

**PENELITIAN METODE ESTIMASI UNTUK INVENTARISASI
EMISI *SHORT LIVED CLIMATE FORCERS* (SLCFs) PADA
SEKTOR TRANSPORTASI DARAT
(STUDI KASUS : KOTA SURABAYA)**

***DEVELOPMENT OF ESTIMATION METHOD FOR LAND
TRANSPORTATION BASED SHORT LIVED CLIMATE
FORCERS (SLCFs) EMISSION INVENTORY
(CASE STUDY: CITY OF SURABAYA)***

***¹Nugroho Haryoputro, ²Asep Sofyan, ³Haryo Satriyo Tomo**

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,
Jl Ganesha 10 Bandung 40132

e-mail : ¹nugroho.haryoputro@gmail.com, ²asepsofyan@yahoo.com, ³haryotomo@gmail.com

Abstrak: Inventarisasi emisi merupakan bagian yang penting dalam usaha pengelolaan kualitas udara. Sayangnya, usaha inventarisasi emisi yang kontinu di negara-negara berkembang seperti Indonesia seringkali mengalami stagnasi akibat ketidakersediaan data yang sesuai dengan metode-metode yang sudah ada. Inventarisasi yang akhirnya berjalan pun tak jarang berakhir dengan hasil yang memiliki ketidakpastian yang tinggi. Metode yang saat ini ada untuk inventarisasi emisi antara lain adalah pendekatan dengan traffic counting, dengan perhitungan VKT (vehicle kilometers travelled) serta perkiraan dengan data jumlah kendaraan yang terdaftar. Metode yang diperkenalkan dalam penelitian ini menggabungkan perhitungan data jumlah kendaraan yang terdaftar dengan data panjang jalan yang telah dipetakan dalam grid, disertai dengan validasi dengan data ATTN dan pemetaan proporsional beban emisi tiap jenis kendaraan dengan proporsi panjang jalan di suatu grid terhadap panjang jalan total. Hasil yang diperoleh berupa data inventarisasi emisi yang telah dipetakan secara spasial.

Kata kunci: emisi, grid, inventarisasi emisi, pemetaan spasial, ATTN

Abstract: Emission inventory is an important part of air quality management. Unfortunately, a continued effort on emission inventory in developing countries such as Indonesia often reached standstills and created gaps because of data unavailability. More often are when the emission inventory is executed with results having high amounts of uncertainties because of the low-tier approach. The methods usually used are VKT calculations (vehicle kilometers travelled), traffic counting, and calculation from the registered number of vehicles. The methods introduced in this research combines the calculation from the number of registered vehicles with a mapped grid of road lengths, validated with OD matrix datas and a proportionate mapping of emission load with a ratio of road length in each grid. The result is an emission inventory data that are mapped spatially.

Key words: emission, emission inventory method, grid, SLCFs, transportation

PENDAHULUAN

Perubahan kondisi atmosfer akibat pencemaran udara yang saat ini kita kenal sebagai "Global Warming" telah mendapat perhatian sebagai masalah yang membutuhkan usaha mitigasi masyarakat global berupa pencegahan dan penanganan yang efektif dan kontinu. Sebagai negara berkembang, kontinuitas proses pengelolaan lingkungan di Indonesia perlu perhatian lebih mengingat negara-negara di Asia mengalami dampak yang paling besar dari fenomena

lingkungan hidup karena adanya negara-negara yang mengalami gabungan permasalahan populasi yang tinggi, aktivitas industri yang pesat serta terus meningkatnya jumlah kendaraan bermotor [Hopke dkk, 2008], namun tidak didukung dengan rencana pengelolaan lingkungan yang baik. Padahal, proses penanganan tingkat emisi gas rumah kaca seperti *Chloro Fluoro Carbon (CFC)* memerlukan kontinuitas yang tinggi karena waktu tinggalnya di atmosfer yang panjang. Karena itu, perhatian diarahkan pada golongan *SLCFs* atau *Short Lived Climate Forcers* yang secara harfiah berarti "penekan iklim berhidup pendek". Senyawa yang termasuk dalam golongan tersebut adalah *BC (Black Carbon)* dan *TO (Tropospheric Ozone)*. *SLCFs* walaupun memiliki waktu tinggal di atmosfer yang pendek namun memiliki dampak yang signifikan terhadap perubahan iklim, sehingga dengan melakukan mitigasi pada *SLCFs* diharapkan dapat memberikan hasil yang segera terhadap kondisi iklim jangka pendek [WMO/UNEP 2011].

Pendekatan pada *SLCFs* dianggap cocok, terutama bagi negara-negara berkembang Asia seperti Indonesia. Berdasarkan Zhang et al. (2009) dalam USAID, (2010) Indonesia merupakan penyumbang ketiga terbesar di Asia, dengan 6% dari emisi *BC* Asia berasal dari Indonesia. Sumber utama *BC* antara lain adalah mesin diesel untuk industri maupun transportasi [USAID 2010]. Selain itu, tingkat pencemaran *TO* di Indonesia juga cukup tinggi, yang diperkirakan diakibatkan oleh emisi kendaraan bermotor dan industri, terutama di daerah perkotaan. Penelitian yang dilakukan oleh Suhadi et al. (2005) di Jakarta pada tahun 1996-1999 dan 2001-2002 menunjukkan kadar ozon (*O3*) tertinggi dalam pengukuran per jamnya mencapai 964 ppb.

Salah satu masalah kontinuitas proses penanganan permasalahan lingkungan, dalam hal ini pencemaran udara, di Indonesia saat ini adalah ketidakseragaman ketersediaan data, terutama di daerah-daerah Indonesia yang belum semaju kota besar di Indonesia seperti Jakarta. Oleh karena itu, sering terjadi ketidakmampuan berjalannya proses pengelolaan lingkungan akibat ketidaktersediaan data untuk metode-metode pengukuran yang umum dilakukan, atau walaupun proses telah berjalan, akurasi hasil dianggap kurang. Padahal, inventarisasi emisi yang akurat merupakan dasar dari manajemen kualitas udara [Kanabkaew dkk, 2010]. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang ekstensif mengenai metode pengawasan kondisi lingkungan, khususnya manajemen kualitas udara, sehingga dapat diperoleh proses pengelolaan lingkungan yang kontinu dan akurat melalui ekstensivitas ketesediaan metode pengukuran untuk berbagai macam kondisi ketersediaan data.

Metode yang digunakan saat ini untuk melakukan inventarisasi emisi dari sektor transportasi adalah dengan menghitung "Vehicle Kilometres Traveled" (VKT), yaitu jarak yang telah ditempuh suatu kendaraan dan mengalikannya dengan faktor emisi yang akan diukur. Kekurangan dari metode ini antara lain adalah masih kurangnya ketelitian akibat banyaknya jumlah asumsi yang digunakan. Namun, metode ini adalah metode yang telah lama digunakan di Indonesia sebagai metode inventarisasi emisi. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif baru sebagai metode inventarisasi emisi dari sektor transportasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan contoh kasus tingkat emisi *SLCFs* di Kota Surabaya dari sumber transportasi darat. Sektor transportasi darat dipilih karena permasalahannya yang dekat dengan kehidupan sehari-hari sehingga hasil yang diperoleh nantinya dapat lebih mudah diterima oleh masyarakat sehingga transparansi penelitian akan lebih mudah tersampaikan. Selain itu, permasalahan kepadatan transportasi darat merupakan salah satu masalah utama yang dihadapi oleh Indonesia. Proses penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data sekunder, penentuan metode penelitian serta pengolahan data berupa proses inventarisasi emisi dari data yang diperoleh. Studi literatur awal bertujuan untuk mengumpulkan metode-metode penelitian yang mungkin dilakukan untuk melakukan inventarisasi emisi, sehingga dapat diperoleh

bayangan mengenai data-data apa saja yang diperlukan. Pengumpulan data dilakukan melalui lembaga-lembaga yang terkait di Kota Surabaya yaitu Dinas Perhubungan, Badan Pusat Statistik dan Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah. Dari data yang diperoleh, ditentukan metode yang akan digunakan, atau dapat ditentukan metode baru yang dianggap cocok dengan data-data yang tersedia.

Dalam penelitian ini, digunakan metode baru yang mengumpakan ruang lingkup penelitian sebagai sebuah reaktor. Dengan menggunakan data ATTN (Asal Tujuan Transportasi Nasional) penumpang Propinsi Jawa Timur, data jumlah kendaraan bermotor Kota Surabaya serta peta dan data panjang jalan Kota Surabaya, daerah Kota Surabaya dan sekitarnya dipetakan dengan *grid* berukuran 1 km x 1 km dan kemudian dipetakan jalan-jalan utama yang terdapat di dalamnya. *Gridding* atau pembuatan *grid* dilakukan karena mengingat pencemaran udara bukanlah sesuatu yang seragam secara spasial, pemetaan secara spasial dapat mempermudah proses analisis dan aplikasi dari hasil yang diperoleh [Streets dkk, 2003]. Panjang jalan per *grid* diukur dan kemudian dipetakan. Data ATTN penumpang kemudian diambil yang keluar dari dan menuju Kota Surabaya, lalu diambil jumlah yang paling besar sebagai asumsi *worst case scenario*. Kemudian, jumlah yang paling besar ditambahkan dengan selisih positif (TS) dari jumlah penumpang masuk dan keluar sebagai bangkitan kendaraan yang diasumsikan tinggal dan beraktivitas di dalam Kota Surabaya, sehingga diperoleh proporsi jumlah penumpang yang diasumsikan berkontribusi dengan kendaraan mereka terhadap tingkat emisi Kota Surabaya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Persamaan (1)** dan **(2)**.

$$TS = TM - TK \quad (1)$$

$$TP = T+TS \quad (2)$$

Keterangan:

- TS : Selisih jumlah masuk dan keluar
- TM : Jumlah total penumpang masuk ke Kota Surabaya
- TK : Jumlah total penumpang keluar dari Kota Surabaya
- TP : Jumlah proporsi penumpang yang digunakan dalam perhitungan
- T : Jumlah total penumpang masuk/keluar Kota Surabaya (diambil mana yang paling besar, jika sama maka diambil salah satunya), T= 0 jika TM - TK = 0

Jumlah proporsi penumpang yang diperoleh, kemudian dibagi-bagi berdasarkan data jumlah kendaraan di Kota Surabaya, dengan asumsi bahwa kendaraan yang keluar masuk Kota Surabaya merupakan kendaraan yang terdaftar dengan STNK Kota Surabaya juga, mengingat kegiatan sehari-hari sebagian besar warga Kota Surabaya meliputi perjalanan menuju daerah-daerah sekitar Kota Surabaya seperti Kabupaten Sidoarjo dan Gresik. Adapun digunakan asumsi jumlah penumpang rata-rata per jenis kendaraan berdasarkan asumsi kapasitas maksimal umum tiap jenis kendaraan dikurangi 1, kecuali kendaraan-kendaraan seperti truk, bus dan sepeda motor. Adapun asumsi jumlah penumpang tiap jenis kendaraan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Proporsi penumpang kemudian dibandingkan dengan jumlah total penumpang seluruh jenis kendaraan yang diperoleh dengan menjumlahkan total penumpang tiap jenis kendaraan dari **Persamaan (3)**, dan selisih dari jumlah total penumpang yang diperoleh dihilangkan dengan melakukan pendekatan dengan cara menambahkan atau mengurangi jumlah kendaraan yang paling besar signifikansinya terhadap perubahan jumlah penumpang, misalkan dalam hal ini menambah atau mengurangi jumlah bus, kemudian setelah mendekati diakhiri dengan mengurangi jumlah kendaraan yang signifikansinya terhadap perubahan jumlah penumpang paling kecil, dalam hal ini sepeda motor atau truk. Dalam penelitian ini, yang diubah jumlahnya adalah

truk, berdasarkan tingginya aktivitas keluar masuk barang dengan truk karena adanya pelabuhan utama di Kota Surabaya.

Tabel 1 Asumsi jumlah penumpang tiap jenis kendaraan

Jenis Kendaraan	Asumsi Jumlah Penumpang
Sedan	3
Jeep	4
Station Wagon	6
Bus	4
Truk	2
Sepeda Motor	2

$$Pa = JKa * APa \quad (3)$$

Keterangan:

P : Jumlah penumpang jenis kendaraan a

JKa : Jumlah kendaraan jenis a

AP : Asumsi jumlah penumpang jenis kendaraan a

Kemudian, dicari perkiraan distribusi jumlah tiap jenis kendaraan di tiap grid dengan **Persamaan (4)** sebagai berikut.

$$KGa1 = \left(\frac{PJG1}{PJT} \right) x JKa \quad (4)$$

Keterangan:

KGa1 : Jumlah kendaraan a di grid 1 (kendaraan/tahun)

PJG1 : Panjang jalan di grid 1

PJT : Panjang jalan total

Jumlah kendaraan di tiap grid kemudian dikalikan dengan faktor emisi tiap jenis kendaraan untuk masing-masing parameter yang ingin diukur, sehingga diperoleh beban emisi tiap senyawa oleh tiap jenis kendaraan di tiap grid untuk tiap kilometer panjang jalan. Perhitungan dilakukan dengan **Persamaan (5)**. Adapun faktor emisi dapat dilihat pada **Tabel 2**.

$$BEa1 = KG1 x FEa \quad (5)$$

Keterangan:

BEa1 : Beban emisi senyawa n oleh kendaraan a di grid 1 per km jalan (gr/km/tahun)

FEa : Faktor emisi senyawa n untu kendaraan a (gr/km/kendaraan)

Tabel 2. Faktor emisi BC dan senyawa precursor O₃ (TO) untuk tiap jenis kendaraan

Jenis Kendaraan	CO ^a	NO _x ^a	NMVOC ^a	CH ₄ ^b	BC ^c
Sedan (Gasoline PC)	57	6,9	4,9	1,7	0,43
Jeep (Diesel PC)	7	8,4	1,8	0,13	3,6
ST Wagon (Gasoline LDV)	317	13,3	18	1,24	0,43
Bus (Diesel LDV)	8	15,5	2,4	0,08	3,6
Truk (Diesel HDV)	11	26,4	4	0,25	3,6
Sepeda Motor	117	8	173	6,13	-

Keterangan:

^a Kannari et al., 2006

^bEMEP/CORINAIR, 2006

^c Bond et al., (2004), diambil kadar tertinggi sebagai worst scenario

Kemudian beban emisi tiap grid dikalikan dengan panjang jalan di tiap grid, sehingga dapat diperoleh beban emisi di tiap grid yang telah terdistribusi sesuai dengan panjang jalan yang ada di tiap grid. Perhitungan dapat dilihat pada **Persamaan (6)**.

$$Ena1 = \frac{BEna1 \times PJG1}{1.000.000} \quad (6)$$

Keterangan:

Ena1 : Beban emisi parameter n oleh kendaraan a di grid 1 (dalam ton/tahun)

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah data beban emisi dari sector transportasi darat yang telah terdistribusi sederhana secara spasial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data ATTN, diperoleh jumlah total penumpang masuk TM sebesar 28.040.496 orang, dan total penumpang yang keluar (TS) dari Kota Surabaya sebanyak 22.031.653. Terlihat bahwa jumlah penumpang masuk lebih banyak dari penumpang keluar, sehingga:

$$T = TM - TS = 28.040.496 - 22.031.653 = 6.008.843 \quad (7)$$

Dari **Persamaan (7)**, diperoleh nilai T dan TS, sehingga pada **Persamaan (8)** dapat diperoleh proporsi penumpang (TP):

$$TP = 28.040.496 + 6.008.843 = 34.049.339 \quad (8)$$

Diketahui bahwa jumlah proporsi penumpang yang digunakan sebesar 34.049.339. Setelah itu, jumlah total penumpang yang diperoleh dari data kendaraan yang terdaftar di Kota Surabaya dihitung. Sebagai contoh, di **Persamaan (9)**, jumlah perkiraan penumpang dari jumlah kendaraan sedan yang terdaftar dihitung.

$$P \text{ sedan} = JK \text{ sedan} \times AP \text{ sedan} = 193.953 \times 3 = 581.859 \quad (9)$$

Dapat diperoleh asumsi bahwa jumlah penumpang yang ada dalam mobil sedan sebanyak 581.859 orang. Total penumpang yang diperoleh dari keseluruhan jenis kendaraan yang terdaftar adalah sebesar 27.558.711. Jelas terlihat bahwa ada selisih yang signifikan antara kedua total penumpang yang diperoleh, sehingga jumlah kendaraan di data registrasi kendaraan harus

disesuaikan terlebih dahulu hingga menyamai total yang diperoleh dari data ATTN. Hal ini dilakukan karena diasumsikan data registrasi kendaraan hanya berdasar pendaftaran STNK, sedangkan data ATTN adalah data yang diperoleh melalui survey lapangan, sehingga memiliki keaslian yang lebih baik. Hasil dari penyesuaian jumlah kendaraan tiap jenisnya dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Jumlah kendaraan tiap jenis pada kondisi awal dan dengan jumlah yang telah disesuaikan

Jenis Kendaraan	Jumlah Awal	Jumlah Disesuaikan
Sedan	193.953	193.953
Jeep	149.885	149.885
ST wagon	586.192	586.196
Bus	49.578	211.843
Truk	342.767	342.769
Motor	10.095.753	10.095.753

Setelah itu, kita ambil sebuah *grid* dan ambil nilai panjang jalan yang ada di dalamnya, sehingga kita dapat memperkirakan jumlah kendaraan yang ada di dalamnya dengan **Persamaan (10)**. *Grid* yang akan dijadikan contoh adalah *grid* (6,2) yang memiliki 0,276 km jalan di dalamnya.

$$KG_{\text{sedan}}(6,2) = \frac{PJG(6,2)}{PJT} \times JK_{\text{sedan}} = \frac{0,276}{155,997} \times 193.953 \approx 344 \quad (10)$$

Jumlah perkiraan sedan di *grid* (6,2) adalah sebesar 344 sedan, dibulatkan. Setelah itu, kita ambil faktor emisi dari jenis kendaraan yang telah kita petakan untuk parameter yang kita inginkan, untuk kemudian dikalkulasikan, seperti terlihat pada **Persamaan (11)**. Sebagai contoh, dilakukan perhitungan senyawa CO, prekursor dari TO, oleh jenis kendaraan sedan.

$$BE_{CO_{\text{sedan}}} = KG(6,2) \times FE_{CO_{\text{sedan}}} = 344 \times 57 \approx 19,608 \quad (11)$$

Jumlah yang diperoleh kemudian dikalikan dengan panjang jalan dalam *grid*, dalam hal ini *grid* (6,2), sehingga dapat diperoleh beban emisi di *grid* tersebut, seperti terlihat pada **Persamaan (12)**.

$$E_{CO_{\text{sedan}}}(6,2) = \frac{BE_{CO_{\text{sedan}}}(6,2) \times PJG(6,2)}{1.000.000} \approx 0,7 \text{ ton/tahun} \quad (12)$$

Hasil yang diperoleh menunjukkan distribusi yang terpusat di sekitar pusat Kota Surabaya, mengingat jalan yang dipetakan hanyalah jalan-jalan utama. Walaupun begitu, ketelitian penelitian ini relatif tinggi karena diasumsikan signifikansi emisi pada jalan-jalan yang tidak dipetakan (jalan kecil, jalan kompleks, dsb) relatif kecil. Selain itu, secara distribusi sumber hasil penelitian sudah cukup mewakili sebagian besar dari kegiatan transportasi utama di Kota Surabaya karena menggunakan jalan-jalan arteri utama dan jalan tol nasional.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode yang dihasilkan cukup teliti dan memberikan hasil yang baik. Dengan ketersediaan data ATTN, dapat diperoleh model reaktor keluar-masuk kendaraan dan dengan itu dapat diperoleh hasil pengukuran emisi dengan menggunakan faktor emisi dari tiap kendaraan dan parameter. Data peta dan panjang jalan

memberikan distribusi beban emisi sehingga dapat diperoleh hasil inventarisasi yang lebih terpresentasikan secara spasial sehingga mempermudah pemaparan. Dengan metode dan hasil yang diperoleh, diharapkan dapat meningkatkan standar ketelitian dan kontinuitas usaha pengelolaan lingkungan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- EEA (2006), *EMEP/CORINAIR emission inventory guidebook 2006*, European Environment Agency, 2008. <http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR4/en/page002.html>. Bond, T.C., D.G. Streets, K.F. Yarber, S.M. Nelson, J.-H. Woo, & Z. Klimont, 2004. *A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion*, J. of Geophysical Research, 109, D14203, doi:10.1029/2003JD003697, 2004.
- Hopke, P. K., D.D Cohen, B.A. Begum, S.K. Biswas, Bangfa Ni, G.G. Pandit, M. Santoso, Y.-S. Chung, P. Davy, A. Markwitz, S.Waheed, N. Siddique, F.L. Santos, P.C.B. Pabroa, M.C.S. Seneviratne, W. Wimolwattanapun, S. Bunprabob, T.B. Vuong, P.D. Hien, & A. Markowicz, 2008. *Urban air quality in the Asian region*. Science of the Total Environment 404 (2008) : 103-112
- Kanabkaew, Thongchai & Nguyen Thi Kim Oanh. 2010. *Developmet of Spatial and Temporal Emission Inventory for Crop Residue Field Burning*. Springer Science+Business Media B.V 2010, Environ Model Assess (2011) 16:453-464, DOI 10.1007/s10666-010-9244-0.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2010. *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 Tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*. Streets, D.G., T.C. Bond, G.R. Carmichael, S.D. Fernandes, Q. Fu, D. He, Z. Klimont, S.M.
- Nelson, N.Y. Tsai, M.Q. Wang, J.-H. Woo, & K.F. Yarber, 2003. *An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000*, J. of Geophysical Research, 108, D21, 8809, doi:10.1029/2002JD003093, 2003.
- Suhadi, D.R., M. Awang, M.N. Hassan, R.A., & Azizi Hj. Muda., 2005. *Review of Photochemical Smog Pollution in Jakarta Metropolitan, Indonesia*. American Journal of Environmental Sciences. 2 : 110 – 118
- UNEP-WMO. 2011. *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone. Summary for Decision Makers*, United Nations Environment Program
- USAID. 2010. *Black Carbon Emissions in Asia : Sources, Impacts, and Abatement*