

KAJIAN BEBAN EMISI PENCEMAR UDARA (TSP, NO_x, SO₂, HC, CO) DAN GAS RUMAH KACA (CO₂, CH₄, N₂O) SEKTOR TRANSPORTASI DARAT KOTA YOGYAKARTA DENGAN METODE *TIER 1* DAN *TIER 2*

Velida Lustria Tiarani^{*)}, Endro Sutrisno^{**)}, Haryono Setyo Huboyo^{**)}

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

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

email : velida.lustria@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Kota Yogyakarta berdampak pada peningkatan beban emisi pencemar udara konvensional (NO_x, SO₂, HC, CO dan TSP) dan Gas Rumah Kaca (CO₂, CH₄ dan N₂O). Pencemar udara konvensional dan Gas Rumah Kaca dianalisis untuk mengetahui beban emisi yang dihasilkan dari tiap jenis kendaraan bermotor dan dari konsumsi bahan bakar minyak. Perhitungan beban emisi dilakukan dengan menggunakan metode Tier 1 dan Tier 2, dimana metode Tier 1 dengan pendekatan konsumsi bahan bakar dan metode Tier 2 dengan pendekatan jarak tempuh kendaraan (VKT). Beban emisi yang paling besar dihasilkan dari metode Tier 1 adalah CO₂e yaitu mencapai 283.481 ton/tahun. Dengan metode tersebut didapatkan hasil bahwa premium menghasilkan pencemar yang lebih banyak daripada solar. Sedangkan emisi yang dihasilkan dari perhitungan Tier 2 mendapatkan emisi CO₂e sebagai polutan tertinggi yang dihasilkan dari jarak tempuh kendaraan bermotor, yaitu mencapai 581.568 ton/tahun. Emisi CO₂e merupakan penjumlahan dari parameter pencemar CO₂, CH₄ (CO₂ relatif) dan N₂O (CO₂ relatif). Emisi yang dihasilkan dari metode Tier 2 lebih besar dibandingkan emisi yang dihasilkan dari metode Tier 1, karena perhitungan emisi dengan VKT tidak mempertimbangkan lokasi pemenuhan kebutuhan BBM yang kemungkinan diperoleh diluar wilayah studi. Selain itu faktor emisi Tier 2 juga telah memperhitungkan kondisi bahan bakar di negara Indonesia, maka tingkat ketidakpastian (uncertainty) pada Tier 2 lebih baik dibanding dengan tingkat ketidakpastian pada Tier 1. Distribusi spasial pencemar udara konvensional (NO_x, SO₂, HC, CO dan TSP) dan Gas Rumah Kaca paling besar berada pada grid 44 dan 45 yaitu Desa Sosromeduran dan Pringgokusuman. Pemerintah Kota Yogyakarta telah menerapkan beberapa upaya untuk mereduksi emisi Gas Rumah Kaca akibat sektor transportasi darat, antara lain: Program ITS-ATCS, Program BRT System, Program Car Free Day, Program Manajemen Parkir dan Program Smart Driving.

Kata Kunci: Pencemar Udara Konvensional, Gas Rumah Kaca, Metode Tier 1, Metode Tier 2, Distribusi Spasial

Abstract

[The Emission Study of Air Pollutants (TSP, NO_x, SO₂, HC, CO) and Greenhouse Gases (CO₂, CH₄, N₂O) Road Transportation Sector in Yogyakarta City With Tier1 and Tier2 Method]. The increasing number of vehicles in the city of Yogyakarta have an impact on the increase of the emissions of conventional air pollutants (NO_x, SO₂, HC, CO and TSP) and Greenhouse Gases (CO₂, CH₄ and N₂O). Conventional air pollutants and Greenhouse Gases are analyzed to determine the burden of emissions generated from each type of motor vehicle and from fuel consumption. Calculation of emissions is done by using Tier1 and Tier2 method, where the Tier1 method with the approach of fuel consumption and Tier2 method with the approach of vehicle kilometer travelled (VKT). The emission of the greatest produced of the Tier 1 is CO₂e at 283.481 tons/year. With this method showed that the premium produce more pollutants than diesel. While emissions resulting from the calculation of Tier2 get CO₂e emissions as highest pollutants resulting from motor vehicle mileage, which reached 581.568 tons/year. CO₂e emissions is the parameter summation of the polluter CO₂, CH₄ (CO₂ relative) and N₂O (CO₂ relative). Emissions resulting from the Tier2 method is greater than the emissions generated from Tier1 method, because the calculation of emissions with VKT does not consider the location of fulfillment of fuel that possibility is obtained outside the study area. In addition, the Tier 2 emission factors also consider the condition of fuel in the country, then degree of uncertainty on tier 2 better than degree of uncertainty in tier 1. The spatial distribution of conventional air pollutants (NO_x, SO₂, HC, CO and TSP) and Greenhouse Gases are the largest on the grid 44 and 45, namely the Village Sosromeduran and Pringgokusuman. Yogyakarta City Government has implemented several efforts to reduce Greenhouse Gas emissions due to land transport sectors, among others: ITS-ATCS Program, BRT System Program, Car Free Day Program, Parking Management Program and Smart Driving Program.

Keywords: Conventional Air Pollutants, Greenhouse Gases, Tier1 Method, Tier2 Method, Spatial Distribution.

PENDAHULUAN

Peningkatan teknologi disektor transportasi darat sangat pesat di Indonesia. Hal tersebut mempermudah aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhannya. Namun, hal tersebut juga berdampak negatif, selain semakin meningkatnya penjualan kendaraan bermotor, emisi yang dihasilkan juga semakin meningkat. Emisi tersebut menyebabkan peningkatan suhu di permukaan bumi yang menyebabkan *Global Warming*. Efek rumah kaca, pemanasan global (*Global Warming*), dan perubahan iklim merupakan tiga hal yang saling bertautan. Efek Rumah Kaca adalah proses absorpsi dan pembuangan radiasi inframerah oleh bermacam gas di atmosfer. Gas-gas tersebut antara lain karbondioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrous oksida (N_2O). Pemanasan global disebabkan karena adanya kegiatan industri, kendaraan bermotor, produksi listrik, kebakaran hutan, dan kegiatan pertambangan yang semakin meningkat. Produksi listrik dan transportasi adalah 2 (dua) sumber utama emisi CO_2 yakni sebesar 37% (dari produksi listrik dan energi) dan 22% (dari transportasi) (Kuncoro Sejati, 2011).

Peningkatan jumlah emisi gas rumah kaca mendorong terjadinya pemanasan global. Karbondioksida dan metana adalah 2 (dua) zat utama penyebab efek rumah kaca. Efek rumah kaca yang dihasilkan oleh metana lebih kuat daripada karbondioksida. Gas CO_2 bertahan di atmosfer selama 50-200 tahun, N_2O selama 114-120 tahun, CH_4 dan pengganti CFC selama 12 tahun. Laporan IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) yang terangkum dalam *Fourth Assessment Report* (AR₄) 2007 menyebutkan bahwa akselerasi emisi CO_2 sejak tahun 2000 mengalami kenaikan lebih dari 3% per tahun atau lebih dari 2 ppm per tahun (Kuncoro Sejati, 2011).

Sumber pencemar udara di Indonesia sebagian besar (sekitar 75%) berasal dari gas buang hasil pembakaran bahan bakar fosil, termasuk yang digunakan untuk sektor transportasi (Wardhana, 1995). Kendaraan bermotor mengeluarkan gas karbonmonoksida (CO), nitrogen oksida (NO), sulfur dioksida (SO_2) dan hidrokarbon (HC) sehingga menyumbang 1/3 dari total gas pencemar udara (Kuncoro Sejati, 2011). Oleh karena itu, penelitian ini terkait beban emisi pencemar udara dan gas rumah kaca yang akan digunakan sebagai landasan dalam pembuatan kebijakan publik terutama di Kota Yogyakarta. Data hasil emisi sumber pencemar udara dan gas rumah kaca yang diperoleh, digunakan untuk menyusun inventarisasi emisi pencemar udara Kota Yogyakarta untuk mempermudah pemerintah dalam pengambilan keputusan pengelolaan kualitas udara.

Tujuan dari penelitian ini ialah menghitung beban emisi pencemar udara (TSP, NO_x , SO_2 , HC, CO) dan gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 , N_2O) untuk Kota Yogyakarta pada sektor transportasi darat dan

menentukan distribusi spasial pencemaran udara berdasarkan VKT.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diambil dari instansi-instansi di Kota Yogyakarta, seperti BPS Provinsi DIY, Ditlantas POLDA DIY, PT Pertamina (Persero) UPMS-IV Semarang dan Dishub Kota Yogyakarta. Dan data primer yang dibutuhkan yaitu data jarak tempuh (VKT) tiap jenis kendaraan dari bengkel-bengkel resmi di Kota Yogyakarta. Pengambilan data primer dilakukan dengan metode observasi dan wawancara.

Pelaksanaan Tugas Akhir adalah empat bulan dimulai pada tanggal 1 Juni 2015 sampai 30 September 2015. Jangka waktu pengambilan data dimulai dari bulan Juli 2015. Kemudian data yang didapatkan diolah menggunakan metode Tier 1 dan Tier 2.

Teknik pengerjaan penelitian meliputi tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan dan tahap analisa data.

1. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan beberapa kegiatan, seperti mencari dan mempelajari literatur, jurnal, dan buku terkait dengan emisi pencemar udara konvensional dan gas rumah kaca pada sektor transportasi darat dan membuat surat izin permintaan data kepada instansi terkait, seperti BPS Provinsi DIY, Ditlantas POLDA DIY, Kantor PT Pertamina (Persero) UPMS-IV Semarang dan Dinas Perhubungan Provinsi DIY.

2. Tahap Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, seperti pengumpulan data primer untuk mendapatkan data jarak tempuh tiap jenis kendaraan dari bengkel-bengkel resmi di Kota Yogyakarta, dan jenis teknologi kendaraan bermotor yang digunakan, serta permintaan data sekunder ke instansi-instansi terkait data yang dibutuhkan.

3. Analisa Data

Perhitungan emisi menggunakan Tier 1 dan Tier 2 kemudian dibandingkan. Perhitungan Tier 1 berdasarkan jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan tiap jenis kendaraan dikalikan dengan faktor emisi. Sedangkan metode Tier 2 menggunakan faktor emisi berbasis kilometer jalan kendaraan (*vehicle kilometer traveled*-VKT atau panjang perjalanan rerata kendaraan per tahun). Langkah-langkah penyusunan emisi sumber bergerak *on-road* dengan menggunakan Tier 1 dan Tier 2 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013):

A. Mengumpulkan Data Jumlah Kendaraan, Komposisi Per Jenis Kendaraan Bermotor dan Konsumsi Bahan Bakar di Kota Yogyakarta

Data jumlah kendaraan per jenis kendaraan dan komposisi kendaraan dapat diperoleh dari instansi terkait seperti SAMSAT, Dinas Perhubungan dan Kepolisian Daerah atau dari studi-studi sebelumnya yang dilakukan oleh peneliti atau institusi riset. Komposisi atau jenis kendaraan yang akan digunakan untuk penelitian ini, antara lain: sepeda motor, mobil penumpang, bus dan truk. Kemudian menentukan komposisi kendaraan berdasarkan tahun pembuatan (mulai tahun ≤ 2010 , 2011, 2012, 2013, dan 2014) dan jenis bahan bakar agar dapat menentukan faktor emisi yang tepat. Data konsumsi bahan bakar merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi PT Pertamina (Persero) UPMS-IV Semarang khusus untuk sektor transportasi darat. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah bensin dan solar.

B. Menghitung Emisi Sumber Bergerak Pada Jalan Utama

➤ Tier 1

Perhitungan emisi dengan Tier 1 berdasarkan pada konsumsi bahan bakar. Perhitungannya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (IPCC, 2006) :

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

Dimana, Emission = Beban emisi polutan tertentu (kg)

Fuel a = konsumsi bahan bakar jenis a (TJ)

FE a = faktor emisi (kg/TJ)

A = jenis bahan bakar (seperti premium, solar)

➤ Tier 2

Metode Tier 2 menggunakan faktor emisi berbasis kilometer jalan kendaraan (*vehicle kilometer travelled*-VKT atau panjang perjalanan rerata kendaraan per tahun). Untuk jaringan jalan utama, emisi diperlakukan sebagai sumber garis atau *line source*.

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

$$E_{cji} = \text{VKT}_{ji} \cdot \text{EF}_{cj} (100-C)/100$$

Dimana, $\text{VKT}_{j,\text{line}}$ = 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_{cji} = emisi pencemar c untuk kendaraan kategori j pada ruas jalan i

C = efisiensi peralatan pengendali emisi (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Untuk jaringan jalan kecil, emisi diperlakukan sebagai Sumber Area. Sebab dalam hal data jaringan jalan dan volume lalu lintas jalan-jalan kecil tidak tersedia, maka emisi dihitung sebagai

sumber area. Untuk emisi Sumber Area, VKT-nya dihitung dengan mengurangkan VKT total sumber bergerak dengan VKT sumber garis (KLH, 2013).

Total VKT sumber bergerak area = total VKT sumber bergerak – total VKT sumber bergerak garis.

Total VKT sumber bergerak 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:

$$\text{VKT}_{b,c} = \overline{\text{VKT}}_{b,c \text{ odo}} \cdot N_{b,c}$$

Dimana: $\overline{\text{VKT}}_{b,c \text{ odo}}$ = VKT kendaraan kategori b dan berbahan bakar c berdasarkan survei odometer (km/tahun)

$\text{VKT}_{b,c}$ = 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

Bacaan odometer diperoleh dari survey ke bengkel-bengkel resmi di Kota Yogyakarta. Jumlah bengkel resmi yang akan digunakan untuk survey hanya beberapa sampel bengkel, begitu pula dengan jumlah kendaraan yang akan dilihat bacaan odometernya hanya diambil beberapa sampel. Menurut Wiratna Sujarweni (2008), jumlah anggota sampel sering dinyatakan dengan ukuran sampel. Untuk menentukan jumlah sampel dapat menggunakan Rumus Slovin:

$$n = \frac{N}{1 + (N \times e^2)}$$

Dimana:

n = Ukuran sampel

N = Populasi

e^2 = prosentase kesalahan pengambilan sampel yang masih diinginkan.

C. Memilih faktor emisi

Tier 1

Faktor emisi mengacu pada faktor emisi internasional, seperti IPCC, CORINAIR dan US EPA.

Tabel 1. Faktor Emisi Metode Tier 1

Pencemar	Premium	Solar
TSP (g/kg) ^(a)	2,2	1,52
NOx (g/kg) ^(a)	6,64	14,91
CO (g/kg) ^(a)	497,7	7,4
HC (g/mile) ^(b)	0,184	0,29
CO ₂ (kg/TJ) ^(c)	69.300	74.100
CH ₄ (kg/TJ) ^(c)	33	3,9
N ₂ O (kg/TJ) ^(c)	3,2	3

Sumber: ^(a)CORINAIR (2009); ^(b)US EPA (1995); ^(c)IPCC (2006)

Sedangkan untuk parameter SO₂

diestimasi dengan asumsi bahwa semua sulfur dalam bahan bakar berubah secara sempurna menjadi SO_2 dengan menggunakan rumus (CORINAIR, 2009) :

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

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

Tier 2

Faktor emisi mengacu pada faktor emisi nasional (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah).

Tabel 2. Faktor Emisi Metode Tier 2

Pencemar	Sepeda Motor	Mobil Bensin	Mobil Solar	Bus	Truk
TSP (g/km)	0,24	0,01	0,53	1,4	1,4
NOx (g/km)	0,29	2	3,5	11,9	17,7
SO2 (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
CO2 (g/km)	3180	3180	3172	3172	3172
CH4 (g/km)	0,26	0,07	0,01	0,06	0,01
N2O (g/km)	0,002	0,005	0,014	0,031	0,031

Sumber : K LH, 2013

D. 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. Persamaan dasar yang digunakan untuk menghitung distribusi spasial panjang perjalanan adalah:

Untuk grid k :

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

Dimana:

$VKT_{b,c,k}$ = 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

$K_1^k = \frac{ap_k}{pt}$ = faktor pembobot kepadatan penduduk

$K_2^k = \frac{(1 - \alpha) L_k}{Lt}$ = faktor pembobot luas jalan

p_k = penduduk di zona/grid k

pt = total penduduk di wilayah inventarisasi

L_k = luas jalan di zona/grid k

Lt = total luas jalan di wilayah inventarisasi

α = faktor (dalam fraksi dari 0 - 1) yang mendefinisikan pengaruh penduduk dan luas jalan terhadap panjang perjalanan kendaraan. Untuk Indonesia, ditetapkan nilai $\alpha = 0,35$.

Setelah diketahui distribusi panjang perjalanan kendaraan untuk setiap kategori di setiap zona/grid, selanjutnya dihitung beban pencemar per kategori kendaraan dengan mengalikan panjang perjalanan dan faktor emisi per kategori di setiap zona/grid. Kemudian untuk mendapatkan beban pencemar total di setiap zona/grid, seluruh beban pencemar per kategori kendaraan dijumlahkan. Hasil sebaran data emisi per parameter didistribusikan ke dalam peta geografis menggunakan metode Sistem Informasi Geografis (SIG).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perhitungan Emisi Metode Tier 2

Perhitungan emisi sumber pencemar dengan metode Tier 2, berdasarkan pendekatan jarak tempuh kendaraan atau *vehicle kilometer travelled* (VKT). Pada metode Tier 2, perhitungan emisi sumber bergerak dilakukan dengan 3 langkah, yaitu sumber bergerak total, sumber bergerak garis dan sumber bergerak area.

a. Emisi Sumber Garis

Perhitungan emisi sumber garis didapat dari perkalian VKT dengan faktor emisi. Jarak tempuh kendaraan bermotor atau VKT untuk sumber garis diperoleh dengan mengalikan panjang ruas jalan utama i (satuan km) dengan volume kendaraan tiap kategori pada ruas jalan tersebut (satuan kendaraan/tahun). Volume kendaraan dan panjang ruas jalan utama didapatkan data sekunder dari Dishub DIY. Kemudian VKT Sumber Garis dapat dihitung.

Tabel 3. VKT Sumber Garis

Jenis Kendaraan	2013	2014
Sepeda Motor	102.742.650	110.714.063
Mobil Penumpang (Bensin)	34.752.742	38.147.906
Mobil Penumpang (Solar)	10.380.689	11.394.829
Bus	4.793.022	4.703.653
Truk	4.278.379	4.317.235

b. Emisi Sumber Total

Perhitungan emisi sumber total dilakukan dengan mengalikan VKT Total dengan faktor emisi. VKT untuk sumber total diperoleh dengan mengalikan VKT Odometer per jenis kendaraan (satuan km/tahun) dengan jumlah kendaraan per jenis kendaraan.

Tabel 4. VKT Sumber Total

Jenis Kendaraan	2013	2014
Sepeda Motor	3.309.915.980	3.567.037.216
Mobil Penumpang (Bensin)	525.438.077	570.275.171
Mobil Penumpang (Solar)	156.949.036	170.341.934
Bus	48.652.800	47.712.000
Truk	148.269.487	149.604.714

Berdasarkan tabel diatas, VKT Total paling besar adalah pada kendaraan jenis sepeda motor. Meskipun VKT odometer sepeda motor paling kecil dibandingkan dengan jenis kendaraan lain, namun jumlah kendaraan sepeda motor paling besar dari tahun ke tahun.

c. Emisi Sumber Area

Jarak tempuh kendaraan atau VKT sumber area didapat dari VKT Total tiap jenis kendaraan dikurangi dengan VKT Garis tiap jenis kendaraan.

Tabel 5. VKT Sumber Area

Jenis Kendaraan	2013	2014
Sepeda Motor	3.207.173.329	3.456.323.153
Mobil Penumpang (Bensin)	490.685.335	532.127.265
Mobil Penumpang (Solar)	146.568.347	158.947.105
Bus	43.859.778	43.008.347
Truk	143.991.107	145.287.480

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa VKT Area paling besar yaitu kendaraan sepeda motor, karena VKT Total kendaraan sepeda motor juga paling besar diantara kendaraan lain dengan perbandingan yang cukup signifikan. Dilihat dari tabel diatas, nilai VKT Area tiap jenis kendaraan dari tahun ke tahun selalu meningkat, hal tersebut tergantung dari besarnya pemakaian pengendara pada dari tahun ke tahun pada VKT Total dan volume kendaraan tiap tahun yang semakin meningkat pada sumber garis.

d. Emisi Sumber Pencemar NOx

Emisi NOx terbesar berasal dari kendaraan truk. Pada Sumber Garis, rata-rata emisi NOx kendaraan truk mencapai 73,65 ton/tahun. Pada Sumber Total, rata-rata emisi NOx yang dihasilkan truk sebesar 2.581 ton/tahun. Pada Sumber Area, rata-rata emisi NOx yang dihasilkan kendaraan truk sebesar 2.506 ton/tahun.

Faktor emisi NOx untuk kendaraan truk paling besar, yaitu 17,7 g/km, meskipun jumlah kendaraan truk terbesar ketiga setelah sepeda motor dan mobil penumpang (bensin). Truk dengan bakar bakar solar yang termasuk mesin diesel modern menimbulkan jauh lebih banyak polusi NOx dan partikulat dibandingkan dengan mesin bensin.

Namun, teknologi hemat biaya yang ada dapat mengurangi emisi NOx dan partikulat dari kendaraan diesel yang baru, seperti penggunaan konverter katalitis (Dewan Nasional Perubahan Iklim, 2010). Emisi NOx dipengaruhi oleh kepadatan penduduk, karena sumber utama NOx yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran, dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan bermotor (Fardiaz, 1992). Peningkatan emisi NOx berbanding lurus dengan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Kota Yogyakarta.

e. Emisi Sumber Pencemar SO₂

Pada Sumber Garis, emisi pencemar SO₂ paling besar berasal dari kendaraan bus, kendaraan bus mencapai 5,43 ton/tahun. Pada Sumber Total, dapat disimpulkan bahwa emisi SO₂ paling besar dihasilkan oleh kendaraan truk. Emisi SO₂ yang dihasilkan truk sebesar 119,57 ton/tahun. Pada Sumber Area, dapat disimpulkan bahwa emisi SO₂ paling besar dihasilkan oleh kendaraan truk. Dimana rata-rata emisi SO₂ yang dihasilkan kendaraan truk sebesar 116,11 ton/tahun.

Untuk Sumber Garis, VKT Garis kendaraan bus lebih besar dibandingkan kendaraan truk. Karena bus kota lebih banyak melakukan perjalanan dibanding kendaraan truk, dan rata-rata ritasi bus kota dalam sehari yaitu 8 kali/hari. Oleh karena itu, penghasil emisi SO₂ terbesar bersumber dari kendaraan bus.

Untuk Sumber Total, VKT kendaraan bus lebih besar dibanding kendaraan truk karena kendaraan bus melakukan ritasi setiap harinya. Namun jika dilihat dari jumlah kendaraannya, truk memang berjumlah lebih banyak dibandingkan bus. Bus mengalami pengurangan armada hingga mencapai 50% pada tahun 2011, jumlah armada bus konstan dari tahun 2011 sampai 2013, dan melakukan pengurangan lagi pada tahun 2014. Faktor emisi SO₂ untuk kendaraan truk yang berbahan solar tersebut paling besar kedua yaitu 0,82 g/km. Dilihat dari jenis bahan bakarnya, solar memang penghasil sulfur yang tinggi. Oleh karena itu emisi SO₂ yang dihasilkan truk juga paling tinggi, mengingat rata-rata jumlah kendaraan truk per tahun lebih besar dibandingkan mobil penumpang (solar) dan bus.

Untuk Sumber Area, VKT Area terbesar adalah kendaraan truk. Pada pembahasan Sumber Total sebelumnya, diantara ketiga kendaraan tersebut, VKT Total terbesar ada pada kendaraan truk. Sedangkan VKT Garis kendaraan truk paling kecil diantara ketiga jenis kendaraan tersebut. Faktor emisi truk juga terbesar kedua yaitu 0,82 g/km, sehingga kendaraan truk merupakan sumber pencemar area terbesar untuk parameter SO₂.

Menurut Suhadi (2008), kandungan sulfur dalam solar (0,2156 %) lebih besar dari bensin (0,015 %), dan berat jenis bahan bakar solar (838 g/l) lebih besar dari bensin (735 g/l), kondisi inilah

yang mempengaruhi nilai faktor emisi. Oleh karena itu faktor emisi kendaraan berbahan bakar solar lebih besar daripada kendaraan berbahan bakar bensin untuk polutan SO_2 . Dan emisi SO_2 yang dikeluarkan lebih banyak dari kendaraan berbahan bakar solar dibandingkan kendaraan berbahan bakar bensin.

f. Emisi Sumber Pencemar HC

Emisi pencemar HC paling besar berasal dari sumber kendaraan jenis sepeda motor. Kendaraan jenis sepeda motor yang berbahan bakar bensin ini, memang berjumlah paling banyak diantara kendaraan-kendaraan lain, yaitu dengan persentase sebesar 85,35% ditahun 2014. Disamping harganya yang lebih murah, kendaraan sepeda motor perawatannya memang lebih mudah dibandingkan kendaraan bermotor lainnya. Namun menghasilkan emisi HC paling banyak. Pada Sumber Garis, rata-rata emisi HC kendaraan sepeda motor mencapai 503,28 ton/tahun. Pada Sumber Total, rata-rata emisi HC yang dihasilkan sepeda motor sebesar 18.759 ton/tahun. Sedangkan pada Sumber Area, rata-rata emisi HC yang dihasilkan kendaraan sepeda motor sebesar 18.183 ton/tahun.

Beban emisi HC untuk Sumber Garis, Sumber Total dan Sumber Area paling tinggi diakibatkan oleh kendaraan sepeda motor. Selain jumlahnya yang paling banyak, faktor emisi HC untuk kendaraan sepeda motor juga paling besar, yaitu 5,9 g/km. Terlihat dari kepadatan kendaraan yang sangat tinggi di ruas jalan-jalan utama serta kecepatan kendaraan rata-rata yang cukup rendah akibat seringkali terjadi kemacetan di ruas jalan-jalan utama terutama saat *peak hour* pagi hari dan sore hari. Jenis kendaraan di tiap ruas jalan utama juga lebih banyak kendaraan berjenis sepeda motor dengan bahan bakar bensin. Menurut Hodijah (2014), jenis kendaraan yang berbahan bakar bensin akan mengeluarkan gas HC lebih tinggi dibandingkan kendaraan berbahan bakar solar.

g. Emisi Sumber Pencemar CO

Emisi CO paling besar dihasilkan oleh kendaraan sepeda motor. Pada Sumber Garis, rata-rata emisi CO kendaraan sepeda motor mencapai 1.194 ton/tahun. Pada Sumber Total, rata-rata emisi CO yang dihasilkan sepeda motor sebesar 44.513 ton/tahun. Pada Sumber Area, rata-rata emisi CO yang dihasilkan kendaraan sepeda motor sebesar 43.145 ton/tahun.

Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran CO pada jalan-jalan utama, area pemukiman dan jalan kecil disebabkan oleh kendaraan bermotor terutama sepeda motor. Selain jumlahnya yang paling besar, faktor emisi CO untuk kendaraan sepeda motor yang berbahan bensin tersebut juga besar yaitu 14 g/km. Beban emisi terbesar kedua bersumber dari mobil penumpang (bensin), dimana selain jumlah kendaraan dan volume kendaraan di ruas jalan utama paling banyak kedua, faktor emisi mobil

penumpang (bensin) juga paling besar yaitu 40 g/km. Kondisi kepadatan lalu lintas juga berpengaruh terhadap kecepatan kendaraan di ruas jalan-jalan utama, dan terjadi peningkatan arus pada kapasitas tertentu, sehingga terjadi penurunan kecepatan (macet) dan tidak ada pergerakan kendaraan yang menyebabkan volume kendaraan tetap. Dimana semakin rendah kecepatan semakin tinggi emisi gas CO sehingga konsentrasi gas CO di tiap ruas jalan utama lebih tinggi (Hodijah, 2014). Menurut Zhai, H., et.al dalam Eldewisa (2008), diketahui bahwa emisi CO menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan. Faktor lainnya seperti kondisi meteorologi (kecepatan dispersi udara dan pembersihan gas) yang dipengaruhi oleh faktor meteorologi (kecepatan dan arah angin, temperatur, radiasi matahari, tutupan awan, presipitasi, dan lain-lain), kondisi topografi, dan kualitas udara *background*. Selain itu perbedaan tutupan lahan (penghijauan dan bangunan) juga akan berpengaruh terhadap konsentrasi gas CO di udara (Fardiaz, 1992).

Gas CO sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dengan udara, berupa gas buangan. Pembentukan CO hanya terjadi jika reaktan yang ada terdiri dari karbon dan oksigen murni (Fardiaz, 1992). Reaksi pembentukan CO lebih cepat daripada reaksi pembentukan CO_2 , sehingga pada hasil akhir pembakaran masih mungkin terdapat gas CO (Wardhana, 1995). Menurut Hodijah (2014), jenis kendaraan yang berbahan bakar bensin akan mengeluarkan gas CO lebih tinggi dibandingkan kendaraan berbahan bakar solar. Kendaraan bermotor berbahan bakar bensin terhitung sebagai penyumbang CO paling banyak di atmosfer. Gas CO merupakan pencemar udara yang paling umum dan luas distribusinya. Emisi gas CO ke atmosfer melebihi jumlah emisi gas pencemar lainnya. CO diproduksi dalam proses pembakaran dalam oksigen dibawah kondisi jenuh (pembakaran tidak sempurna) yang melibatkan senyawa karbon. Sehingga jumlah CO yang dihasilkan tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara serta tingkat pencampuran.

h. Emisi Sumber Pencemar TSP

Emisi TSP paling besar dihasilkan oleh kendaraan sepeda motor. Pada Sumber Garis, rata-rata emisi TSP sepeda motor mencapai 10,24 ton/tahun. Pada Sumber Total, rata-rata emisi TSP yang dihasilkan sepeda motor sebesar 381,54 ton/tahun. Pada Sumber Area, rata-rata emisi TSP yang dihasilkan kendaraan sepeda motor sebesar 369,82 ton/tahun.

Sepeda motor dengan jumlah kendaraan terbanyak, memiliki faktor emisi yang tergolong kecil yaitu 0,24 g/km, dan faktor emisi terbesar dimiliki oleh kendaraan berbahan bakar solar yaitu bus dan truk. Namun jumlah unit kendaraan sepeda motor dan volume kendaraan di ruas jalan utama

paling besar diantara jenis kendaraan lain. Faktor emisi untuk pencemar TSP menggunakan faktor emisi PM_{10} . Hal tersebut dikarenakan tidak tersedianya faktor emisi khusus untuk TSP. Sekitar 50% - 60% dari partikel melayang merupakan debu berdiameter $10\mu m$ atau dikenal dengan PM_{10} (Gindo, 2007). Sehingga untuk menghitung emisi TSP dikalikan dengan persentase dari TSP.

Peningkatan emisi sumber pencemar TSP di jalan-jalan utama sebanding dengan peningkatan jumlah kendaraan sepeda motor di Kota Yogyakarta, hal ini memberikan perkiraan bahwa emisi TSP didominasi berasal dari asap kendaraan sepeda motor.

i. Emisi Sumber Pencemar CO_2 Equivalent

Perhitungan emisi CO_2 merupakan penjumlahan dari emisi CO_2 , CH_4 dan N_2O . Untuk mengkonversi emisi CH_4 dan N_2O menjadi relatif CO_2 , harus dikalikan terlebih dahulu dengan *Global Warming Potentials* (GWP). GWP adalah nilai yang relatif sama dengan CO_2 . GWP relatif terhadap CO_2 untuk emisi gas CH_4 adalah 25 ton CO_2 . Sedangkan GWP relatif terhadap CO_2 untuk emisi gas N_2O adalah 298 ton CO_2 (IPCC *Fourth Assessment Report: Climate Change* 2007). Untuk perhitungan emisi CO_2 bergantung pada ekonomi bahan bakar per jenis kendaraan. Karena nilai VKT Total akan dibagi dengan ekonomi bahan bakar per jenis kendaraan dan dikalikan dengan densitas bahan bakar, baru dikalikan dengan faktor emisi. Densitas bahan bakar bensin adalah 0,7 kg/L dan densitas bahan bakar solar adalah 0,8 kg/L (Kalghatgi, 2014). Setelah emisi CO_2 , CH_4 dan N_2O diketahui, kemudian dari ketiga emisi pencemar tersebut dapat dihitung emisi CO_2e .

Pada Sumber Garis, dapat disimpulkan bahwa emisi CO_2 paling besar dihasilkan oleh kendaraan mobil penumpang (bensin). Dimana rata-rata emisi CO_2 yang dihasilkan mobil penumpang (bensin) sebesar 8.313 ton/tahun. Faktor ekonomi bahan bakar yang dimiliki mobil penumpang (bensin) juga cukup besar yaitu sebesar 8 km/L, dimana yang sebagian besar berjenis minibus. Ekonomi bahan bakar dimaksudkan sebagai setiap 1 liter bahan bakar yang digunakan dapat menempuh jarak hingga 8 km. Dan faktor emisi CO_2 untuk kendaraan mobil penumpang (bensin) sebesar 3180 g/kg BBM. Faktor emisi CH_4 untuk kendaraan mobil penumpang (bensin) 0,07 g/km, sedangkan faktor emisi N_2O untuk kendaraan mobil penumpang (bensin) 0,005 g/km.

Pada Sumber Total, emisi CO_2 paling besar dihasilkan oleh kendaraan sepeda motor. Dimana rata-rata emisi CO_2 yang dihasilkan sepeda motor sebesar 275.330 ton/tahun. Faktor emisi CO_2 untuk kendaraan sepeda motor nilainya cukup besar yaitu 3180 g/kg BBM. Ekonomi bahan bakar untuk sepeda motor yaitu 28 km/L. Faktor emisi CH_4 untuk kendaraan sepeda motor 0,26 g/km, sedangkan faktor emisi N_2O untuk kendaraan

sepeda motor adalah 0,002 g/km. Hal tersebut dapat terjadi karena jumlah unit kendaraan sepeda motor juga paling besar diantara kendaraan lainnya dan jumlahnya meningkat setiap tahunnya.

Pada Sumber Area, emisi CO_2 paling besar dihasilkan oleh kendaraan sepeda motor. Dimana rata-rata emisi CO_2e yang dihasilkan kendaraan sepeda motor sebesar 266.871 ton/tahun.

Menurut Purwanto (2015), pada proses pembakaran mesin yang sempurna, molekul hidrokarbon yang terdapat pada bahan bakar bensin dipecah menjadi karbondioksida (CO_2), uap air (H_2O) dan nitrogen (N_2). Sisa hasil pembakaran bahan bakar minyak yang digunakan oleh kendaraan bermotor adalah sumber utama dari emisi CO_2 di Kota Yogyakarta yang terkonsentrasi di jalan-jalan utama dengan mobilitas yang tinggi terutama kendaraan sepeda motor. A. Tresna Sastrawijaya dalam Purwanto (2015) menyebutkan bahwa meskipun dalam kondisi lalu lintas padat (macet), pembakaran bahan bakar pada mesin kendaraan bermotor tetap berlangsung mengeluarkan emisi. Pembakaran bahan bakar akan lebih efisien jika kendaraan dilarikan dengan kecepatan yang konstan, dan mengurangi frekuensi pengereman dan *starter*. Sebaliknya, dalam kondisi jalanan macet maka pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor tidak akan efisien dan tidak sempurna.

Selain karena jumlah kendaraannya yang paling banyak, terdapat kemungkinan bahwa besarnya beban emisi pada sepeda motor dikarenakan sistem pembakaran sepeda motor tidak sebaik kendaraan roda empat dalam hal efisiensi pembakaran bahan bakar, karena gas CH_4 merupakan buangan hasil pemecahan (*cracking*) senyawa hidrokarbon akibat adanya suhu yang tinggi dari hasil pembakaran (Sihombing, 2008).

2. Perhitungan Emisi Metode Tier 1

Metode pendekatan ini bergantung pada data konsumsi bahan bakar minyak yang digunakan di wilayah tersebut. Tier 1 hanya digunakan apabila data yang diperlukan untuk menggunakan Tier yang lebih tinggi tidak tersedia.

a. Konsumsi Bahan Bakar Minyak di Kota Yogyakarta

Perhitungan emisi menggunakan metode Tier 1 adalah metode perhitungan yang paling sederhana. Perhitungan ini berdasarkan pada data konsumsi atau penjualan bahan bakar premium dan solar khusus sektor transportasi darat di Kota Yogyakarta dalam 1 (satu) tahun, yaitu tahun 2013 dan 2014.

**Tabel 6. Konsumsi Bahan Bakar
Kota Yogyakarta Tahun 2013-2014**

Tahun	Konsumsi BBM (KL/tahun)	
	Premium	Solar
2013	98.624	19.664
2014	96.648	20.489

Sumber : Pertamina UPMS IV Semarang, 2015

Untuk parameter NO_x, CO dan TSP menggunakan faktor emisi dari CORINAIR. Faktor emisi ini dengan satuan g/kg bahan bakar, oleh karena itu untuk menghitung emisi dalam ton/tahun harus dikalikan dahulu dengan densitas bahan bakar tersebut (kg/L), dan kemudian dikalikan dengan konsumsi bahan bakar (KL/tahun). Densitas untuk bensin pada 15°C adalah 0,7 kg/L dan solar 0,8 kg/L (Kalghatgi, 2014).

Parameter HC menggunakan faktor emisi dari US EPA. Faktor emisi tersebut dengan satuan g/mile, dimana 1 mile = 1,609 km. Dari satuan g/mile, faktor emisi tersebut dijadikan g/km terlebih dahulu, selanjutnya dikalikan dengan ekonomi bahan bakar dengan satuan km/L. Dan pada tahap akhir, dikalikan dengan konsumsi bahan bakar (KL/tahun). Parameter SO₂ perhitungan emisimenggunakan rumus dari CORINAIR. Dimana emisi SO₂ per jenis bahan bakar diestimasikan dengan asumsi bahwa semua sulfur dalam bahan bakar berubah secara sempurna menjadi SO₂.

Sedangkan untuk sumber pencemar GRK, seperti CO₂, CH₄ dan N₂O faktor emisi yang digunakan bersumber dari IPCC. Untuk menghitung emisi sumber pencemar tersebut, konsumsi bahan bakar (KL/tahun) dikalikan dengan faktor emisi dari IPCC (kg/TJ). Namun, faktor emisi tersebut harus dikalikan dahulu dengan nilai kalor per jenis bahan bakar (TJ/liter).

b. Hasil Perhitungan Emisi Gas Konvensional dan GRK Metode Tier 1

Berikut adalah tabel hasil perhitungan emisi dengan metode Tier 1.

Tabel 7. Beban Emisi Metode Tier 1

Emisi Pencemar (ton/tahun)	2013	2014
NO _x	692,96	693,61
SO ₂	5,77	5,67
HC	414,69	412,53
CO	34.476	33.792
TSP	175,79	173,75
CO ₂	277.999	275.681
CH ₄	110,16	108,13
N ₂ O	13,18	13,08
CO ₂ e	284.679	282.283

Emisi gas pencemar konvensional dan GRK diperoleh dari penjumlahan emisi gas yang dikeluarkan oleh bahan bakar premium dan solar.

Hasil emisi gabungan dari bahan bakar premium dan solar didapat emisi tertinggi yaitu CO₂e, dengan rata-rata emisi sebesar 283.481 ton/tahun. Beban emisi rata-rata NO_x yang dihasilkan

3. Perbandingan Hasil Emisi Metode Tier 1 dan Metode Tier 2

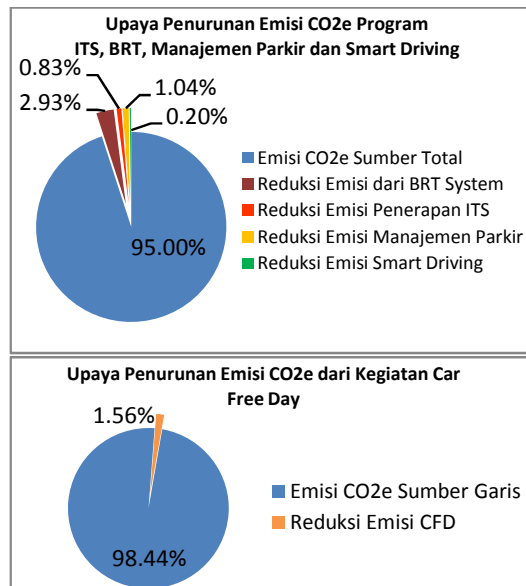
Pada semua parameter pencemar baik pencemar udara konvensional maupun pencemar Gas Rumah Kaca, beban emisi dengan metode Tier 2 (VKT) lebih tinggi dibandingkan beban emisi metode Tier 1 (konsumsi BBM). Hal ini dikarenakan perhitungan emisi dengan VKT didasari oleh pertimbangan jarak tempuh kendaraan tanpa pertimbangan lokasi pemenuhan kebutuhan bahan bakar yang kemungkinan diperoleh di luar wilayah studi (Sihombing, 2008). Pada metoda Tier 2 data aktivitas yang digunakan dalam perhitungan lebih detail dibanding metoda Tier 1. Faktor emisi Tier 2 juga telah memperhitungkan kondisi bahan bakar di negara Indonesia, maka tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) pada Tier 2 lebih baik dibanding dengan tingkat ketidakpastian pada Tier 1 (KLH, 2012).

Menurut Pedoman Inventarisasi dari KLH (2013), pada metode Tier 2, beban emisi dihitung menggunakan input data panjang perjalanan kendaraan bermotor yang ada di Kota Yogyakarta dan berkontribusi dalam menyumbang emisi kendaraan bermotor di Kota Yogyakarta. Selain itu banyak penduduk dari luar Kota Yogyakarta yang beraktivitas di dalam Kota Yogyakarta. Penduduk tersebut mengendarai kendaraan bermotornya di dalam Kota Yogyakarta dan mengemisikan gas buang kendaraan di area Kota Yogyakarta. Sedangkan belum tentu penduduk tersebut membeli BBM di SPBU dalam Kota Yogyakarta, begitu juga sebaliknya. Karena penduduk yang berdomisili di Kota Yogyakarta dapat juga melakukan perjalanan regional namun mengkonsumsi BBM di luar wilayah studi. Selain itu perbedaan tersebut disebabkan tidak tersedianya data lengkap penggunaan BBM per jenis kendaraan sehingga perhitungan emisi berdasarkan konsumsi BBM memberikan hasil yang cukup berbeda dengan emisi berdasarkan pendekatan VKT (Tier 2) (Sihombing, 2008).

4. Distribusi Spasial Sumber Pencemar Udara Konvensional dan Gas Rumah Kaca

Distribusi spasial emisi pencemar udara NO_x, SO₂, HC, CO, TSP dan CO₂e paling besar berada pada grid yang sama yaitu grid 44 dan 45. Dimana grid tersebut merupakan Desa Pringgokusuman (grid 44) dan Sosromeduran (grid 45). Desa tersebut merupakan desa dengan jumlah penduduk yang paling padat dan luas jalan yang paling besar, sehingga emisi paling besar dihasilkan di kedua desa tersebut. Distribusi spasial ini dibuat emisi per grid dalam bentuk GIS atau SIG.

5. Penerapan Program Penurunan Emisi di Kota Yogyakarta



Gambar 1. Aksi Mitigasi Emisi CO₂e

Berdasarkan beberapa program pemerintah Kota Yogyakarta untuk mereduksi emisi akibat kendaraan bermotor, terlihat program yang paling banyak mereduksi emisi adalah program shifting kendaraan bermotor ke BRT *System* yaitu 2,93% dari emisi CO₂e Sumber Total. Sedangkan Penerapan ITS mampu mereduksi 0,83%, Penerapan Kegiatan CFD mampu mereduksi emisi 0,07%, Penerapan Manajemen Parkir 1,04% dan Penerapan Smart Driving 0,2%. Oleh karena itu, perlu adanya peningkatan fasilitas dan penambahan jumlah BRT di Kota Yogyakarta agar semakin memudahkan akses masyarakat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan kesimpulan sebagai berikut: beban emisi pencemar NO_x oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan truk pada semua sumber, emisi pencemar SO₂ oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan bus dan truk, emisi pencemar HC oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan sepeda motor, emisi pencemar CO oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan sepeda motor, emisi pencemar TSP oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan sepeda motor, emisi pencemar CO₂e oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan mobil penumpang (bensin) dan sepeda motor, beban emisi yang dihasilkan dari konsumsi BBM (Tier 1) didapatkan CO₂e sebagai polutan tertinggi.

SARAN

Dengan adanya keterbatasan data faktor emisi yang ada maka penelitian ini perlu dikembangkan untuk perhitungan beban emisi dengan memperhatikan jenis mesin dan teknologi kendaraan khususnya untuk sepeda motor agar didapatkan hasil yang lebih baik dan semakin meningkatkan efektifitas program pengendalian pencemaran udara. Selain itu, perlu adanya peralihan kendaraan dari kendaraan pribadi ke angkutan umum, pembenahan dan peningkatan kuantitas angkutan umum, peningkatan kualitas bahan bakar kendaraan bermotor dari teknologi Euro 2 ke Euro 3, penanganan hambatan samping jalan (*on street parking* dan PKL), peningkatan *management traffic* seperti membuat jalan menjadi satu arah, pembenahan rute/jalur BRT dibuat terpisah dengan kendaraan bermotor lainnya serta diberlakukannya rute khusus *unmotorized* untuk mengurangi kemacetan lalu lintas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisasmita, Rahardjo, dan Sakti Adji Adisasmita. 2011. *Manajemen Transportasi Darat*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Alfiah, Taty. 2009. *Pencemaran Udara*. Surabaya: Teknik Lingkungan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
- Agusnar, Harry. 2007. *Kimia Lingkungan*. Medan: USU Press
- Aini, Anisah. 2007. *Sistem Informasi Geografis Pengertian Dan Aplikasinya*. Yogyakarta: STMIK AMIKOM
- Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta. 2009. *Inventarisasi Emisi Pencemar Udara Di Provinsi DKI Jakarta*. Jakarta
- Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta. 2014. *Kecamatan Dalam Angka 2014*. Yogyakarta
- CORINAIR. 2009. *Atmospheric Emission Inventory Guidebook 3th Edition*. European Environment Agency
- Dewan Nasional Perubahan Iklim. 2010. *Peluang dan Kebijakan Pengurangan Emisi Sektor Transportasi*. Jakarta
- Direktorat Lalu Lintas Kepolisian Daerah Istimewa Yogyakarta. 2015
- Dinas Perhubungan Daerah Istimewa Yogyakarta. 2015
- Eldewisa, Zahra dan Driejana. 2008. *Perbandingan Estimasi Beban Emisi CO Dan CO₂ Dengan Pendekatan Konsumsi Bahan Bakar Dan Kecepatan Kendaraan (Studi Kasus : Bunderan Cibiru-Lembang)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius
- Gindo, Agus dan Budi Hari. 2007. *Pengukuran Partikel Udara Ambien (TSP, PM₁₀, PM_{2,5})*



- Di Sekitar Calon Lokasi PLTN Semenanjung Lemahabang. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN
- Hodijah, Nurhadi, Bintal Amin dan Mubarak. 2014. *Estimasi Beban Pencemar Dari Emisi Kendaraan Bermotor di Ruas Jalan Kota Pekanbaru*. Pekanbaru: Pusat Pengelolaan Ekoregion Sumatera
- 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
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2012. *Kajian Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Transportasi*. Jakarta
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 1: Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengadaan Dan Penggunaan Energi*
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2013. *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan*. Jakarta
- Manahan, S.E. 1994. *Environmental Chemistry 6th edition*. USA: Lewis Publisher
- Mulia, R.M. 2005. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Mulyanto, H.R. 2007. *Ilmu Lingkungan*. Jakarta: Graha Ilmu
- Noor, Hadiyah Asma dan Asep Sofyan. 2012. *Inventarisasi Emisi Pencemaran Udara Dan Gas Rumah Kaca di Jabodetabek Dengan Menggunakan Metode SIG (Sistem Informasi Geografis)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Novianti, Srikandi dan Driejana. 2009. *Pengaruh Karakteristik Faktor Emisi Terhadap Estimasi Beban Emisi Oksida Nitrogen (NOx) Dari Sektor Transportasi (Studi Kasus: Wilayah Karees, Bandung)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Nur, Yusratika, Puji Lestari dan Iga Uttari. 2010. *Inventori Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂ dan CH₄) dari Sektor Transportasi di DKI Jakarta Berdasarkan Konsumsi Bahan Bakar*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral No. 0031 Tahun 2005 tentang Tata Cara Pelaksanaan Penghematan Energi
- Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara
- PT Pertamina (Persero) UPMS-IV Semarang. 2015
- Purwanto, Christine Prita. 2015. *Inventarisasi Emisi Sumber Bergerak Di Jalan (On Road) Kota Denpasar*. Denpasar: Universitas Udayana
- Ryadi, A.L. Slamet. 2002. *Pengantar Kesehatan Lingkungan Dimensi dan Tinjauan Konseptual*. Surabaya: Karya Anda
- Sandjaja, B., dan Albertus Heriyanto. 2006. *Panduan Penelitian*. Jakarta: Prestasi Pustaka
- Sastrawijaya, A.T. 2009. *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: PT Rineka Cipta
- Sejati, Kuncoro. 2011. *Global Warming, Food, and Water Problems, Solutions, and The Changes of World Geopolitical Constellation*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Sianturi, Omri. 2004. *Evaluasi Emisi Karbon Monoksida Dan Partikel Halus Dari Kendaraan Bermotor Di Kota Semarang*. Semarang: Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro
- Sihombing, Adolf Leopold SM. 2008. *Inventori Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂ dan CH₄) dari Sektor Transportasi dengan Pendekatan Jarak Tempuh Kendaraan dan Konsumsi Bahan Bakar dalam Upaya Pengelolaan Kualitas Udara di Kota dan Kabupaten Bandung*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB
- Sugandi, Dede, Lili Somantri dan Nanin T.S. 2009. *Sistem Informasi Geografis (SIG)*. Universitas Pendidikan Indonesia
- Sugiarta, Anak Agung Gede. 2008. *Dampak Bising Dan Kualitas Udara Pada Lingkungan Kota Denpasar*. Denpasar : Universitas Udayana
- Sujarweni, V.Wiratna. 2008. *Belajar Mudah SPSS Untuk Penelitian Skripsi, Tesis, Disertasi & Umum*. Yogyakarta: Global Media Informasi
- Sunu, Pramudya. 2001. *Melindungi Lingkungan Dengan Menerapkan ISO 14001*. Jakarta: PT Grasindo
- Tranggono, Eric Priyo. 2011. *Rancang Bangun Sistem Informasi Kontrol Kondisi Lalu Lintas Dengan Kamera Pemantau CCTV Berbasis GIS*. Surabaya: Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Teknik Komputer Surabaya
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1, Fifth Edition AP-42*. 1997. Washington DC, U.S.A
- Wardhana, Wisnu Arya. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset