



INVENTARISASI EMISI GAS PENCEMAR UDARA BESERTA ESTIMASI SEBARANNYA MENGGUNAKAN PROGRAM AERMOD DAN CALINE4 DARI SEKTOR DOMESTIK DAN TRANSPORTASI *ON ROAD* DI KOTA SEMARANG

Indri Marlina*) Haryono S. Huboyo **) Pertiwi Andarani **)

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

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

Email: marlenaindri41@gmail.com

ABSTRAK

Pencemaran udara merupakan masalah lingkungan serius yang memberikan ancaman terhadap penurunan kualitas udara sehingga terjadi perubahan iklim secara global (akibat menipisnya ozon dan meningkatnya gas rumah kaca), dan hujan asam. Sumber pencemar udara diantaranya berasal dari transportasi dan sektor rumah tangga seperti pemakaian bahan bakar dan listrik. Diperlukan kegiatan inventarisasi sumber pencemar udara atau yang disebut dengan inventarisasi emisi (IE) sebagai salah satu langkah awal dalam menangani permasalahan kualitas udara. Kota Semarang ikut melakukan kegiatan inventarisasi emisi guna menunjang kebijakan nasional. Melalui inventarisasi emisi dapat diperkirakan jumlah pencemar udara yang diemisikan dari sumber-sumber pencemar udara dalam periode waktu tertentu. Emisi CO, HC, NO_x, PM₁₀, SO₂ yang dihasilkan dari sektor domestik berturut-turut adalah 71,54 ton/tahun; 24,23 ton/tahun; 131,53 ton/tahun; 1,15 ton/tahun; 1,15 ton/tahun. Emisi CO, HC, NO_x, PM₁₀, SO₂ yang dihasilkan dari sektor transportasi *on-road* berturut-turut adalah 398.937 ton/tahun; 122.944,87 ton/tahun; 28.124,83 ton/tahun; 5.786,23 ton/tahun; 1.062,21 ton/tahun. Hasil sebaran emisi menunjukkan Kecamatan Semarang Tengah memiliki konsentrasi tertinggi untuk semua polutan.

Kata Kunci: *Inventarisasi Emisi, Gas Pencemar Udara, AERMOD*

ABSTRACT

[Inventory and Distribution of Air Pollutant Emission Using Aermom and Caline4 from Domestic and On-Road Transportation Sectors in Semarang City] Air pollution is a serious environmental problem that poses a threat to air quality degradation resulting in global climate change (due to depletion of ozone and rising greenhouse gases), and acid rain. it is necessary to inventory air pollution sources or called emissions inventory (EI) as one of the first steps in dealing with air quality problems. The city of Semarang participated in an inventory of emissions to support the national policy. Through an inventory of emissions it can be estimated the amount of air pollutants emitted from air pollutant sources over a period of time. The CO, HC, NO_x, PM10, SO2 emissions generated from the domestic sector were 71.54 ton / year; 24.23 tons / year; 131.53 tons / year; 1.15 tons / year; 1.15 tons / year. The CO, HC, NO_x, PM10, SO2 emissions generated from the on-road transport sector are 398,937 tons / year; 122,944.87 tons / year; 28,124.83 tons / year; 5,786.23 tons / year; 1,062.21 tons / year.. The result of the distribution of emissions shows that Central Semarang District has the highest concentration for all pollutants.

Keywords: *Emission Inventory, Air pollutant gas, AERMOD*



PENDAHULUAN

Kebutuhan energi merupakan sesuatu yang tidak dapat terpisahkan dari kehidupan manusia karena peranannya dalam mendukung berbagai aktivitas kehidupan sosial dan ekonominya. Penggunaan energi merupakan agen utama pada kegiatan industri, kelistrikan, transportasi juga dalam berbagai aktivitas manusia. Sebagian besar aktivitas manusia membutuhkan sumber energi yang saat ini, sebagian besar masih berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batubara. Bahan bakar fosil dalam bentuk batubara, minyak, dan gas alam menyediakan lebih dari 90% energi yang dibutuhkan manusia untuk menunjang semua aktivitasnya (Indrawati, 2015). Penggunaan energi dalam semua faktor kehidupan manusia ini akan meningkat setiap tahun seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan perkembangan teknologi. Di Asia saja diproyeksikan kebutuhan energi akan meningkat dari 110 Setara Ton Minyak (STM) di tahun 2002 menjadi 221 STM di tahun 2025 atau meningkat dua kali lipat dalam jangka waktu 23 tahun (Abdullah, 2010).

Pencemaran udara merupakan masalah lingkungan serius yang memberikan ancaman terhadap penurunan kualitas udara sehingga terjadi perubahan iklim secara global (akibat menipisnya ozon dan meningkatnya gas rumah kaca), dan hujan asam (Indrawati, 2015). Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 21 Tahun 2008, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Sumber pencemar udara diantaranya berasal dari transportasi dan sektor rumah tangga seperti pemakaian bahan bakar dan listrik.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 41 tahun 1999 pasal 6 ayat 4 dan juga berdasarkan komitmen pemerintah Indonesia pada pertemuan G-20 di Pittsburgh – USA pada 25 September 2009 untuk mengurangi tingkat emisi GRK sebesar 26% di tahun 2020, maka diperlukan kegiatan inventarisasi sumber pencemar udara atau yang disebut dengan inventarisasi emisi (IE) sebagai salah satu

langkah awal dalam menangani permasalahan kualitas udara (Purwanto *dkk*, 2015). Kota Semarang ikut melakukan kegiatan inventarisasi emisi guna menunjang kebijakan nasional. Melalui inventarisasi emisi dapat diperkirakan jumlah pencemar udara yang diemisikan dari sumber-sumber pencemar udara dalam periode waktu tertentu. Berdasarkan permasalahan di atas, maka dilakukan penelitian untuk menghitung beban emisi pencemar udara dan sebaran emisi gas pencemar udara dan gas rumah kaca dari sektor transportasi *on road* dan aktivitas rumah tangga. Diharapkan beban emisi pencemar udara dan gas rumah kaca yang akan dihitung dan dianalisis penyebarannya dalam penelitian ini berguna bagi pemerintah dalam mengambil kebijakan terkait pengelolaan kualitas udara Kota Semarang.

METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini selama 6 bulan, dimulai pada tanggal 1 Desember 2017 sampai 31 Mei 2018. Ruang lingkup wilayah penelitian ini dilakukan di Kota Semarang dengan wilayah penelitian sektor domestik dibagi 3 (tiga) wilayah yaitu Kelurahan Kedungmudu, Kelurahan Padangsari, Kelurahan Jomblang dan sektor transportasi wilayah penelitiannya dibebberapa ruas jalan yaitu Tol Tembalang, Jalan Perintis Kemerdekaan, Jalan Setiabudi, dan Jalan Sambiroto.

Teknik penentuan responden pengguna elpiji dilakukan atas pemilihan responden pada 3 (tiga) kelurahan dengan kepadatan penduduk terbanyak di tiap kecamatannya di Kota Semarang menurut BPS Kota Semarang (2017) yaitu Kelurahan Kedungmudu di Kecamatan Tembalang dengan 2.947 KK, Kelurahan Padangsari di Kecamatan Banyumanik dengan 3.265 KK, Kelurahan Jomblang di Kecamatan Candisari dengan 2.295 KK. Total ukuran populasi adalah 8.507 KK

Tabel 1 Jumlah Responden

Wilayah	Jumlah KK	Jumlah Responden (KK)	Jumlah responden berdasarkan tingkat kesejahteraan (KK)		
			Atas	Mene ngah	Bawa h
Kelurahan Kedungmun du	2.947	36	25	8	3
Kelurahan Padangsari	3.265	34	23	9	2
Kelurahan Jomblang	2.295	30	12	14	4
Jumlah	8.507	100	60	31	9

Analisis data terbagi menjadi 2 yaitu menghitung emisi dari sektor transportasi *on road* dan sektor domestik.

1. Untuk menghitung beban emisi dari aktifitas rumah tangga yaitu konsumsi elpiji digunakan metode Tier 1 menggunakan data konsumsi di Kota Semarang. Perhitungannya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (IPCC, 2006) :

$$Emission = \sum_a [Fuel a \times EF a]$$

2. Untuk menghitung emisi dari transportasi digunakan Metode Tier 2 yaitu menggunakan faktor emisi berbasis kilometer jalan kendaraan (*vehicle kilometer traveled-VKT* atau panjang perjalanan rerata kendaraan per tahun). Istilah VKT dimaksudkan untuk mengetahui besar kilometer tempuh kendaraan dalam satuan waktu tertentu (hari/minggu/bulan/tahun). Untuk jaringan jalan utama, emisi diperlakukan sebagai sumber garis atau *line source*.

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

$$E_{cji} = VKT_{ji} \cdot EF_{cj} (100-C)/100$$

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 mengurangi VKT total sumber bergerak dengan VKT sumber garis (KLHK, 2013).

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

3. Selain analisis kuantitatif, analisis distribusi spasial dibutuhkan untuk mengamati persebaran emisi secara kualitatif dimana analisis kuantitatif saja tidak cukup untuk menggambarkan persebaran emisi terhadap kondisi geografis suatu daerah (Noor dan Sofyan, 2012). 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. Variabel yang pertama mewakili kebutuhan transportasi penduduk yang bertempat tinggal di wilayah tersebut dan yang kedua mewakili kapasitas lalu lintasnya. Total VKT sumber bergerak area kemudian didistribusikan ke dalam *grid* berdasarkan fungsi dan aktivitas di *grid* dan kebutuhan transportasi. Persamaan dasar yang digunakan untuk menghitung distribusi spasial panjang perjalanan adalah (BPLH DKI Jakarta, 2009):

Untuk *grid k* :

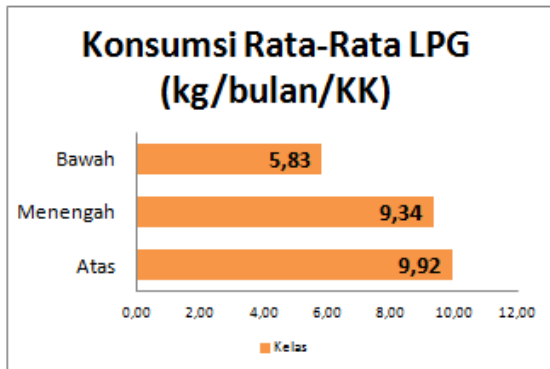
$$VKT_{b,c,k} = (K_1^k + K_2^k) \times VKT_{b,c}$$

4. Untuk saat ini hingga ditetapkan lain, faktor emisi untuk transportasi *on road* mengacu pada faktor emisi nasional (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah). Untuk faktor emisi pemakaian gas rumah tangga mengacu pada *CORINAIR Table 3.13 section 1.A.4b.i*
5. Simulasi sebaran emisi menggunakan program AERMOD
6. Simulasi sebaran emisi menggunakan program Caline4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Konsumsi dan Distribusi LPG Kota Semarang

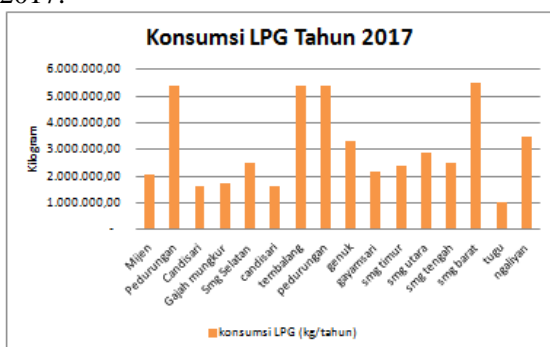
Konsumsi rata-rata LPG setiap bulan berdasarkan kelas ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1 Konsumsi Rata-Rata LPG

Rata-rata konsumsi LPG untuk rumah tangga kelas atas (tingkat III, III+) adalah 9,92 kg/bulan/KK, kelas menengah (tingkat I, II) adalah 9,34 kg/bulan/KK, dan kelas bawah (pra sejahtera) adalah 5,83 kg/bulan/KK. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan membeli tiap rumah tangga berpengaruh terhadap konsumsi LPG. Rumah tangga pada kelas atas rata-rata menggunakan jenis LPG 12 kg dan menghabiskan rata-rata 3-4 tabung jenis 3 kg setiap bulan. Sedangkan untuk kelas menengah rata-rata menggunakan jenis LPG 3 kg dengan rata-rata menghabiskan 3-4 tabung setiap bulan. Jumlah anggota keluarga pada setiap rumah tangga juga berpengaruh terhadap konsumsi LPG.

Konsumsi LPG selama satu tahun didapatkan dari perhitungan jumlah KK dikalikan konsumsi rata-rata LPG berdasarkan kelas. Gambar 2 menunjukkan konsumsi LPG di setiap kecamatan di Kota Semarang tahun 2017.



Gambar 2. Konsumsi LPG Kota Semarang

2. Beban Emisi Sektor Domestik

Beban emisi sektor domestik di setiap kelurahan dihitung dengan mengalikan jumlah KK berdasarkan kelas di wilayah tersebut dengan konsumsi LPG masing-masing kelas kemudian dikali dengan faktor emisi. Faktor emisi yang digunakan mengacu pada IPCC.

Beban emisi yang dihitung adalah gas pencemar udara seperti CO, HC, NO_x, SO₂, PM₁₀.

Tabel 2 Total Emisi Sektor Domestik Kota Semarang Tahun 2017

	Beban Emisi ton/tahun				
	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO	HC
LPG	131,53	1,15	1,15	71,54	24,23

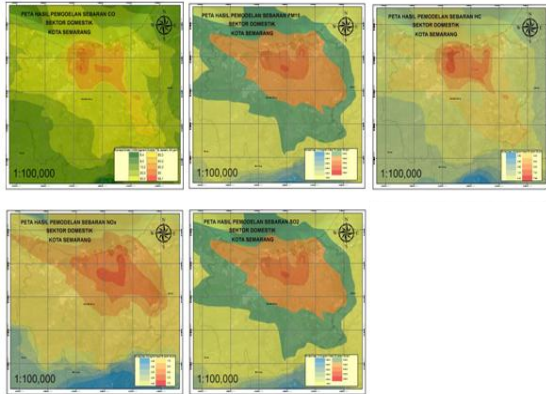
Tabel 3 Emisi Sektor Domestik Berdasarkan Kecamatan Tahun 2017

Kecamatan	Beban Emisi ton/tahun				
	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO	HC
Mijen	5,52	0,05	0,05	3,00	1,02
Gunungpati	6,90	0,06	0,06	3,76	1,27
Banyumanik	11,65	0,10	0,10	6,34	2,15
Gajahmungkur	4,63	0,04	0,04	2,52	0,85
Semarang Selatan	6,71	0,06	0,06	3,65	1,24
Candisari	4,36	0,04	0,04	2,37	0,80
Tembalang	14,46	0,13	0,13	7,86	2,66
Pedurungan	14,47	0,13	0,13	7,87	2,67
Genuk	8,97	0,08	0,08	4,88	1,65
Gayamsari	5,89	0,05	0,05	3,20	1,09
Semarang Timur	6,48	0,06	0,06	3,52	1,19
Semarang Utara	7,74	0,07	0,07	4,21	1,43
Semarang Tengah	6,76	0,06	0,06	3,68	1,25
Semarang Barat	14,85	0,13	0,13	8,08	2,74
Tugu	2,73	0,02	0,02	1,48	0,50
Ngaliyan	9,41	0,08	0,08	5,12	1,73

Berdasarkan Tabel 3, emisi yang terbesar rata-rata berasal dari Kecamatan Semarang Barat, Tembalang, dan Pedurungan. Hal ini menunjukkan jumlah penduduk yang tinggi di wilayah tersebut dan penduduk rata-rata berada pada kelas menengah dan kelas atas. Karena rasio jumlah KK berdasarkan tingkat kesejahteraan menunjukkan di tiga kecamatan tersebut memiliki jumlah KK pada kelas atas dan menengah yang mendominasi. Rumah tangga pada kelas atas rata-rata menggunakan jenis LPG 12 kg dan menghabiskan rata-rata 3-4 tabung jenis 3 kg setiap bulan. Sedangkan untuk kelas menengah rata-rata menggunakan jenis LPG 3 kg dengan rata-rata menghabiskan 3-4 tabung setiap bulan. Semakin banyak konsumsi LPG, semakin banyak pula emisi yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan pernyataan Nazer *dkk* (2016), pendapatan rumah tangga adalah variabel yang paling berperan sebagai penentu konsumsi energi di daerah perkotaan. Kenaikan pendapatan terutama akan meningkatkan konsumsi energi.

3. Hasil Simulasi Penyebaran Emisi Sektor Domestik

Simulasi penyebaran emisi dari sektor domestik pada penelitian ini menggunakan program AERMOD View dengan Model ISCST3. Berikut adalah hasil simulasi sebaran emisi sektor domestik



Gambar 3 Peta Hasil Sebaran Emisi Sektor Domestik Tahun 2017

Tabel 4 Nilai Konsentrasi Hasil Pemodelan dengan AERMOD Sektor Domestik

Polutan	Nilai Konsentrasi dalam 24 jam ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Lokasi	
		Koordinat	Kecamatan
CO	3,99	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah
HC	1,35	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah
NOx	7,35	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah
PM ₁₀	0,064	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah
SO ₂	0,064	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah

Sumber: Hasil Pemodelan AERMOD, 2018

Hasil pemodelan sebaran menunjukkan daerah yang memiliki konsentrasi polutan yang besar diantaranya Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Selatan, Semarang Timur, Semarang Tengah, dan Gayamsari.

Tingginya konsentrasi polutan pada daerah-daerah tersebut disebabkan oleh kecepatan dan arah angin. Karena berdasarkan *wind rose* arah angin dominan di wilayah Kota Semarang berasal dari arah barat laut dan arah tenggara. Arah angin dominan yang berasal dari arah barat laut menyebabkan wilayah Semarang bagian barat laut seperti Tugu, Ngaliyan tidak memiliki konsentrasi polutan yang tinggi. Kecepatan angin yang besar berkisar antara 3,6-5,7 m/s dari arah barat daya mengakibatkan wilayah Semarang bagian barat daya seperti Mijen, Gunungpati tidak memiliki konsentrasi polutan yang tinggi. Sementara wilayah Semarang bagian

utara dan timur laut seperti Semarang Tengah dan Gayamsari memiliki kecepatan angin yang kecil menyebabkan penyebaran polutan relatif tetap di daerah tersebut yang menyebabkan konsentrasi polutan tinggi.

4. Jumlah Kendaraan di Kota Semarang

Jumlah kendaraan di Kota Semarang dari tahun 2012 sampai 2017 dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Jumlah Kendaraan Bermotor Kota Semarang

Tahun	Jumlah Kendaraan Bermotor				Total
	Mobil Penumpang	Truk	Bus	Motor	
2012	156.614	56.666	2.345	822.700	1.038.325
2013	136.191	52.289	1.917	696.086	886.483
2014	141.669	49.748	1.675	661.180	854.272
2015	178.542	65.825	2.394	1.067.815	1.314.576
2016	176.964	53.788	1.728	728.824	961.304
2017	226.073	78.448	3.271	1.252.196	1.559.988

Sumber: Badan Pengelolaan dan Pendapatan Daerah Jawa Tengah, 2018

5. Beban Emisi Sektor Transportasi

Perhitungan emisi sektor transportasi dihitung berdasarkan jarak tempuh masing-masing jenis kendaraan atau *Vehicle Kilometre Travelled* (VKT). Jarak tempuh kendaraan atau VKT didapatkan dari perkalian VKT pembacaan di odometer (km/tahun) dengan jumlah kendaraan sesuai jenis kendaraan. Data VKT pembacaan odometer per jenis kendaraan menggunakan hasil penelitian sebelumnya yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 VKT Rata-Rata Pembacaan Odometer Per Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan Bermotor	Jumlah (unit)	Rata-rata VKT (km/tahun)
Bus	3.271	43.435*
Truk	78.448	10.115*
Mobil Penumpang Bensin	219.291	15.330*
Mobil Penumpang Solar	6.782	15.330*
Motor	1.252.196	14.600*

Sumber: a)Chaeruwisa (2017); b)Sutrisno (2015); c)Buanawati (2017)

Tabel 7 Beban Emisi Total Sektor Transportasi

Jenis Kendaraan Bermotor	Jumlah (unit)	Beban Emisi (ton/tn)				
		CO	HC	NOx	PM ₁₀	SO ₂
Bus	3.271	1.563	185	1.691	199	132
Truk	78.448	6.665	1.428	14.045	1.111	651
Mobil Penumpang Bensin	219.291	134.469	13.447	6.723	34	87
Mobil Penumpang Diesel	6.782	291	21	364	55	46
Motor	1.252.196	255.948,86	107.864,16	3.301,80	4.387,69	146,26
Total		398.937,35	122.944,87	28.124,83	5.786,23	1.062,21

Berikut adalah hasil beban emisi sektor transportasi *on road* di kecamatan di Kota Semarang. Beban emisi di setiap kecamatan didapatkan dari penjumlahan emisi sumber garis dan sumber area di masing-masing kecamatan.

Tabel 8 Beban Emisi di Kecamatan di Kota Semarang Sektor Transportasi On Road

Kecamatan	Beban Emisi (ton/tahun)				
	CO	HC	NOX	PM10	SO2
Banyumanik	17.546	5.296	1.242	249	47
Candisari	9.421	2.628	679	122	25
Gajah Mungkur	9.539	2.963	636	137	24
Gayamsari	9.603	2.809	672	130	25
Genuk	15.843	4.861	1.146	231	44
Gunung Pati	11.381	3.554	825	169	31
Mijen	12.211	3.813	885	182	34
Ngaliyan	20.333	6.172	1.385	287	53
Pedurungan	23.887	7.391	1.605	342	60
Semarang Barat	22.899	7.044	1.554	326	58
Semarang Selatan	11.418	3.436	694	152	25
Semarang Tengah	9.051	2.750	579	124	21
Semarang Timur	7.802	2.417	555	114	21
Semarang Utara	11.279	3.511	811	167	31
Tembalang	19.735	5.965	1.426	282	54
Tugu	3.456	1.079	250	51	10
Total	215.404	65.691	14.942	3.066	561

Berdasarkan Tabel 8, penghasil emisi terbesar dari sektor transportasi adalah Kecamatan Pedurungan dan yang terkecil adalah Kecamatan Tugu. Hal ini disebabkan karena perhitungan beban emisi mempertimbangkan faktor kepadatan penduduk di wilayah tersebut. Berdasarkan data BPS, Kecamatan Pedurungan memiliki jumlah penduduk terbanyak di Kota Semarang yaitu 203.866 jiwa dan Kecamatan Tugu memiliki jumlah penduduk paling sedikit yaitu 32.041 jiwa.

a. Beban Emisi Gas NOx

NOx terbentuk ketika bahan bakar terbakar pada suhu tinggi. Polutan NOx dari sektor transportasi mencapai 28.078 ton/tahun. Nilai estimasi emisi NOx ini paling banyak dihasilkan dari kendaraan truk dengan kontribusi sebesar 14.045 ton/tahun atau 50,02% dari seluruh total emisi NOx yang dihasilkan dari sektor transportasi di Kota Semarang.

Hasil yang serupa juga didapatkan pada perhitungan emisi NOx Kota Palembang yang dilakukan oleh PPLH Universitas Sriwijaya (2013). Besarnya estimasi emisi

NOx mencapai 3.138,46 ton/tahun, dimana kontributor utamanya adalah jenis kendaraan berat (*Heavy Duty Vehicle*). Sedangkan emisi NOx yang dihasilkan di Kota Surakarta dari sektor transportasi adalah 3.382 ton/tahun dimana kontributor terbesarnya adalah jenis kendaraan truk (Sutrisno, 2015). Estimasi besar emisi NOx di Kota Semarang memiliki nilai yang cukup besar dibanding dengan Kota Palembang dan Kota Surakarta. Hal ini disebabkan karena perbedaan populasi kendaraan di setiap kota tersebut. Berdasarkan data BPPD Jawa Tengah (2018), total kendaraan yang masih aktif beroperasi di Kota Semarang pada tahun 2017 sebanyak 1.548.989 unit. Sedangkan di Kota Surakarta pada tahun 2014 sebanyak 296.605 unit (Sutrisno, 2015).

b. Beban Emisi Gas SO₂

SO₂ dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung unsur sulfur (KLHK, 2013). Polutan SO₂ yang dihasilkan dari transportasi mencapai 1.060,93 ton/tahun dengan kontributor utamanya adalah dari jenis kendaraan truk yang menghasilkan 650,67 ton/tahun atau 61% dari seluruh total emisi SO₂ yang dihasilkan.

Emisi SO₂ di Kota Palembang juga dihasilkan paling banyak dari jenis *Heavy Duty Vehicle* dimana truk adalah salah satunya. Total emisi SO₂ di Kota Palembang dari sektor transportasi tahun 2010 mencapai nilai 210,42 ton/tahun. Sedangkan emisi SO₂ di Kota Denpasar dan Provinsi DKI Jakarta berturut-turut adalah 212,34 ton/tahun dan 108.756 ton/tahun. Menurut Suhadi (2008) dalam Hodijah (2014), kandungan sulfur dalam solar (0,2156 %) lebih besar dari premium (0,015 %), dan berat jenis bahan bakar solar (838 g/l) lebih besar dari premium (735 g/l), kondisi inilah yang mempengaruhi nilai faktor emisi. Oleh karena itu faktor emisi kendaraan bahan bakar solar lebih besar daripada kendaraan berbahan bakar bensin untuk polutan SO₂. Hal ini menyebabkan truk yang berbahan bakar solar menjadi kontributor utama penghasil SO₂.

c. Beban Emisi Gas PM₁₀

Di Kota Semarang, nilai emisi PM₁₀ yang dihasilkan dari sektor transportasi

mencapai 5.747,68 ton/tahun dengan motor sebagai penghasil utama kemudian truk dengan persentase berturut-turut adalah 76% dan 19%. Sedangkan di Kota Denpasar estimasi emisi PM_{10} adalah 444,16 ton/tahun dimana jenis kendaraan ringan sebagai kontributor utama. Kota Semarang dan Kota Denpasar memiliki perbedaan kontributor utama penghasil PM_{10} . Seperti pernyataan Purwanto (2015) sebelumnya, bahwa pembakaran mesin diesel paling banyak menghasilkan partikulat karena di dalam bahan bakar diesel mengandung banyak residu dengan kadar C yang banyak. Hal ini dapat dibuktikan dari faktor emisi yang dikeluarkan oleh Menteri Lingkungan Hidup tahun 2010, faktor emisi untuk truk yang diasumsikan semua berbahan bakar solar adalah 1,4 g/km sementara kendaraan motor yang berbahan bakar bensin memiliki faktor emisi 0,24 g/km. Beban emisi bukan hanya dipengaruhi oleh faktor emisi, namun juga panjang perjalanan setiap kendaraan atau VKT dan jumlah kendaraan. Nilai VKT yang paling besar di Kota Semarang adalah jenis kendaraan motor dimana nilai VKTnya mencapai 18.121.476.200 km/tahun. Hal ini yang menyebabkan emisi PM_{10} di Kota Semarang lebih banyak dihasilkan dari jenis kendaraan motor.

d. **Beban Emisi Gas CO**

Di Kota Semarang, estimasi emisi CO dari sektor transportasi mencapai 396.689,16 ton/tahun dimana jenis kendaraan motor sebagai kontributor utama yaitu sebesar 253.700,67 ton/tahun kemudian diikuti mobil penumpang berbahan bakar bensin dengan kontribusi mencapai 134.469,12 ton/tahun. Jenis kendaraan motor juga merupakan kontributor utama emisi CO di Kota Surakarta yaitu sebesar 33.679 ton/tahun (Sutrisno, 2015). Tingginya emisi CO juga dipengaruhi oleh kepadatan lalu lintas di jalan raya yang menyebabkan kemacetan. Karena menurut Zhai, H., et.al, (2008) diketahui bahwa emisi CO meningkat seiring dengan menurunnya kecepatan (Purwanto, 2015).

e. **Beban Emisi Gas HC**

Di Kota Semarang, estimasi emisi HC mencapai 121.997,42 ton/tahun dimana motor merupakan penghasil utama dari HC yaitu

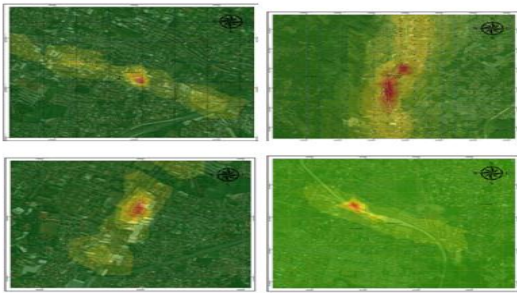
sebesar 106.918 ton/tahun atau 88% dari seluruh total emisi HC dari sektor transportasi. Hal ini disebabkan oleh populasi jenis kendaraan motor jauh lebih besar daripada jenis kendaraan lainnya yaitu mencapai 1.241.197 unit pada tahun 2017. Besar emisi HC di Kota Surakarta adalah 17.017 ton/tahun yang juga sebagian besar dihasilkan dari jenis kendaraan sepeda motor berdasarkan penelitian yang dilakukan Sutrisno (2015). Nilai emisi HC yang dihasilkan di Kota Semarang jauh lebih besar dibanding Kota Surakarta disebabkan jumlah kendaraan di Kota Semarang 2 kali lipat lebih banyak dari Kota Surakarta. Emisi HC lebih banyak dihasilkan dari kendaraan dengan bakar bensin. Hal ini sejalan dengan pernyataan Purwanto (2015), bahwa bensin adalah senyawa hidrokarbon (HC), jadi setiap HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran.

f. **Beban Emisi Gas CO₂**

Total CO₂ di Kota Semarang mencapai nilai 2.113.115,24 ton/tahun. Kontributor utama emisi CO₂ di Kota Semarang adalah jenis kendaraan motor mencapai 1.149.644,57 ton/tahun atau 55%. Sedangkan emisi CO₂ di Kota Denpasar dan Kota Palembang berturut-turut adalah 984.280,21 ton/tahun dan 548.854,83 ton/tahun dengan kontributor utamanya adalah jenis kendaraan ringan (mobil).

6. **Estimasi Sebaran dengan Caline4**

Pada penelitian ini polutan yang diestimasi sebarannya adalah polutan CO. Kemudian untuk jalan yang diestimasi sebarannya diantaranya Jalan Ngesrep Timur V, Jalan Setiabudi, Jalan Perintis Kemerdekaan, dan Tol Tembalang

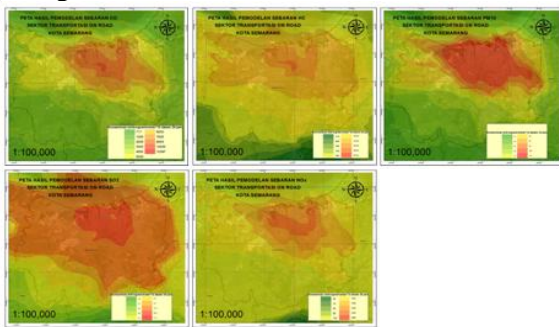


Gambar 4 Hasil Estimasi Sebaran dengan Caline4

Berdasarkan hasil sebaran, konsentrasi CO maksimum di Jalan Ngesrep Timur V sebesar 11,3 ppm, Jalan Perintis Kemerdekaan sebesar 15,1 ppm, Jalan Setiabudi sebesar 11,6 ppm, dan di Tol Tembalang sebesar 8,2 ppm.

7. Estimasi Sebaran dengan AERMOD

AERMOD dengan Model ISCST3 digunakan untuk mengestimasi sebaran emisi dari sektor transportasi *on road* berdasarkan hasil beban emisi di setiap kecamatan. Hasil simulasi ini berupa peta isopleth konsentrasi. Setiap rentang konsentrasi ditunjukkan dengan warna yang berberda. Hasil estimasi sebaran emisi sektor transportasi *on road* ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 5 Peta Hasil Estimasi Sebaran Emisi

Berikut adalah nilai hasil sebaran emisi dari sektor transportasi *on road*.

Tabel 9 Nilai Konsentrasi Maksimum Hasil Sebaran AERMOD Sektor Transportasi

Polutan	Nilai Konsentrasi dalam 24 jam ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Maksimum	Lokasi	
		Koordinat	Kecamatan
CO	10.397	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah
HC	3.155	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah
NOx	685	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah
PM ₁₀	144	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah
SO ₂	25,3	434630,06 m; 9228265,00 m	Semarang Tengah

Sumber: Hasil Pemodelan AERMOD, 2018

Berdasarkan Tabel 9, konsentrasi emisi tertinggi berada di Kecamatan Semarang Tengah.

KESIMPULAN

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

1. Emisi CO, HC, NO_x, PM₁₀, SO₂ yang dihasilkan dari sektor domestik berturut-turut adalah 71,54 ton/tahun dengan kontributor terbesar adalah Kecamatan Semarang Barat; 24,23 ton/tahun dengan kontributor terbesar adalah Kecamatan Semarang Barat; 131,53 ton/tahun dengan kontributor terbesar adalah Kecamatan Semarang Barat; 1,15 ton/tahun dengan kontributor terbesar adalah Kecamatan Semarang Barat dan Tembalang; 1,15 ton/tahun dengan kontributor terbesar adalah Kecamatan Semarang Barat dan Tembalang.
2. Emisi CO, HC, NO_x, PM₁₀, SO₂ yang dihasilkan dari sektor transportasi *on-road* berturut-turut adalah 398.937 ton/tahun dengan kontributor utama adalah kendaraan motor; 122.944,87 ton/tahun dengan kontributor utama adalah kendaraan motor; 28.124,83 ton/tahun dengan kontributor utama adalah kendaraan truk; 5.786,23 ton/tahun dengan kontributor utama adalah kendaraan motor; 1.062,21 ton/tahun dengan kontributor utama adalah kendaraan truk..
3. Hasil simulasi persebaran emisi menunjukkan konsentrasi tertinggi semua polutan untuk sektor domestik dan transportasi *on road* berada pada koordinat 434630,06 m; 9228265,00 m yang terletak di Kecamatan Semarang Tengah

SARAN

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian Inventarisasi Emisi Gas Pencemar Udara Beserta Estimasi Sebarannya Menggunakan Program Aermod dan Caline4 dari Sektor Domestik dan Transportasi *On Road* di Kota Semarang, yaitu:

1. Perlu dilakukan langkah pengendalian emisi terutama di daerah-daerah yang memiliki konsentrasi polutan yang cukup tinggi seperti Semarang Barat,

2. Semarang Utara, Semarang Timur, Semarang Tengah, dan Gayamsari
2. Menambah jumlah kendaraan umum yang dapat mengangkut lebih banyak penumpang sehingga jumlah kendaraan sepeda motor dapat dikurangi karena berdasarkan hasil penelitian kendaraan sepeda motor merupakan kontributor utama pencemaran udara
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada lokasi yang memiliki konsentrasi besar yaitu Kecamatan Semarang Tengah dan dampaknya terhadap masyarakat sekitar

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 2010. *Pengaruh Perkembangan Industri Terhadap Pola Pemanfaatan Lahan di Wilayah Kecamatan Bergas Kabupaten Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta. 2009. *Inventarisasi Emisi Pencemar Udara Di Provinsi DKI Jakarta*. Jakarta
- Badan Pusat Statistik Kota Semarang. 2017. Kota Semarang dalam Angka 2016. Semarang
- Hodijah, Nurhadi. 2014. *Estimasi Beban Pencemar dari Emisi Kendaraan Bermotor di Ruas Jalan Kota Pekanbaru*. Pekanbaru: Pusat Pengelolaan Ekoregion Sumatera
- Indrawati, Ervina Dwi. 2015. *Analisis Emisi CO₂ Antropogenik Rumah Tangga di Kelurahan Patukangan, Pekauman dan Balok, Kabupaten Kendal*. Jakarta: Indonesian Journal of Conservation. Vol. 04, No: 1: 45-51
- IPCC. 2001. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 2: Energy
- IPCC. 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 2: Energy
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2013. *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan*. Jakarta
- Kementerian Lingkungan Hidup Deputi Bidang Tata Lingkungan Tahun 2007
- Nazer, Muhammad dan Hefrizal Handra. 2016. *Analisis Konsumsi Energi Rumah Tangga Perkotaan di Indonesia: Periode Tahun 2008 dan 2011*. Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia: Vol. 16, No. 2, Hal. 141-153
- 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
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 12 Tahun 2010 Tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara Di Daerah
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 21 Tahun 2008 Tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pembangkit Tenaga Listrik Termal
- PP nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- PPLH. 2013. *Emission Inventory: Under the Project Clean Air for Smaller Cities in the ASEAN Region*. Sumatera Selatan: Universitas Sriwijaya
- Purwanto, Christine Prita, I Wayan Arthana, I Wayan Suarna. 2015. *Inventarisasi Emisi Sumber Bergerak di Jalan (On Road) Kota Denpasar*. Ecotrophic. Vol 9 (1):1-9
- Sudalma. 2015. *Model Sebaran SO₄ dan NO₃ dalam Air Hujan di Kota Semarang [diseriasi]*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Suhadi, Dollaris Riauaty. 2006. *Naskah Akademis Penyusunan Petunjuk Teknis Perkiraan Beban Pencemar Udara dari Kendaraan Bermotor di Indonesia: Volume 1*. Asisten Deputi 5/II Urusan Pengendalian Pencemaran Emisi Sumber Bergerak. Kementerian Lingkungan Hidup
- Sutrisno, Ana Megawati. 2015. *Kajian Beban Emisi Pencemar Udara (TSP, NO_x, SO₂, HC, CO) dan Gas Rumah Kaca (CO₂, CH₄, N₂O) Sektor Transportasi Darat di Kota Surakarta dengan Metode Top Down dan Bottom Up [skripsi]*. Semarang: Universitas Diponegoro