



## MODEL SISTEM DINAMIS UNTUK ESTIMASI PENCEMARAN UDARA DARI EMISI KENDARAAN BERMOTOR DI JAKARTA

Nuraini Soleiman (nuraini@mail.ut.ac.id)  
Universitas Terbuka  
Rudy C. Tarumingkeng  
Akhmad Fauzi  
Bunaser Sanim  
Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

### ABSTRACT

*Air pollution from vehicle emission becomes a major problem in urban areas, including Jakarta, Indonesia. This vehicle emission worsening ambient air concentration because of increasingly use of diesel engine for urban transportation, which exhaust particulate matter. This pollutant pose adverse health effect especially respiratory problems and premature mortality. This paper presents a model for estimating the level of pollution and the impact of that pollution on human health. An air quality model is developed using Gaussian model for urban area and the social-economic impact are estimated using Dose Response function. Simulation of the model shows a dynamic model is a powerfull tool for estimating the pollution level and the impact of the pollution. The result of the simulation can be used as basic information for decision makers to design some environmental policies for reducing the pollution level from vehicles emission.*

*Keywords: air pollution, particulate matter dynamic model, social-economic impact.*

Masalah pencemaran udara dari sumber kendaraan merupakan masalah serius di Jakarta. Upaya untuk mereduksi meningkatnya pencemaran udara dari sumber tersebut sampai saat ini, masih dihadapkan pada pilihan antara kepentingan pembangunan ekonomi atau meningkatkan kualitas lingkungan hidup. Pilihan pertama menyangkut permasalahan meningkatkan taraf hidup masyarakat, sedangkan yang kedua merupakan upaya meningkatkan kualitas hidup. Tercapainya titik keseimbangan antara kedua kepentingan tersebut merupakan indikasi keberhasilan Jakarta dalam melaksanakan pembangunan kota yang berkelanjutan.

Salah satu indikator kota berkelanjutan adalah konsumsi energi yang tidak berlebihan atau hemat. Implikasi dari hal tersebut pada sektor transportasi adalah meningkatnya penggunaan transportasi publik dibandingkan dengan penggunaan kendaraan pribadi. Selama ini, pemanfaatan transportasi publik oleh masyarakat mempunyai beberapa kendala di antaranya adalah layanan yang diberikan kurang memadai dan tingkat keamanan kurang terjaga (Japan International Cooperation Agency, 2003). Hal tersebut menyebabkan pemanfaatan transportasi publik merupakan alternatif sarana transportasi yang tidak terlalu diminati, sehingga penggunaan kendaraan pribadi terus meningkat.

Selain tidak tersedianya alternatif transportasi publik yang memadai, meningkatnya penggunaan kendaraan pribadi juga berkaitan erat dengan meningkatnya pendapatan masyarakat. Fullerton dan Gan (2005), menyatakan bahwa *demand* masyarakat terhadap jenis kendaraan sangat

bergantung pada pandangan masyarakat. Hal ini terbukti, dengan kontribusi sepeda motor mencapai 50 persen dari total populasi kendaraan. Meningkatnya jenis kendaraan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan mobilitas masyarakat sangat tinggi dan tidak terlayani oleh sistem transportasi publik di Jakarta.

Tingkat pertumbuhan kendaraan secara total antara tahun 2000-2004 rata-rata sekitar 11,27 persen. Dengan tingkat pertumbuhan kendaraan tersebut maka rasio penduduk kendaraan makin mengecil. Kecenderungan nilai ini akan terus menurun jika tidak ada suatu perbaikan sistem transportasi publik yang merupakan alternatif sarana transportasi bagi masyarakat.

Beberapa polutan di emisikan oleh kendaraan bermotor dan salah satunya adalah partikel debu yang ukuran diameternya kecil dari 10  $\mu$ meter disimbolkan dengan PM<sub>10</sub> atau PM<sub>10</sub>. Sumber utama dari emisi PM<sub>10</sub> adalah dari kendaraan diesel dengan bahan bakar solar. Di Jakarta emisi PM<sub>10</sub> dari sektor transportasi mencapai 71 persen dari emisi total polutan tersebut (Syahril, Resosudarmo, & Tomo, 2002). Meningkatnya emisi polutan menyebabkan meningkatnya konsentrasi polutan tersebut.

Meningkatnya penggunaan kendaraan menyebabkan meningkatnya emisi polutan dari sektor transportasi. Rata-rata meningkatnya emisi PM<sub>10</sub> per kelompok kendaraan berbeda per tahunnya. Antara tahun 2000-2004, emisi PM<sub>10</sub> kendaraan penumpang meningkat 9 persen, bus meningkat 8 persen, truk sebesar 13 persen, dan sepeda motor sebesar 16 persen.

Besarnya konsentrasi ambien PM<sub>10</sub> bergantung pada lokasi. Hasil pemantauan konsentrasi harian selama 24 jam menyimpulkan bahwa konsentrasi ambien pada beberapa lokasi telah melampaui baku mutu udara ambien harian (Tamin & Rachmatunisa, 2007). Meningkatnya konsentrasi polutan pada wilayah perkotaan sangat berbahaya, karena wilayah dengan tingkat kemacetan yang tinggi, menyebabkan konsentrasi dari zat tersebut meningkat secara tajam (Panyacosit, 2000).

Dampak PM<sub>10</sub> pada kesehatan adalah pada gangguan saluran pernapasan dan dapat menyebabkan kematian. Nilai ekonomi dari gangguan kesehatan yang disebabkan oleh polusi udara di wilayah perkotaan merupakan komponen yang dominan dari biaya polusi (Small & Kazimi, 1994; Lvovsky, Huges, Maddison, Ostro, & Pearce, 2000).

Upaya reduksi emisi kendaraan bermotor membutuhkan pendekatan sistem, yang ditandai oleh dua hal yaitu mencari semua faktor yang penting yang ada dalam mendapatkan solusi yang baik untuk menyelesaikan masalah dan membuat model kuantitatif yang merupakan representasi penyederhanaan dari situasi nyata yang lebih kompleks untuk membantu pembuat keputusan secara rasional (Eriyatno, 2003; Storch & Floser, 2001).

Makalah ini akan membahas model pencemaran udara PM<sub>10</sub> dari emisi kendaraan bermotor di Jakarta. Dengan menggunakan perangkat lunak sistem dinamis dilakukan estimasi tingkat pencemaran, dampak kesehatan dan nilai ekonomi dari kesehatan tersebut. Hasil estimasi yang diperoleh tersebut diharapkan dapat digunakan oleh pihak pengambil kebijakan.

## **METODOLOGI**

Untuk menentukan kualitas udara ambien pada wilayah urban, maka pembagian wilayah atas grid merupakan suatu kemudahan dalam pembuatan model. Untuk itu maka data emisi dan receptor untuk masing-masing grid harus ditentukan terlebih dahulu (Schnelle & Dey, 1999).

Data inventori emisi dan pembagian wilayah DKI Jakarta atas 23 grid diperoleh dari penelitian sebelumnya (Syahril *et al.* 2002). Data kependudukan diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Data historis meteorologi paling tidak untuk 5 tahun merupakan data yang penting yang harus

ada dalam pemodelan kualitas udara (Soedomo, 2001). Untuk kepentingan model ini data kecepatan angin dan arah angin tersedia untuk periode 10 tahun diperoleh dari Badan Meteorologi Geofisika (BMG).

Model estimasi konsentrasi udara ambien menggunakan model Gauss untuk wilayah perkotaan (Schnelle & Dey, 1999). Menggunakan metode sistem dinamis dapat diestimasi tingkat polutan di udara ambien, dampak kesehatan serta nilai ekonomi dari degradasi lingkungan untuk periode waktu tertentu. Estimasi dampak kesehatan dan nilai ekonomi menggunakan fungsi Dose-Response. Estimasi penduduk menggunakan pertumbuhan penduduk DKI Jakarta proyeksi penduduk (BPS, 2005).

### Pemodelan Kualitas Udara Wilayah Perkotaan

Model dispersi adalah program komputer yang menggunakan algoritma matematika untuk mensimulasi dispersi polutan di udara ambien. Model dispersi digunakan untuk mengestimasi konsentrasi dari emisi yang berasal dari sumber emisi bergerak maupun sumber emisi tetap. Salah satu model dispersi udara adalah model Gauss, yang mengasumsikan bahwa dispersi polutan udara terdistribusi secara Gauss, atau distribusi polutan mempunyai probabilitas distribusi normal (Godish, 1997; Schnelle & Dey, 1999).

Untuk jangka waktu estimasi yang panjang konsentrasi harus dicari untuk setiap arah angin menggunakan penyesuaian frekuensi kejadian untuk masing-masing arah angin. Teknik aproksimasi konsentrasi di atas telah diverifikasi untuk PM<sub>10</sub> di berbagai kota oleh Hanna dan Gifford, pada tahun 1973 (Schnelle & Dey, 1999).

Model dispersi Gauss untuk wilayah perkotaan adalah sebagai berikut (Schnelle & Dey, 1999):

$$\bar{C} = \frac{(2/\pi)^{1/2} x^{(1-b)}}{a(1-b)\bar{u}} Q_a \quad (1)$$

dalam hal ini,

$\bar{C}$  adalah estimasi konsentrasi ambien polutan PM<sub>10</sub>.

$\bar{u}$  adalah kecepatan angin rata-rata.

$Q_a$  adalah emisi per satuan luas.

a dan b adalah parameter koefisien dispersi vertikal.

Tabel 1. Parameter Koefisien Dispersi Vertikal

Kondisi Metereologi	Parameter	
	a	b
Sangat tidak stabil	0.4	0.91
Tidak stabil	0.33	0.86
Netral	0.22	0.8
Estimasi Pasquill D	0.15	0.75
Stabil	0.06	0.71

Sumber: Schnelle& Dey, 1999.

Estimasi konsentrasi ambien ini dipengaruhi oleh arah angin, dengan data 8 arah angin, persamaan untuk estimasi konsentrasi menjadi:

$$\bar{C} = \frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 f_{wd} C_{wd} \quad (2)$$

dalam hal ini,

$\bar{C}$  estimasi konsentrasi ambien.

$f_{wd}$  frekuensi arah angin.

$C_{wd}$  konsentrasi polutan untuk masing-masing arah angin.

### **Deposisi Polutan**

Setiap materi yang terdapat di udara akan dipindahkan dari atmosfer dan tersimpan pada tumbuhan atau dengan berpindah ke tanah atau air (Schnelle & Dey, 1999). Partikel ini kemudian dideposisi melalui deposisi kering atau basah, dan tidak mempengaruhi pepohonan tersebut.

Reduksi konsentrasi polutan di udara ambien dengan desposisi basah melalui penangkapan partikel oleh butir air hujan. Efisiensi penangkapan partikel oleh butir air hujan untuk partikel PM<sub>10</sub> mencapai 55 persen (Colls, 2002). Reduksi polutan diberikan dalam persamaan berikut:

$$C(t) = C(0)e^{-\lambda t} \quad (3)$$

dalam hal ini,

$C(0)$  : konsentrasi permukaan ( $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ).

$\lambda$  : konstanta konsentrasi decay dari partikel ( $\text{jam}^{-1}$ ),  
dengan  $\lambda = 0.825$ .

### **Dampak Pencemaran terhadap Kesehatan Manusia**

Dampak pencemaran udara pada kesehatan manusia diestimasi menggunakan fungsi dose-response yang dikembangkan Ostro (1994) untuk Jakarta. Secara umum fungsi dose-response untuk gangguan kesehatan akibat polutan adalah:

$$dHi = bi * POPi * dA \quad (4)$$

dalam hal ini,

$dHi$  = jumlah kasus kesehatan  $i$

$bi$  = kemiringan (slope) fungsi dose-response untuk masalah kesehatan  $i$

$POPi$  = penduduk di wilayah yang terpolusi

$dA$  = selisih konsentrasi ambien dan BMA.

Baku mutu udara ambien rata-rata tahunan untuk PM<sub>10</sub> baik secara nasional maupun Jakarta tidak diperoleh, karena itu digunakan baku mutu udara ambien dari EPA, yaitu 50  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ .

Besarnya dampak kesehatan pada masyarakat untuk jenis gangguan kesehatan tertentu sangat ditentukan oleh fraksi penduduk yang berpotensi menerima dampak kesehatan tersebut.

Berikut beberapa gangguan kesehatan yang diestimasi menggunakan fungsi dose response.

Jumlah Kasus Serangan Asma =  $0.0326 * (PM_{10} - BMA_{PM_{10}}) * POP * AP$

AP adalah persentase penduduk yang menderita asma, persentase rata-rata penduduk Jakarta yang menderita asma adalah 1,675 persen (BPS, 2003).

Tabel 2. Fungsi Dose-response

Dampak Kesehatan	Kemiringan Fungsi DR PM <sub>10</sub>
Kasus Kematian (PM)	0,00096
Keterbatasan Hari Kerja (RAD)	0,0575
Simpton Gangguan pernapasan ( RSD)	0,183
Simpton Pernapasan pd Anak-anak (LRI)	0,00169
Serangan Asma ( AA)	0,0326
Bronchitis Kronis ( CB)	0,0000612
Perawatan RS Gangguan Pernapasan ( RHA)	0,000012
Perawatan UGD RS Gangguan Pernapasan ( ERV)	0,0002354

Sumber: Ostro 1994.

Jumlah Kasus LRI =  $0.00169 * (PM_{10} - BMA PM_{10}) * POP * PA$

LRI = *Lower Respiratory Illness among Children*; gangguan pernapasan pada anak-anak. PA adalah persentase jumlah anak dibawah 14 tahun. Persentase jumlah anak di DKI Jakarta antara tahun 2000 sampai 2005 adalah 26.9 persen (BPS, 2005).

Jumlah Kasus RAD =  $0.0575 * (PM_{10} - BMA PM_{10}) * POP * PK$

RAD = *Restricted Activity Days* ; jumlah hari keterbatasan kegiatan. PK adalah persentase penduduk usia bekerja 0.40 persen dari jumlah penduduk.

### Nilai Ekonomi dari Gangguan Kesehatan

Nilai ekonomi dari masalah kesehatan yang berkaitan dengan polutan diperhitungkan menggunakan persamaan berikut:

$$TBi = Vi * dHi \quad (5)$$

Dalam hal ini,

TBi : nilai ekonomi dari masalah kesehatan i.

Vi : nilai estimasi masing-masing kasus masalah kesehatan.

dHi : jumlah kasus kesehatan untuk masalah kesehatan i.

Estimasi nilai ekonomi untuk masing-masing kasus kesehatan diperhitungkan dari nilai biaya perawatan, Upah Minimum Regional (UMR), dan nilai *value of statistical life* (VSL).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Validasi Model

Agar model dapat dikatakan valid dan reliabel, maka model harus melalui proses validasi. Pada prinsipnya validasi model adalah membandingkan data hasil monitoring langsung di lapangan dengan data hasil simulasi model. Pada dasarnya estimasi dari variabel dampak pada kesehatan maupun nilai ekonomi dari kesehatan sangat bergantung pada estimasi model dispersi. Karena itu, validasi dari model dispersi sangat penting dalam proses pemodelan ini.

Untuk memvalidasi model dispersi, data historis metereologi untuk model sama dengan data metereologi pada pemantauan (Lvovsky, Huges, Maddison, Ostro, & Pearce, 2000; Colvile, *et al.*

2002; Lestari, 2001). Data historis meteorologi yang digunakan adalah data kecepatan angin rata-rata antara tahun 1995-2004.

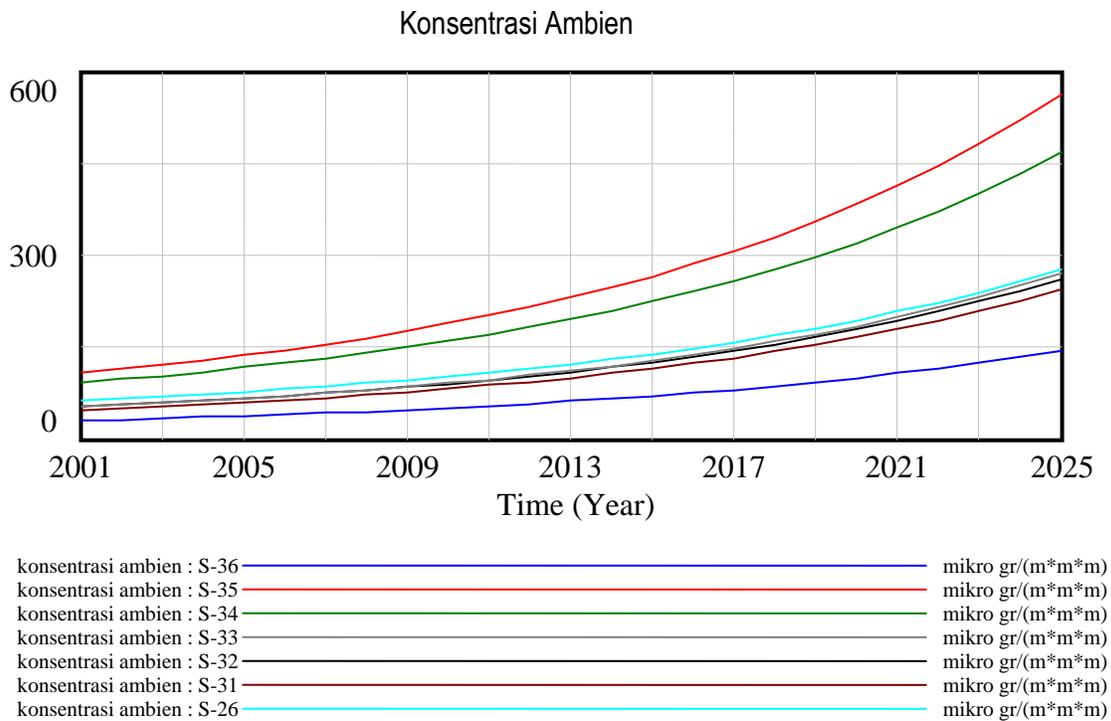
Validasi model yang dibangun menggunakan 2 jenis validasi yaitu validasi dengan mengacu pada teori atau uji teori dan validasi struktur model atau analisis sensitivitas model. Validasi tingkat pencemaran menggunakan data hasil monitoring yang dilakukan oleh Bapelda Jakarta antara tahun 2001-2004.

Data konsentrasi ambien tahunan untuk PM<sub>10</sub> yang dipantau oleh Bapelda Jakarta hanya terdapat untuk 4 tahun, yaitu antara tahun 2001 sampai dengan tahun 2004. Perbandingan angka hasil pantauan dan model disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi Hasil Pengamatan dan Model

Tahun	Hasil Bapelda Jakarta ( $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ )	Hasil Model ( $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ) Rata-rata
2001	69.62	74.65
2002	80.04	78.66
2003	70.93	82.98
2004	74.98	87.62

Selisih hasil model dan hasil pemantauan secara rata-rata sebesar 7 persen. Secara teori selisih nilai pengamatan dan model mencapai 100% dapat diterima, karena pada pengamatan tidak ada kekecualian lingkungan yang berdampak pada kapasitas dispersi atmosfer, yang tidak diperhitungkan dalam model (Schnelle & Dey, 1999; Colville, *et al.*, 2002).

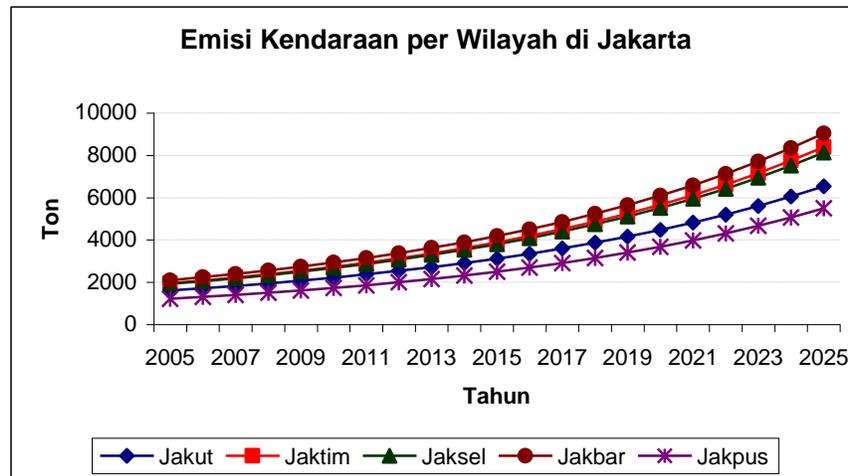


Gambar 1. Konsentrasi udara ambien PM<sub>10</sub> per Grid

Uji kestabilan struktur model atau sensitivitas model dimaksudkan untuk melihat kekuatan (*robustness*) model dalam dimensi waktu (Muhammadi, Aminullah, & Soesilo, 2001). Dengan demikian, uji sensitivitas model dilakukan dengan merubah variabel model dan haruslah memberikan kecenderungan yang sama jika model dikatakan *robust*. Hasil uji *robustness* model ini diberikan pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa perubahan variabel menghasilkan keseragaman perilaku model, sehingga model dapat dikatakan *robust*.

### Analisis Hasil Simulasi

Simulasi model dinamis menghasilkan bahwa emisi kendaraan per wilayah (Gambar 2) memperlihatkan bahwa tingkat emisi kendaraan tertinggi terdapat di wilayah Jakarta Barat (Jakbar), sedangkan tingkat emisi terendah terdapat di wilayah Jakarta Pusat (Jakpus). Gambar 2 juga memperlihatkan bahwa wilayah-wilayah yang berbatasan dengan wilayah Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi (Bodetabek) memiliki tingkat emisi kendaraan yang lebih tinggi. Dengan demikian, pengaruh tingginya penglaju (*commuters*) dari wilayah (Bodetabek) merupakan salah satu penyebab meningkatnya emisi kendaraan di wilayah perbatasan tersebut karena sekitar 700.000 kendaraan per hari yang memasuki wilayah Jakarta dari Bodetabek (Japan International Cooperation Agency, 2003).

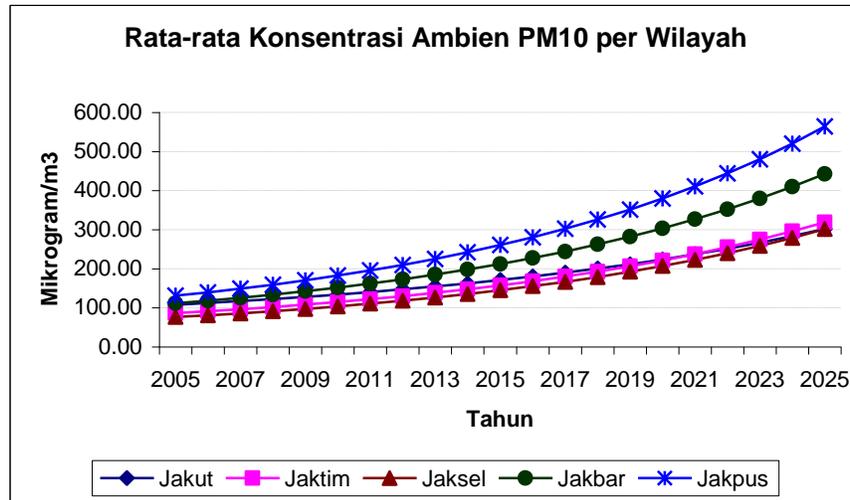


Gambar 2. Estimasi emisi kendaraan per wilayah

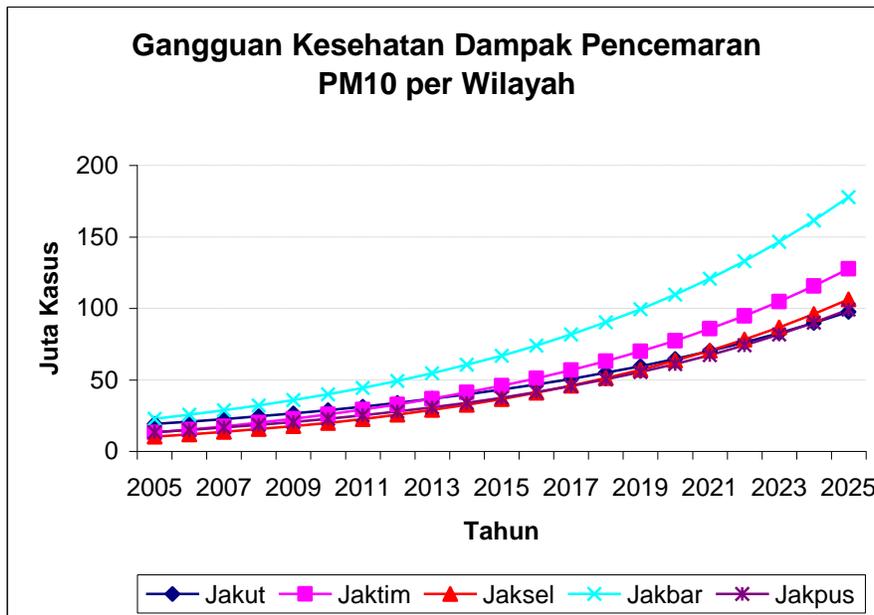
Kontribusi emisi kendaraan terhadap emisi total  $PM_{10}$  sekitar 75 persen dan meningkat per tahunnya sebesar 7,5 persen. Dampak dari meningkatnya emisi tersebut adalah meningkatnya konsentrasi ambien  $PM_{10}$ . Konsentrasi ambien  $PM_{10}$  bervariasi bergantung pada lokasi. Secara rata-rata konsentrasi ambien  $PM_{10}$  Jakarta telah melampaui ambang batas kualitas udara ambien yang ditetapkan untuk kesehatan yaitu  $50 \mu\text{gr}/\text{m}^3$  (Gambar 3). Dari Gambar 3 diperoleh bahwa tingkat konsentrasi ambien  $PM_{10}$  tertinggi terdapat di wilayah Jakpus, sehingga dapat dikatakan bahwa konsentrasi ambien tidak semata-mata bergantung pada emisi.

Meningkatnya konsentrasi ambien menyebabkan meningkatnya dampak pencemaran pada kesehatan manusia dan nilai ekonomi dari gangguan kesehatan tersebut (Gambar 4 dan Gambar 5). Gambar 4 memberikan informasi bahwa pada awal masa estimasi wilayah Jakbar merupakan wilayah yang paling tinggi menerima gangguan kesehatan dari pencemaran tersebut. Kemudian

secara berurutan diikuti oleh wilayah Jakarta Utara (Jakut), Jakpus, Jakarta Timur (Jaktim) dan Jakarta Selatan (Jaksel).



Gambar 3. Estimasi konsentrasi ambien PM<sub>10</sub> per wilayah

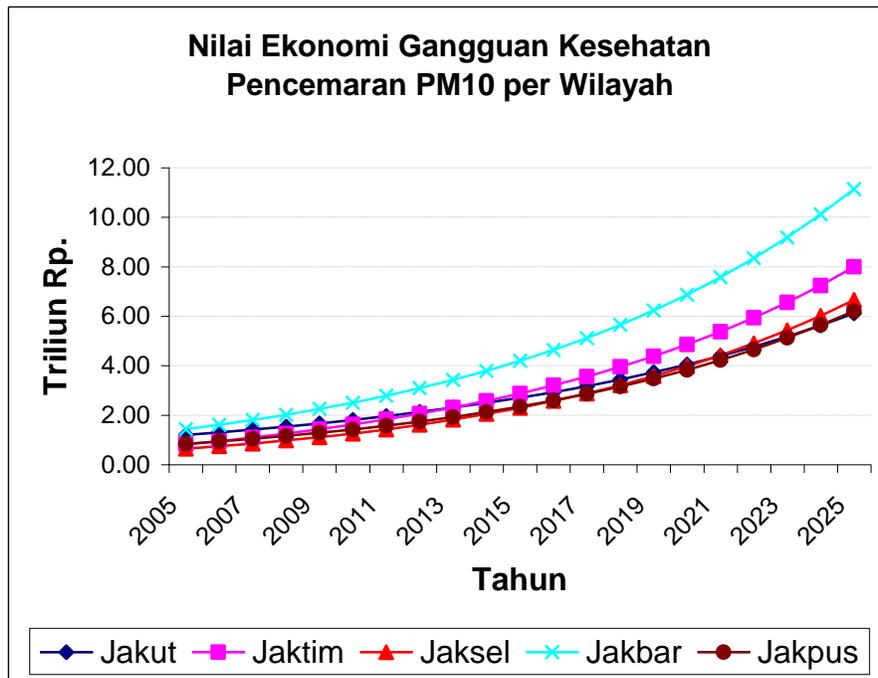


Gambar 4. Estimasi gangguan kesehatan per wilayah

Gambar 3 memberikan bahwa wilayah Jakbar memiliki tingkat konsentrasi ambien PM<sub>10</sub> di bawah atau lebih rendah dibandingkan tingkat konsentrasi ambien PM<sub>10</sub> di wilayah Jakpus. Namun, dampak kesehatan akibat pencemaran ini yang diberikan pada gambar 4 memperlihatkan bahwa wilayah Jakbar memiliki penderita dampak pencemaran lebih tinggi dibandingkan wilayah Jakpus.

Hal tersebut terjadi karena estimasi dampak kesehatan juga dipengaruhi oleh jumlah penduduk di masing-masing wilayah.

Sebaran penduduk Jakarta memberikan untuk masing-masing wilayah Jakpus, Jakbar, Jaksel, Jakut, dan Jaktim adalah 9.2, 24.1, 21.4, 17.0, 28.2 persen dari total penduduk Jakarta. Gambar 4 memberikan bahwa pola gangguan kesehatan dipengaruhi juga oleh sebaran penduduk dan kaitannya dengan tingginya konsentrasi ambien di wilayah tersebut. Hal ini terlihat pada gambar 3, Jakpus memiliki tingkat konsentrasi ambien yang lebih tinggi dari tingkat konsentrasi ambien Jaktim. Namun, gambar 4 memberikan bahwa setelah tahun awal estimasi tingkat gangguan kesehatan di wilayah Jaktim lebih tinggi dibandingkan wilayah Jakpus.



Gambar 5. Nilai ekonomi gangguan kesehatan per wilayah

Nilai ekonomi gangguan kesehatan diberikan pada gambar 5. Gambar 5 menunjukkan bahwa pola nilai ekonomi mengikuti pola gangguan kesehatan seperti Gambar 4. Hal ini disebabkan nilai ekonomi hanya dipengaruhi oleh biaya kesehatan dari masing-masing gangguan kesehatan.

## KESIMPULAN

Hasil validasi model menyimpulkan bahwa model yang dibangun valid dan reliabel. Dengan demikian penggunaan model dinamis dapat dilakukan untuk mengestimasi tingkat degradasi kualitas udara dan dampak sosial-ekonomi yang disebabkan oleh pencemaran tersebut. Hasil simulasi model tersebut untuk kasus Jakarta dengan parameter lingkungan  $PM_{10}$  menunjukkan bahwa tingginya gangguan kesehatan dan nilai ekonomi gangguan kesehatan dari penggunaan kendaraan bermotor. Mengingat tingginya gangguan kesehatan dari penggunaan kendaraan bermotor, maka pemerintah daerah harus melakukan suatu intervensi kebijakan yang terkait pada lingkungan.

## REFERENSI

- Badan Pusat Statistik Propinsi DKI Jakarta. (2004). *Statistik wilayah DKI Jakarta*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik. (2005). *Proyeksi penduduk Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Colls, J. (2002). *Air Pollution*. New York: Spon Press.
- Colville, R.N., Woodfield, N.K., Carrutsther, D.J., Fisher, B.E.A., Rickard, A., Neville, S., & Hughes, A. (2002). Uncertainty in dispersion modelling and urban air quality mapping. *Journal of Environmental Science & Policy* 5: 207-220.
- EPA. (2007). Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. Diambil 4 Mei 2007, dari [www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR](http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR).
- Eriyatno (2003). *Ilmu sistem, meningkatkan mutu dan efektivitas manajemen*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Fullerton, D, & Gan, L. (2005). *Cost effective policies to reduce vehicle emissions*. National Bureau of Economic Research. Working Paper No.11174.
- Godish, T. (1997). *Air quality*. New York: Lewis Publisher.
- Japan International Cooperation Agency & National Development Planning (BAPPENAS) Republic of Indonesia (2003). *The study of transportation master plan for Jabodetabek*. Jakarta: Pasific Consultants Internatonal ALMEC Corporation.
- Lestari, P. (2001). *Pemodelan kualitas udara dari emisi kendaraan bermotor di Surabaya*. Surabaya: GTZ Sustainable Urban Transport Project.
- Lvovsky, K., Huges, G., Maddison, D., Ostrom, B., & Pearce, D. (2000). *Environmental cost of fossil fuels*. Pollution Management Series. The World Bank Environment Department.
- Muhammadi, Aminullah, E., & Soesilo, B. (2001). *Analisis sistem dinamis: Lingkungan hidup, sosial, ekonomi, manajemen*. Jakarta: UMJ Press.
- Ostro, B. (1994). *Estimating the health effects of air pollutants: A method with an application to Jakarta*. Policy Research Working Paper No. 1303. Diambil 18 Januari 2006 dari [http://wdsbeta.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/1994/05/01/000009265\\_3970716141007/Rendered/PDF/multi0page.pdf](http://wdsbeta.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/1994/05/01/000009265_3970716141007/Rendered/PDF/multi0page.pdf).
- Panyacosit, L.. (2000). *A review of particulate matter and health: Focus on developing countries*. Diambil 11 Januari 2006, dari <http://www.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-00-005.pdf>.
- Schnelle, K.B. Jr., & Dey P.R. (1999). *Atmospheric dispersion modeling compliance guide*. New york: McGraw-Hill.
- Small, K.A, & Kazimi, C. (1994). *On the costs of air pollution from motor vehicles*. Diambil 11 Januari 2006 dari <http://www.socsci.uci.edu/~ksmall/Small-Kazimi.pdf>.
- Soedomo, M. (2001). *Pencemaran udara (Kumpulan karya ilmiah)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Storch, H.V., & Floser, G. (2001). *Model in environmental research*. Berlin: Springer.
- Syahril, S., Resosudarmo, B.P., Tomo, H.S. (2002). *Study on the air quality in Jakarta, Indonesia. Future trends, health impacts, economic value and policy options*. Jakarta: Asian Development Bank.
- Tamin, R.D., Rachmatunisa, A. (2007). *Integrated air quality management in Indonesia*. Jakarta: Ministry of Environment.