oleh awan dan permukaan bumi. Namun karena adanya gas rumah kaca, sebagian besar infra merah yang dipancarkan bumi tertahan oleh awan dan gas-gas rumah kaca untuk dikembalikan ke permukaan bumi. Oleh karena itu akan terjadi peningkatan suhu di permukaan bumi yang menyebabkan pemanasan global (Rukaesih, 2004; Yusratika, 2010).

Sektor transportasi telah dikenal sebagai salah satu sektor yang sangat berperan dalam pembangunan ekonomi yang sedang berlangsung. Penggunaan bahan bakar minyak secara intensif dalam sektor ini menjadi penyebab utama timbulnya dampak terhadap lingkungan udara, terutama di daerah-daerah perkotaan. Proses pembakaran bahan bakar minyak seperti diketahui akan mengeluarkan unsur dan senyawa-senyawa pencemar udara, seperti padatan total tersuspensi (debu), karbon monoksida, total hidro karbon, oksida-oksida nitrogen, oksida-oksida sulfur, partikel timbal dan oksidan fotokimia (Soedomo, 2001).

Dari permasalahan tersebut, kajian beban emisi pencemaran udara dan gas rumah kaca sangat diperlukan untuk penyusunan strategi dan rencana aksi pengelolaan kualitas udara kota, pengkajian ulang upaya pengendalian pencemaran udara, dan analisis efektivitas kebijakan dan strategi, terlebih untuk menjaga kesehatan lingkungan demi mewujudkan perencanaan berkelanjutan bagi insan kehidupan.

Kota Surakarta merupakan salah satu kota besar yang terdapat di Provinsi Jawa Tengah. Kota Surakarta memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi mengingat bahwa sering dijumpai titik-titik pusat perdagangan dan jasa serta banyaknya masyarakat Kota Surakarta yang bekerja di luar kota (komuter). Berdasarkan data

yang diperoleh dari SAMSAT Kota Surakarta Tahun 2015 didapati bahwa kepemilikan kendaraan pribadi jenis mobil dengan bahan bakar premium maupun solar terus meningkat setiap tahunnya, begitu pula dengan kendaraan umum jenis bus yang ikut mengalami hal yang serupa. Tentu hal ini menunjukkan bahwa emisi mengalami peningkatan seiring bertambahnya jumlah kendaraan.

## METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan Tugas Akhir adalah 4 (empat) bulan dimulai pada bulan Juni sampai September 2015. Penelitian dilaksanakan di Kota Surakarta, yaitu di area jalan utama, bengkel-bengkel resmi kendaraan bermotor, dan instansi-instansi terkait pengambilan data seperti SAMSAT dan Dinas Perhubungan Kota Surakarta serta BUMN PT. Pertamina UPMS Semarang. Data-data yang diperlukan meliputi data primer dan data sekunder. Data Primer yang dibutuhkan yaitu data jarak tempuh tiap jenis kendaraan yang terdaftar di Kota Surakarta sedangkan untuk data sekunder meliputi; jumlah kendaraan tiap jenis kendaraan bermotor yang terdaftar di Kota Surakarta, konsumsi bahan bakar (premium dan solar) di Kota Surakarta, panjang jalan utama serta volume lalu lintas di jalan utama Kota Surakarta.

### Analisa Data

Metode yang digunakan yaitu metode *Top Down* dan *Bottom Up*. Metode *Top Down* digunakan untuk mencari beban emisi pencemar dengan keseluruhan total konsumsi bahan bakar (premium dan solar) sedangkan Metode *Bottom Up* digunakan untuk mencari beban emisi pencemar dengan menggunakan jarak tempuh kendaraan per tiap jenis kendaraan bermotor (sepeda motor, mobil penumpang, bus dan truk). Hasil perhitungan total emisi pencemar per parameter tersebut kemudian dibandingkan antara hasil dari metode *Top Down* dengan hasil dari metode *Bottom Up*.

Perhitungan beban emisi dari kendaraan bermotor ditentukan dengan menerapkan faktor emisi berbasis konsumsi bahan bakar dan jarak tempuh (*Vehicle Kilometer Traveled-VKT*).

### 1. Menghitung beban emisi dengan Metode *Top Down*

Untuk menghitung beban emisi dengan metode *Top Down*, yaitu dengan memperhatikan total konsumsi per jenis bahan bakar, persamaan yang digunakan sebagai berikut (IPCC, 2006) :

$$\text{Emission} = \sum_a [\text{Fuel } a \times \text{EF } a]$$

Keterangan:

Emission = Beban emisi (kg)

Fuel a = konsumsi bahan bakar jenis a (TJ)

FE a = faktor emisi (kg/TJ)

a = jenis bahan bakar (seperti

premium, solar)

Berikut adalah faktor emisi untuk metode *Top Down*:

**Tabel 1. Faktor Emisi Metode *Top Down***

Sumber Pencemar	Premium	Solar
<sup>(a)</sup> TSP (g/kg)	2.2	1.52
<sup>(a)</sup> NO <sub>x</sub> (g/kg)	6.64	14.91
<sup>(b)</sup> HC(g/mile)	0.184	0.29
<sup>(a)</sup> CO(g/kg)	497.7	7.4
<sup>(c)</sup> CO <sub>2</sub> (kg/TJ)	69 300	74 100
<sup>(c)</sup> CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	33	3.9
<sup>(c)</sup> N <sub>2</sub> O (kg/TJ)	3.2	3

Sumber: <sup>(a)</sup>CORINAIR, <sup>(b)</sup>US EPA, <sup>(c)</sup>IPCC

Sedangkan untuk parameter SO<sub>2</sub> diestimasi dengan asumsi bahwa semua sulfur dalam bahan bakar berubah secara sempurna menjadi SO<sub>2</sub> dengan menggunakan rumus :

$$E = 2 \times k_{s,m} \times FC_m$$

Keterangan :

$k_{s,m}$  = berat kandungan sulfur terkait dalam bahan bakar jenis m (g/g bahan bakar)

$FC_m$  = konsumsi bahan bakar jenis m (g)

**Tabel 2. Kandungan Sulfur Tipikal dalam**

**Bahan Bakar (1 ppm = 10<sup>-6</sup> g/g bahan bakar)**

	1996 Base Fuel (Market Average)	BBM 2000	BBM 2005	BBM 2009
<b>Premium</b>	165	130	40	40
<b>Solar</b>	400	300	40	8

## 2. Menghitung beban emisi dengan Metode *Bottom Up*

Untuk menghitung beban emisi dengan metode *Bottom Up* ditentukan dengan menerapkan faktor emisi berbasis jarak tempuh (VKT) atau panjang perjalanan rerata kendaraan per tahun.

### a. VKT Sumber Garis

Untuk jaringan jalan utama, emisi diperlakukan sebagai sumber garis atau *line source*.

$$VKT_{j, \text{line}} = \sum Q_{ji} \cdot l_i$$

$$E_{c,ji} = VKT_{j, \text{line}} \cdot EF_{c,j} \cdot (100-C)/100$$

Keterangan:

$VKT_{j, \text{line}}$  = VKT kategori kendaraan j pada ruas jalan i yang dihitung sebagai sumber garis (km/tahun)

$Q_{ji}$  = volume kendaraan dalam kategori j pada ruas jalan i (kendaraan/tahun)

$l_i$  = panjang ruas jalan i (km)

$E_{c,ji}$  = emisi pencemar c untuk kendaraan kategori j pada ruas jalan i

C = efisiensi alat pengendali emisi (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

### b. VKT Sumber Area

Sedangkan untuk Emisi Sumber Area, VKT-nya dihitung dengan mengurangkan total VKT sumber transportasi dengan total VKT sumber garis.

VKT sumber area =

$$VKT (\text{sumber total} - \text{sumber garis})$$

### c. VKT Sumber Bergerak Total

Total VKT sumber transportasi adalah jumlah perkalian populasi kendaraan dan kilometer tempuh rata-rata per tahun untuk setiap kategori/sub-kategori kendaraan. Persamaan untuk memperkirakan total VKT sumber bergerak adalah:

$$VKT_{b,c} = VKT_{b,c, \text{odo}} \cdot N_{b,c}$$

Keterangan:

$VKT_{b,c, \text{odo}}$  = VKT kendaraan kategori b dan bahan bakar c berdasarkan survei odometer (km/tahun)

$VKT_{b,c}$  = VKT seluruh kendaraan bermotor kategori b yang menggunakan bahan bakar c (km/tahun)

$N_{b,c}$  = jumlah kendaraan bermotor kategori b yang menggunakan bahan bakar c

Berikut merupakan tabel faktor emisi untuk masing-masing jenis kendaraan :

**Tabel 3. Faktor Emisi Metode *Bottom Up***

Sumber Pencemar	Sepeda Motor	Mobil Premium	Mobil Solar	Bus	Truk
TSP (g/km)	0.24	0.01	0.53	1.4	1.4
NO <sub>x</sub> (g/km)	0.29	2	3.5	11.9	17.7
SO <sub>2</sub> (g/km)	0.008	0.026	0.44	0.93	0.82
HC (g/km)	5.9	4	0.2	1.3	1.8
CO (g/km)	14	40	2.8	11	8.4
CO <sub>2</sub> (g/kg)	3180	3180	3172	3172	3172
CH <sub>4</sub> (g/km)	0.26	0.07	0.01	0.06	0.01
N <sub>2</sub> O (g/km)	0.002	0.005	0.014	0.031	0.031

Sumber : KLH, 2013

### Distribusi Spasial

Panjang perjalanan total per kategori kendaraan didistribusikan ke satuan wilayah terkecil (zona/grid) di dalam wilayah inventarisasi mengikuti kepadatan penduduk dan luas jalan di dalam zona/grid bersangkutan. Rumus yang digunakan untuk menghitung distribusi spasial, yaitu :

$$VKT_{b,c,k} = (K_1^k + K_2^k) \times VKT_{b,c}$$

Keterangan:

$VKT_{b,c,k}$  = panjang perjalanan kendaraan kategori b yang menggunakan bahan bakar c untuk zona/grid k

$VKT_{b,c}$  = total panjang perjalanan kategori b yang

menggunakan bahan bakar c

$$K_1 = \frac{\alpha P_k}{P_t} = \text{faktor pembobot kepadatan penduduk}$$

$$K_2 = \frac{(1-\alpha)L_k}{L_t} = \text{faktor pembobot luas jalan}$$

Keterangan :

P<sub>k</sub> = penduduk di zona/grid k

P<sub>t</sub> = total penduduk

L<sub>k</sub> = luas jalan di zona/grid k

L<sub>t</sub> = total luas jalan

α = faktor (dalam fraksi dari 0 - 1)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Perhitungan Beban Emisi dengan Metode Top Down

Beban emisi dengan Metode *Top Down* dihitung berdasarkan jumlah konsumsi bahan bakar pada wilayah studi. Berikut adalah total konsumsi bahan bakar premium dan solar di Kota Surakarta:

**Tabel 4. Konsumsi BBM Kota Surakarta**

Konsumsi BBM Kota Surakarta		
Tahun	Premium (KL/tahun)	Solar (KL/tahun)
2013	101.944	32.710
2014	102.312	32.022

Sumber: Pertamina UPMS IV Semarang, 2015

Setelah mengetahui konsumsi BBM, maka emisi dengan pendekatan *Top Down* dapat dihitung dengan mengalikan faktor emisi yang telah diketahui.

**Tabel 5. Beban Emisi dengan Metode Top Down**

Parameter	Premium (ton/tahun)		Solar (ton/tahun)	
	2013	2014	2013	2014
NO <sub>x</sub>	473.84	475.55	390.16	381.96
SO <sub>2</sub>	5.71	5.73	0.42	0.41
HC	326.16	327.34	164.94	161.47
CO	35,516	35,644	193.64	189.57
TSP	156.99	157.56	39.78	38.94
CO <sub>2</sub>	233,136	233,977	87,257	85,422
CH <sub>4</sub>	111.02	111.42	4.59	4.50
N <sub>2</sub> O	10.77	10.80	4.59	4.50
CO <sub>2e</sub>	239,119	239,982	88,741	86,874

Beban emisi dari konsumsi premium dapat dilihat bahwa nilai semua emisi dari tahun 2013 hingga tahun 2014 mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena total konsumsi premium di kota Surakarta pada tahun 2013 sebesar 101.944 kiloliter/tahun meningkat menjadi 102.312 kiloliter/tahun. Emisi yang terbesar dari konsumsi bahan bakar premium yaitu CO<sub>2</sub> ekuivalen dan yang terkecil adalah SO<sub>2</sub>. Sedangkan beban emisi dari konsumsi solar mengalami penurunan dari tahun 2013 ke tahun 2014. Hal ini disebabkan

karena total konsumsi solar di kota Surakarta menurun dari tahun 2013 sebesar 32.710 kiloliter/tahun menjadi 32.022 kiloliter/tahun pada tahun 2014. Emisi yang terbesar dari konsumsi bahan bakar premium yaitu CO<sub>2</sub> ekuivalen dan yang terkecil adalah SO<sub>2</sub>.

CO<sub>2</sub> ekuivalen merupakan hasil penjumlahan dari CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O. Namun untuk CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O harus dikalikan dengan GWP (*Global Warming Potentials*) supaya setara dengan CO<sub>2</sub>. GWP untuk CH<sub>4</sub> yaitu 25 ton CO<sub>2</sub> sedangkan untuk N<sub>2</sub>O nilai GWP sebesar 298 ton CO<sub>2</sub>.

### 2. Perhitungan Beban Emisi dengan Metode Bottom Up

Dalam perhitungan emisi dengan metode *Bottom Up* dilakukan berdasarkan jarak tempuh dari masing-masing jenis kendaraan atau *Vehicle Kilometer Travelled* (VKT). Pada perhitungan beban emisi dengan metode *Bottom Up*, terdapat 3 sumber emisi bergerak yang harus dihitung yaitu sumber bergerak total, sumber bergerak garis dan sumber bergerak area. Berikut adalah jumlah kendaraan bermotor yang terdaftar di Kota Surakarta dari tahun 2013 sampai tahun 2014.

**Tabel 6. Jumlah Kendaraan Kota Surakarta**

Jumlah Kendaraan		
Jenis Kendaraan	2013	2014
Mobil Penumpang Premium	36,604	36,851
Mobil Penumpang Solar	10,934	11,008
Sepeda Motor	274,199	267,215
Bus	1,041	1,095
Truk	18,174	17,287

Sumber: SAMSAT Surakarta, 2015

Jumlah kendaraan bermotor jenis mobil penumpang bahan bakar premium dan solar serta bus mengalami peningkatan sedangkan sepeda motor dan truk mengalami penurunan.

#### a. Emisi Sumber Garis

Emisi sumber garis atau *line source* diperlakukan untuk jaringan jalan utama. Perhitungan emisi sumber garis diperoleh dari VKT dikali dengan faktor emisi. Berikut adalah tabel VKT sumber garis.

**Tabel 7. VKT Sumber Garis**

VKT Sumber Garis		
Jenis Kendaraan	2013	2014
Sepeda Motor	117,464,893	114,555,192
Mobil Penumpang Premium	131,054,876	131,063,657
Mobil Penumpang Solar	39,146,262	39,148,885
Bus	6,119,587	6,122,649
Truk	25,666,143	24,490,595

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa mobil penumpang jenis premium memiliki VKT terbesar dan Bus memiliki VKT terkecil.

Beban emisi dari sumber garis dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 8. Beban Emisi dari Sumber Garis**

Parameter	2013	2014
TSP	47,37	46,21
NOX	960	939
SO <sub>2</sub>	48,31	47,33
HC	1.351	1.332
CO	7.219	7.168
CO <sub>2</sub> E	71.507	70.898

Hasil perhitungan beban emisi tersebut telah dijumlah dari semua jenis kendaraan bermotor (sepeda motor, mobil penumpang premium, mobil penumpang solar, bus dan truk). Emisi TSP dihasilkan paling besar oleh truk yang menghasilkan emisi sebesar 17,13 ton/tahun, sedangkan mobil penumpang bahan bakar premium menghasilkan emisi TSP terkecil yaitu rata-rata sebesar 0,66 ton/tahun. Emisi NO<sub>x</sub> terbesar dihasilkan dari truk yaitu sebesar 433,08 ton/tahun dan penghasil emisi NO<sub>x</sub> terkecil dari sepeda motor sebesar 31,87 ton/tahun. Penghasil emisi SO<sub>2</sub> terbesar yaitu dari truk rata-rata sebesar 20,06 ton/tahun, sedangkan yang terkecil dihasilkan oleh sepeda motor yaitu rata-rata sebesar 0,88 ton/tahun. Emisi HC terbesar dihasilkan oleh sepeda motor yaitu rata-rata sebesar 648,41 ton/tahun, sedangkan yang terkecil dari mobil penumpang berbahan bakar solar sebesar 7,83 ton/tahun. Mobil penumpang berbahan bakar premium menghasilkan emisi CO terbesar jauh dari jenis kendaraan yang lain. Emisi CO yang dihasilkan dari mobil penumpang bahan bakar premium yaitu rata-rata sebesar 5.242 ton/tahun, sedangkan bus merupakan penghasil emisi CO terkecil yaitu rata-rata sebesar 6,73 ton/tahun. Emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen paling besar dihasilkan dari mobil penumpang berbahan bakar premium yaitu sebesar 36.886 ton/tahun, sedangkan penghasil emisi terkecil dari bus yaitu sebesar 3.948 ton/tahun.

b. Emisi Sumber Total

Emisi sumber total yaitu seluruh emisi yang dikeluarkan dari sumber transportasi darat di kota Surakarta. Perhitungan emisi sumber total didapatkan dari jumlah perkalian populasi kendaraan dan kilometer jarak tempuh rata-rata per tahun untuk setiap kategori kendaraan.

**Tabel 9. VKT Sumber Total**

Jenis Kendaraan	2013	2014
Sepeda Motor	2,527,244,618	2,457,493,804
Mobil Penumpang Bensin	521,898,457	525,283,383
Mobil Penumpang Solar	155,891,747	156,902,829
Bus	34,534,365	36,325,773
Truk	197,014,737	188,042,413

VKT paling besar dimiliki oleh sepeda motor sedangkan VKT paling kecil dari bus. Berikut adalah beban emisi dari sumber total.

**Tabel 10. Beban Emisi dari Sumber Total**

Parameter	2013	2014
TSP	509,27	496,16
NOX	6.220	6.073
SO <sub>2</sub>	296,05	290,33
HC	17.429	17.017
CO	58.729	57.835
CO <sub>2</sub> E	498.862	492.492

Emisi TSP terbesar dihasilkan oleh sepeda motor yaitu sebesar 288,67 ton/tahun, dan mobil penumpang bahan bakar premium menghasilkan emisi TSP terkecil yaitu 2,44 ton/tahun. Emisi NO<sub>x</sub> paling besar dihasilkan dari truk yaitu sebesar 3.382 ton/tahun dan bus menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> terkecil yaitu sebesar 413,56 ton/tahun. Truk menghasilkan emisi SO<sub>2</sub> paling besar yaitu 159,52 ton/tahun, emisi SO<sub>2</sub> terkecil dihasilkan oleh mobil penumpang bahan bakar premium yaitu rata-rata sebesar 12,70 ton/tahun. Penghasil HC terbesar yaitu dari sepeda motor sebesar 14.193 ton/tahun. Emisi CO terbesar dihasilkan dari sepeda motor sebesar 33.679 ton/tahun, sedangkan bus merupakan penghasil emisi CO terkecil yaitu sebesar 382,29 ton/tahun. CO<sub>2</sub> ekuivalen terbesar berasal dari sepeda motor yaitu sebesar 208.317 ton/tahun sedangkan emisi CO<sub>2</sub> terkecil dihasilkan dari bus sebesar 22.421 ton/tahun.

c. Emisi Sumber Area

Emisi sumber area yaitu emisi yang berada di jalan-jalan kecil suatu kota. Perhitungan emisi sumber area yaitu dengan mengurangi VKT total dan VKT sumber garis. Berikut adalah tabel VKT Sumber Area:

**Tabel 11. VKT Sumber Area**

VKT Sumber Area		
Jenis Kendaraan	2013	2014
Sepeda Motor	2,409,779,724	2,342,938,612
Mobil Penumpang Bensin	390,843,581	394,219,726
Mobil Penumpang Solar	116,745,485	117,753,944
Bus	28,414,778	30,203,125
Truk	171,348,594	163,551,818

VKT sumber area terbesar dimiliki oleh sepeda motor yaitu rata-rata pada tahun 2013 dan tahun 2014 sebesar 2.295.717.709 km/tahun. Sedangkan untuk nilai VKT terkecil dimiliki oleh bus yaitu sebesar 166.594.458 km/tahun.

Untuk mengetahui beban emisi dari sumber area dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 12. Beban Emisi Sumber Area

Parameter	2013	2014
TSP	461.90	449.96
NOX	5,260	5,134
SO <sub>2</sub>	247.74	243.01
HC	16,150	15,757
CO	51,449	50,606
CO <sub>2</sub> E	427,356	421,594

Emisi TSP terbesar dihasilkan oleh sepeda motor yaitu sebesar 275,49 ton/tahun, dan mobil penumpang bahan bakar premium menghasilkan emisi TSP terkecil yaitu 1,79 ton/tahun. Emisi NO<sub>x</sub> paling besar dihasilkan dari truk yaitu sebesar 2.949 ton/tahun dan bus menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> terkecil yaitu sebesar 340,74 ton/tahun. Truk menghasilkan emisi SO<sub>2</sub> paling besar yaitu 136,61 ton/tahun, emisi SO<sub>2</sub> terkecil dihasilkan oleh mobil penumpang bahan bakar premium yaitu rata-rata sebesar 9,30 ton/tahun. Penghasil HC terbesar yaitu dari sepeda motor sebesar 13.545 ton/tahun. Emisi CO terbesar dihasilkan dari sepeda motor sebesar 32.140 ton/tahun, sedangkan bus merupakan penghasil emisi CO terkecil yaitu sebesar 282,87 ton/tahun. CO<sub>2</sub> ekuivalen terbesar berasal dari sepeda motor yaitu sebesar 198.800 ton/tahun sedangkan emisi CO<sub>2</sub> terkecil dihasilkan dari bus sebesar 18.473 ton/tahun.

### 3. Perbandingan Hasil Beban Emisi Metode *Top Down* dan Metode *Bottom Up*

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan untuk semua jenis parameter maka hasilnya beban emisi dengan pendekatan *Bottom Up* atau berdasarkan jarak tempuh kendaraan lebih besar dibandingkan dengan hasil beban emisi dengan pendekatan *Top Down* atau berdasarkan konsumsi bahan bakar. Hal ini disebabkan perhitungan beban emisi dengan VKT didasari oleh pertimbangan jarak tempuh kendaraan tanpa mempertimbangkan lokasi pengisian BBM (Bahan Bakar Minyak) (Leopo,2007). Kemungkinan besar pengisian BBM dilakukan diluar kota Surakarta namun operasional kendaraan bermotor dilakukan di Kota Surakarta mengingat luas kota Surakarta yang kecil dan berbatasan langsung dengan 4 Kabupaten yaitu Boyolali, Karanganyar, Sukoharjo dan Klaten. Dengan kondisi tersebut, banyak masyarakat yang berdomisili di Surakarta namun mengisi BBM di luar Surakarta karena banyak masyarakat yang bekerja di daerah 4 kabupaten tersebut. Juga untuk jenis kendaraan bus dan truk yang jalur operasinya lebih banyak di luar kota Surakarta namun terdaftar di SAMSAT kota Surakarta sehingga sangat memungkinkan untuk pengisian BBM dilakukan di luar wilayah kota Surakarta.

Hal lain yang menyebabkan perhitungan beban emisi dengan pendekatan *Bottom Up* lebih tinggi dari pada dengan pendekatan *Top Down*

adalah faktor emisi. Faktor emisi dengan metode *Bottom Up* menggunakan regulasi nasional yaitu dari Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2012. Dengan menggunakan faktor emisi nasional maka lebih sesuai dengan kondisi kendaraan dan kondisi perjalanan yang ada di Indonesia. Sedangkan faktor emisi untuk metode *Top Down* menggunakan regulasi internasional seperti IPCC, CORINAIR dan US EPA. Faktor emisi dengan regulasi internasional kurang sesuai dengan kondisi kendaraan dan kondisi jalan di Indonesia. Pada umumnya kondisi kendaraan di daerah Eropa lebih baik dibandingkan di Indonesia.

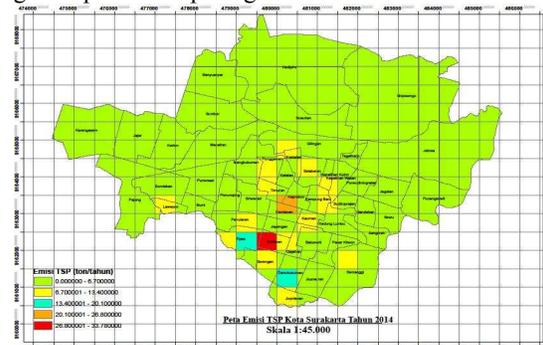
Perhitungan beban emisi semua parameter dengan pendekatan VKT sebanding lurus dengan jumlah kendaraan bermotor. Pada tahun 2013 sampai tahun 2014 kendaraan bermotor jenis mobil penumpang dan bus mengalami peningkatan sehingga nilai emisinya ikut meningkat sedangkan untuk jenis kendaraan sepeda motor dan truk mengalami penurunan jumlah kendaraan sehingga nilai emisinya juga menurun. Pada pendekatan bahan bakar, tahun 2013 sampai tahun 2014 konsumsi bahan bakar jenis premium mengalami peningkatan sedangkan untuk jenis solar mengalami penurunan.

### 4. Distribusi Spasial

Kota Surakarta terdiri dari 5 Kecamatan yaitu Laweyan, Serengan, Pasar Kliwon, Jebres dan Banjarsari. Untuk mengetahui pola sebaran emisi di kota Surakarta, maka dikaji kepadatan penduduk dan luas jalan di setiap grid. Peta spasial dibuat dengan memadukan data excel dan GIS untuk masing-masing pencemar. Sehingga dapat dipetakan nilai emisi untuk masing-masing parameter per gridnya.

#### TSP

Sebaran emisi TSP di Kota Surakarta untuk tiap grid dapat dilihat pada gambar 1.



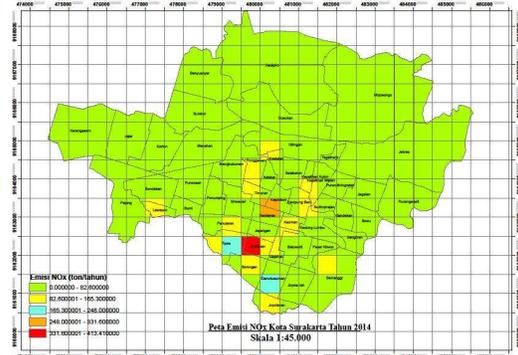
Gambar 1. Peta Distribusi Sebaran Emisi TSP

Dari gambar 1 terlihat bahwa sebagian besar sebaran grid emisi TSP berwarna hijau yaitu sebesar 0-6,7 ton/tahun. Nilai sebaran emisi TSP 6,700001-13,4 ton/tahun terdapat di 14 grid yang tersebar di beberapa desa. Nilai sebaran emisi TSP 13,400001-20,1 ton/tahun terdapat di 2 grid yaitu desa Tipes dan desa Danukusuman. Nilai sebaran

emisi TSP 20,100001-26,8 ton/tahun terdapat hanya di 1 grid yaitu di antara desa Kemlayan, Timuran dan Keprabon. Sedangkan untuk emisi TSP terbesar hanya ada di satu grid yaitu di desa Kratonan sebesar 26,8-33,78 ton/tahun. Hal ini dipengaruhi luas jalan di grid tersebut paling besar dan cukup padat penduduk.

#### NO<sub>x</sub>

Sebaran emisi NO<sub>x</sub> di Kota Surakarta untuk tiap grid dapat dilihat pada gambar 2.

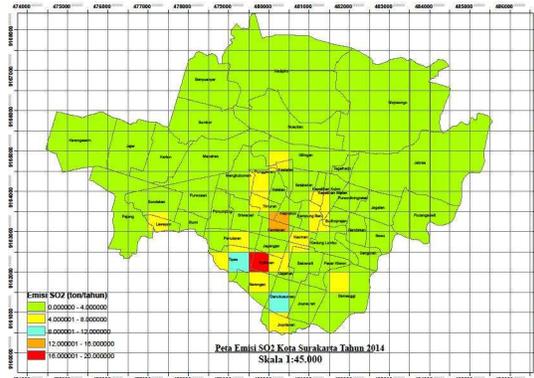


**Gambar 2. Peta Distribusi Sebaran Emisi NO<sub>x</sub>**

Dari gambar 2 terlihat bahwa sebagian besar sebaran grid emisi NO<sub>x</sub> berwarna hijau yaitu sebesar 0-82,6 ton/tahun. Nilai sebaran emisi NO<sub>x</sub> 82,600001-165,3 ton/tahun terdapat di 13 grid yang tersebar di beberapa desa. Nilai sebaran emisi NO<sub>x</sub> 165,300001-248 ton/tahun terdapat di 2 grid yaitu desa Tipes dan desa Danukusuman. Nilai sebaran emisi NO<sub>x</sub> 248,000001-331,6 ton/tahun terdapat hanya di 1 grid yaitu di antara desa Kemlayan, Timuran dan Keprabon. Sedangkan untuk emisi NO<sub>x</sub> terbesar hanya ada di satu grid yaitu di desa Kratonan sebesar 331,600001-413,41 ton/tahun. Hal ini dipengaruhi luas jalan di grid tersebut paling besar dan cukup padat penduduk.

#### SO<sub>2</sub>

Sebaran emisi CO<sub>2</sub> di Kota Surakarta untuk tiap grid dapat dilihat pada gambar 3.



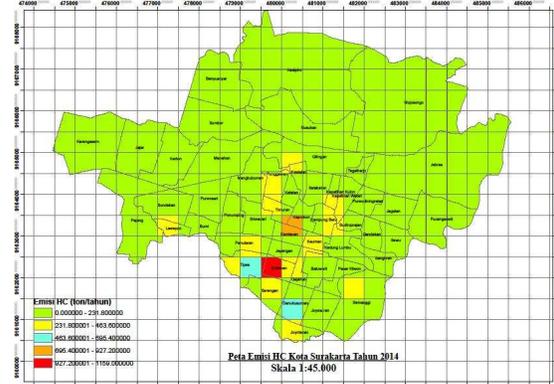
**Gambar 3. Peta Distribusi Sebaran Emisi SO<sub>2</sub>**

Dari gambar 3 terlihat bahwa sebagian besar sebaran grid emisi SO<sub>2</sub> berwarna hijau yaitu sebesar 0-4 ton/tahun. Nilai sebaran emisi SO<sub>2</sub> 4,000001-8 ton/tahun terdapat di 13 grid yang

tersebar di beberapa desa. Nilai sebaran emisi SO<sub>2</sub> 8,000001-12 ton/tahun terdapat di 2 grid yaitu desa Tipes dan desa Danukusuman. Nilai sebaran emisi SO<sub>2</sub> 12,000001-16 ton/tahun terdapat hanya di 1 grid yaitu di antara desa Kemlayan, Timuran dan Keprabon. Sedangkan untuk emisi SO<sub>2</sub> terbesar hanya ada di satu grid yaitu di desa Kratonan sebesar 16,000001-20 ton/tahun. Hal ini dipengaruhi luas jalan di grid tersebut paling besar dan cukup padat penduduk.

#### HC

Sebaran emisi HC di Kota Surakarta untuk tiap grid dapat dilihat pada gambar 4.

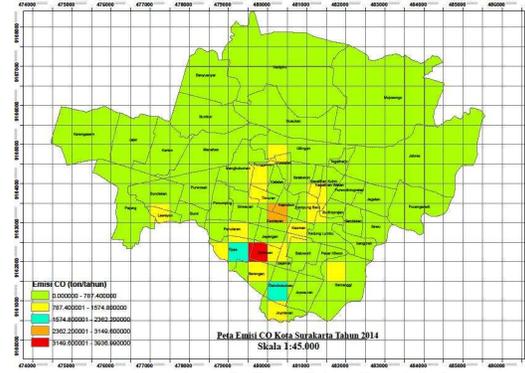


**Gambar 4. Peta Distribusi Sebaran Emisi HC**

Dari gambar 4 terlihat bahwa sebagian besar sebaran grid emisi HC berwarna hijau yaitu sebesar 0-231,8 ton/tahun. Nilai sebaran emisi HC 231,800001-463,6 ton/tahun terdapat di 14 grid yang tersebar di beberapa desa. Nilai sebaran emisi HC 463,600001-695,4 ton/tahun terdapat di 2 grid yaitu desa Tipes dan desa Danukusuman. Nilai sebaran emisi HC 695,400001-927,2 ton/tahun terdapat hanya di 1 grid yaitu di antara desa Kemlayan, Timuran dan Keprabon. Sedangkan untuk emisi HC terbesar hanya ada di satu grid yaitu di desa Kratonan sebesar 927,200001-1.159 ton/tahun. Hal ini dipengaruhi luas jalan di grid tersebut paling besar dan cukup padat penduduk.

#### CO

Sebaran emisi CO di Kota Surakarta untuk tiap grid dapat dilihat pada gambar 5.

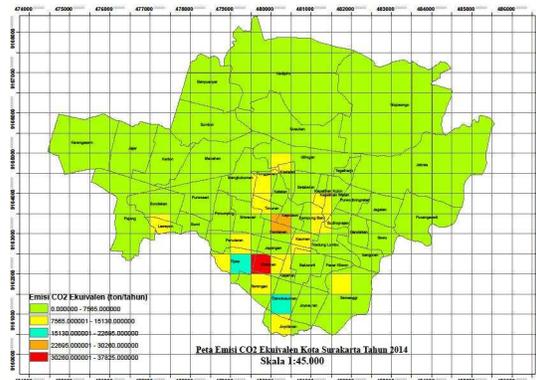


**Gambar 5. Peta Distribusi Sebaran Emisi CO**

Dari gambar 5 terlihat bahwa sebagian besar sebaran grid emisi CO berwarna hijau yaitu sebesar 0-787,4 ton/tahun. Nilai sebaran emisi CO 787,400001-1.574,8 ton/tahun terdapat di 13 grid yang tersebar di beberapa desa. Nilai sebaran emisi CO 1.574,00001-2.362,2 ton/tahun terdapat di 2 grid yaitu desa Tipes dan desa Danukusuman. Nilai sebaran emisi CO 2.362,200001-3.149,6 ton/tahun terdapat hanya di 1 grid yaitu di antara desa Kemlayan, Timuran dan Keprabon. Sedangkan untuk emisi CO terbesar hanya ada di satu grid yaitu di desa Kratonan sebesar 3.149,600001-3.936,99 ton/tahun. Hal ini dipengaruhi luas jalan di grid tersebut paling besar dan cukup padat penduduk.

#### CO<sub>2</sub> Ekuivalen

Sebaran emisi CO<sub>2</sub> Ekuivalen di Kota Surakarta untuk tiap grid dapat dilihat pada gambar 6.



**Gambar 6. Peta Distribusi Sebaran Emisi CO<sub>2</sub> Ekuivalen**

Dari gambar 6 terlihat bahwa sebagian besar sebaran grid emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen berwarna hijau yaitu sebesar 0-7.565 ton/tahun. Nilai sebaran emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen 7.565,000001-15.130 ton/tahun terdapat di 13 grid yang tersebar di beberapa desa. Nilai sebaran emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen 15.130,000001-22.695 ton/tahun terdapat di 2 grid yaitu desa Tipes dan desa Danukusuman. Nilai sebaran emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen 22.695,000001-30.260 ton/tahun terdapat hanya di 1 grid yaitu di antara desa Kemlayan, Timuran dan Keprabon. Sedangkan untuk emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen terbesar hanya ada di satu grid yaitu di desa Kratonan sebesar 30.260,000001-37.825 ton/tahun. Hal ini dipengaruhi luas jalan di grid tersebut paling besar dan cukup padat penduduk.

#### 5. Prediksi Total Beban Emisi Kota Surakarta

Inventarisasi emisi selain bermanfaat untuk mengetahui beban emisi di kota tertentu dan untuk mengetahui sebaran distribusi emisinya juga bermanfaat untuk menyajikan prediksi total beban emisi di beberapa tahun mendatang (Purwanto, 2015). Berdasarkan data SAMSAT Kota Surakarta tahun 2015, pertumbuhan volume kendaraan bermotor kota Surakarta dari tahun 2008 sampai

tahun 2014 rata-rata sebesar 0,05% tiap tahunnya. Pada tahun 2008 jumlah kendaraan di kota Surakarta sebesar 240.017 meningkat menjadi 333.456 pada tahun 2014. Prediksi total beban emisi tahun 2015 sampai tahun 2020 dihitung berdasarkan rata-rata pertumbuhan volume tiap jenis kendaraan tiap tahunnya.

**Tabel 13. Prediksi Total Beban Emisi Kota**

**Surakarta**

Prediksi Total Beban Emisi Kota Surakarta (Ton/tahun)						
Tahun Prediksi	TSP	NOX	SO <sub>2</sub>	HC	CO	CO <sub>2</sub> E
2015	513	6.498	310,10	17.100	58.303	502.004
2016	535	6.743	321,36	17.967	61.380	526.682
2017	558	7.000	333,12	18.878	64.623	552.674
2018	582	7.268	345,42	19.836	68.041	580.049
2019	607	7.548	358,27	20.843	71.644	608.885
2020	634	7.841	371,71	21.901	75.440	639.262

Besarnya prediksi beban emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen pada tiap tahunnya hingga tahun 2020 dari sektor transportasi darat akan berampak langsung pada peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sehingga menyebabkan perubahan iklim global dan peningkatan suhu bumi diikuti dengan meningkatnya permukaan air laut akibat pencairan es di wilayah kutub (Purwanto, 2015).

Ditinjau dari hasil prediksi yang menyebutkan bahwa kendaraan pribadi seperti mobil penumpang dan sepeda motor menghasilkan beban emisi terbesar maka menurut Sihombing (2008), perlu dilakukan pembatasan jumlah kendaraan khususnya kendaraan pribadi sedangkan untuk kendaraan umum perlu pengevaluasian antara jumlah kendaraan yang beroperasi dengan kebutuhan masyarakat.

#### KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu :

1. Hasil perhitungan beban emisi berdasarkan metode *Top Down* dan *Bottom Up*, yaitu :
  - Beban emisi TSP dengan metode *Top Down* pada tahun 2014 sebesar 196,50 ton/tahun, sedangkan dengan metode *Bottom Up* sebesar 496,16 ton/tahun.
  - Beban emisi NO<sub>x</sub> rata-rata pada tahun 2013 dan tahun 2014 dengan metode *Top Down* sebesar 860,75 ton/tahun, sedangkan dengan metode *Bottom Up* sebesar 6.147 ton/tahun.
  - Beban emisi SO<sub>2</sub> pada tahun 2014 dengan menggunakan metode *Top Down* sebesar 6,14 ton/tahun, sedangkan dengan metode *Bottom Up* sebesar 290,33 ton/tahun.
  - Beban emisi HC rata-rata pada tahun



- 2013 dan tahun 2014 dengan metode *Top Down* sebesar 489,95 ton/tahun, sedangkan dengan metode *Bottom Up* sebesar 17.233 ton/tahun.
- Beban emisi CO dengan metode *Top Down* pada tahun 2013 dan tahun 2014 rata-rata sebesar 35.772 ton/tahun, sedangkan dengan metode *Bottom Up* rata-rata sebesar 58.282 ton/tahun.
  - Beban emisi CO<sub>2</sub> Ekuialen rata-rata pada tahun 2013 dan tahun 2014 dengan metode *Top Down* sebesar 327.358 ton/tahun, sedangkan dengan metode *Bottom Up* sebesar 495.677 ton/tahun.
2. Hasil perhitungan beban emisi dengan metode *Bottom Up* lebih besar dari metode *Top Down* dari semua jenis parameternya. Hal ini disebabkan karena perhitungan dengan metode *Bottom Up* didasari oleh jarak tempuh kendaraan tanpa mempertimbangkan lokasi pengisian BBM yang kemungkinan besar dilakukan di luar wilayah Kota Surakarta.
  3. Distribusi spasial untuk emisi TSP, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, CO dan CO<sub>2</sub> ekuivalen hampir sama di setiap wilayah grid. Nilai emisi untuk masing-masing parameter dibagi dalam lima kelompok nilai emisi yang dilambangkan dengan warna yang berbeda-beda per kelompok emisinya.
- SARAN**
1. Perlu ditingkatkan kualitas dan kuantitas transportasi umum di Kota Surakarta seperti BST (Batik Solo Trans) dengan memperbanyak jumlah armada dan jumlah koridor serta memeriksa kondisi fisik BST secara rutin.
  2. Perlu diadakan penyuluhan kepada masyarakat Kota Surakarta untuk melaksanakan jadwal servis berkala secara rutin demi menjaga kinerja mesin sehingga mengurangi beban emisi pencemaran udara.
  3. Perlu diadakan rencana jangka panjang kepada Dinas Perhubungan Kota Surakarta untuk merencanakan jalan raya dan pertukaran yang baik dengan mengatur jalan searah, jalan putaran atau jalan alternatif.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Adisasmita, R. dan Sakti, A. A. 2011. *Manajemen Transportasi Darat*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ariani, Miranti dan Setyanto, Prihasto. 2007. *Pengaruh Pemberian Jerami dan Pupuk Kandang terhadap Emisi N<sub>2</sub>O dan Hasil Padi pada Sistem Integrasi Tanaman Ternak*. Jurnal. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- Arikunto, Suharsimi. 2010. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta. 2009. *Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Provinsi DKI Jakarta Buku 2 Perkiraan Beban Emisi Pencemar Udara dan Gas Rumah Kaca*. Jakarta: BPLH Daerah Provinsi DKI Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2014. *Surakarta Dalam Angka 2013/2014*. Surakarta: Badan Pusat Statistik Kota Surakarta.
- CORINAIR. 2003. *Atmospheric Emission Inventory Guidebook 3th Edition*. European Environment Agency
- Dinas Perhubungan Komunikasi dan Informasi Kota Surakarta Tahun 2015
- Edelwisa, Zahra dan Driejana. 2009. *Perbandingan Estimasi Beban Emisi CO dan CO<sub>2</sub> dengan Pendekatan Konsumsi Bahan Bakar dan Kecepatan Kendaraan (Studi Kasus : Bunderan Cibiru-Lembang)*. Jurnal. Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius
- Gindo, Agus dan Hari Budi. 2006. *Pengukuran Partikel Udara Ambien (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) di Sekitar Calon Lokasi PLTN Semenanjung Lemahabang*. Jurnal. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif Batan
- IPCC. 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 2 : Energy
- Kalghatgi, Gautam, T . 2014. *The Outlook For Fuels For Internal Combustion Engines*. International Journal of Engine Research. Sage
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II-Vol. 1 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi*
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2013. *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan*.
- Nahas, C. A. , Setiawan, B. dan Herizal. 2008. *Analisis Konsentrasi Metana Atmosferik di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang*. Jurnal. Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Nur, Y. , Lestari, P. dan Uttari, I. 2010. *Inventori Emisi Gas Rumah Kaca (CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>) dari Sektor Transportasi di DKI Jakarta Berdasarkan Konsumsi Bahan Bakar*. Jurnal. Program Studi Teknik Lingkungan.



- Institut Teknologi Bandung.  
Pertamina UPMS IV Semarang Tahun 2015  
PP nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- Purwanto, C. P. 2015. *Inventarisasi Emisi Sumber Bergerak di Jalan (On Road) Kota Denpasar*. Tesis. Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Udayana.
- SAMSAT Kota Surakarta Tahun 2015.
- Sandjaja, B., dan Albertus Heriyanto. 2006. *Panduan Penelitian*. Jakarta: Prestasi Pustaka.
- Sihombing, A. L. SM. 2008. *Inventori Emisi Gas Rumah Kaca (CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>) Dari Sektor Transportasi Dengan Pendekatan Jarak Tempuh Kendaraan dan Konsumsi Bahan Bakar Dalam Upaya Pengelolaan Kualitas Udara Di Wilayah Kota Dan Kabupaten Bandung*. Tesis. Magister Teknologi Manajemen Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.
- Sim, S. , Oh, J. , Jeong B. 2013. *Measuring Greenhouse Gas Emissions For The Transportation Sector In Korea*. Ann Oper Res. Springer Science.
- Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Supriyadi, Eko. 2009. *Penerapan Model Finite Length Line Source Untuk Menduga Konsentrasi Polutan Dari Sumber Garis (Studi Kasus : Jl. M.H Thamrin, DKI Jakarta*. Jurnal. Departemen Geofisika dan Meteorologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam: Institut Pertanian Bogor.
- U.S Environmental Protection Agency (EPA) *Compilation of Air Pollution Emission Factors, Volume 1, Fifth Edition AP-42.1997*. Washington DC.U.S.A
- Wardhana, Wisnu Arya. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset.