



PERPUSTAKAAN  
40188.pdf  
UNIVERSITAS TERBUKA

**MODEL KEBIJAKAN REDUKSI PENCEMARAN PM10  
DARI EMISI KENDARAAN BERMOTOR  
DI DKI JAKARTA**

**NURAINI SOLEIMAN**

UNIVERSITAS TERBUKA



## PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam disertasi saya yang berjudul “MODEL KEBIJAKAN REDUKSI PENCEMARAN PM10 DARI EMISI KENDARAAN BERMOTOR DI DKI JAKARTA” merupakan hasil penelitian disertasi saya sendiri, dengan pembimbingan Komisi Pembimbing, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya. Disertasi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar pada program sejenis diperguruan tinggi lain.

Semua sumber data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya.

Bogor, April 2008

Nuraini Soleiman  
P062034014 - PSL

UNIVERSITAS TERBUKA

## RINGKASAN

Meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor di Jakarta mengakibatkan menurunnya kualitas udara ambien yang disebabkan oleh meningkatnya polutan yang diemisikan oleh kendaraan bermotor. Jenis polutan yang diemisikan sangat bergantung pada kondisi kendaraan dan kualitas bahan bakar yang digunakannya. Kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin sebagian berkontribusi terhadap gas buang Karbon monoksida (CO), Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), dan Hidrokarbon (HC) serta Timbel (Pb), sedangkan kendaraan yang menggunakan bahan bakar solar mengemisikan debu/partikulat dan Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ).

Jenis partikulat atau partikel-partikel debu yang umum terdapat di udara mengandung berbagai zat kimia diantaranya adalah partikel Karbon, Besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Magnesium oksida (MgO), Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan lainnya. Beberapa sifat partikel yang dapat menentukan tingkat bahaya bagi kesehatan manusia adalah ukuran partikel dan kemampuan absorpsi partikel terhadap molekul-molekul gas. Partikel Karbon merupakan partikel yang memiliki daya absorpsi molekul-molekul gas yang baik, termasuk molekul-molekul gas yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

$\text{PM}_{10}$  adalah partikel debu yang diameternya berukuran lebih kecil dari 10  $\mu\text{meter}$  (mikrometer atau mikron). Partikel tersebut masuk ke dalam tubuh manusia melalui sistem pernapasan, sehingga semakin kecil ukuran partikel semakin jauh penetrasi partikel tersebut ke dalam sistem pernapasan. Ditinjau dari ukuran partikel dan daya absorpsi partikel serta kandungan zat kimia dari partikel, maka  $\text{PM}_{10}$  termasuk polutan yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan dapat menyebabkan kematian.

Data statistik menunjukkan bahwa meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor di Jakarta menyebabkan meningkatnya emisi  $\text{PM}_{10}$  dengan rata-rata peningkatan lebih dari 500 ton/tahun antara tahun 1999-2004. Diprediksi penggunaan kendaraan terutama kendaraan pribadi akan terus meningkat selama belum tersedianya alternatif sarana transportasi umum yang dapat memenuhi kebutuhan mobilitas masyarakat. Dengan demikian, emisi  $\text{PM}_{10}$  akan terus meningkat.

Monitoring udara ambien menunjukkan bahwa konsentrasi ambien  $\text{PM}_{10}$  di beberapa wilayah telah melampaui BMA. Secara rata-rata konsentrasi ambien  $\text{PM}_{10}$  tahunan di Jakarta telah melampaui BMA. Semakin besar selisih konsentrasi ambien  $\text{PM}_{10}$  terhadap BMA, akan semakin besar dampak  $\text{PM}_{10}$  terhadap gangguan kesehatan.

Beberapa kebijakan telah dilaksanakan untuk mereduksi emisi polutan dari kendaraan di Jakarta, baik melalui penetapan baku mutu emisi (BME) yang merupakan kebijakan nasional maupun kebijakan yang bersifat lokal untuk mereduksi jumlah kendaraan yang memasuki pusat kota Jakarta. Namun, kebijakan tersebut belum dapat mereduksi emisi polutan total dari kendaraan di Jakarta, sehingga emisi polutan total yang berasal dari kendaraan terus meningkat per tahunnya. Dengan meningkatnya emisi polutan total dari kendaraan tersebut, maka konsentrasi ambien polutan tahunan akan terus meningkat.

Berdasarkan analisis pengaruh meningkatnya emisi dari kendaraan terhadap konsentrasi ambien  $\text{PM}_{10}$  dan tidak berhasilnya kebijakan yang diterapkan untuk

mereduksi kerusakan lingkungan yang terjadi, maka penelitian ini dibutuhkan. Secara umum penelitian ini bertujuan membangun model untuk menganalisis interaksi dinamis antara faktor-faktor lingkungan, sosial, dan ekonomi sebagai dasar analisis kebijakan pengendalian pencemaran  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor. Secara spesifik penelitian ini bertujuan menganalisis dampak meningkatnya emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan terhadap menurunnya kualitas udara ambien, mengestimasi kerugian sosial dan ekonomi dari pencemaran  $PM_{10}$ , dan merumuskan kebijakan berdasarkan hasil analisis dan estimasi tersebut.

Pemodelan dengan sistem dinamis merupakan metode penelitian yang dapat digunakan untuk mengestimasi variabel lingkungan, sosial dan ekonomi yang akan terjadi pada masa mendatang, sehingga intervensi kebijakan dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan ekonomi yang lebih besar. Validasi model menggunakan uji teori dan uji sensitivitas (*robustness*) dilakukan untuk menghasilkan model yang valid dan reliabel.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari metode statistik sederhana, metode pemodelan sistem dinamis, dan metode analisis multi kriteria. Metode statistika sederhana untuk menganalisis variabel yang digunakan seperti data penduduk, PDRB, dan data meteorologi. Metode pemodelan dengan sistem dinamis digunakan untuk mengestimasi besarnya emisi, konsentrasi ambien, dan dampak pencemaran  $PM_{10}$  pada kerugian sosial dan kerugian ekonomi. Metode analisis multi kriteria untuk menganalisis kebijakan.

Data yang digunakan adalah data sekunder dari berbagai sumber. Keterbatasan data penggunaan kendaraan di Jakarta untuk mengestimasi emisi kendaraan, model dinamis yang dibangun menggunakan metode perbandingan antara data penelitian telah digunakan pada penelitian sebelumnya. Model dispersi Gaussian untuk wilayah perkotaan digunakan untuk menentukan besarnya konsentrasi ambien  $PM_{10}$ . Model dampak sosial dan ekonomi menggunakan fungsi dose-response.

Melalui model dinamis dapat diestimasi pengaruh meningkatnya emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan per tahun terhadap menurunnya kualitas udara ambien, besarnya gangguan kesehatan (kerugian sosial), dan kerugian ekonomi akibat pencemaran  $PM_{10}$ . Simulasi model dinamis dilakukan pada kondisi emisi kendaraan tidak terkontrol (*Business as Usual* = BAU), kondisi diberlakukan baku mutu emisi (BME) kendaraan, dan kondisi di mana diberlakukan kontrol terhadap volume kendaraan. Simulasi tersebut dilakukan untuk menentukan efektivitas masing-masing kebijakan tersebut dalam mereduksi kerusakan lingkungan, kerugian sosial, dan kerugian ekonomi.

Untuk menentukan keberhasilan intervensi kebijakan dalam mereduksi kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan kerugian ekonomi, digunakan metode analisis multi kriteria (*Multiple Criteria Decision Analysis* = MCDA). Variabel-variabel yang digunakan dalam MCDA tersebut adalah variabel lingkungan, sosial, ekonomi yang diperoleh dari simulasi model dinamis dan variabel institusi sebagai variabel yang turut mempengaruhi keberhasilan kebijakan untuk mencapai tujuan.

Kebijakan lingkungan yang telah diterapkan di Jakarta merupakan kebijakan *command and control* (CAC), sedangkan kebijakan lingkungan yang menggunakan instrumen ekonomi (IE) belum pernah diterapkan. Menggunakan MCDA dapat ditentukan efektivitas kebijakan CAC dan IE dalam menurunkan tingkat kerusakan lingkungan, kerugian sosial, dan kerugian sosial.

Hasil model dinamis menunjukkan bahwa estimasi emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan pada tahun 2005 sekitar 8812 ton/tahun dan kontribusi emisi kendaraan pada emisi total  $PM_{10}$  di Jakarta sebesar 74.5 persen pada tahun tersebut. Hal tersebut menyebabkan konsentrasi ambien  $PM_{10}$  telah berada di atas BMA bagi kesehatan di sebagian besar wilayah di Jakarta. Agar konsentrasi ambien  $PM_{10}$  memenuhi BMA maka emisi kendaraan harus direduksi lebih dari 60 persen.

Meningkatnya konsentrasi ambien  $PM_{10}$  di atas BMA menyebabkan dampak pencemaran pada kesehatan penduduk Jakarta dan kerugian ekonomi akibat pencemaran tersebut juga meningkat. Pada tahun 2005 diestimasi jumlah kasus gangguan pernapasan akibat pencemaran  $PM_{10}$  lebih besar dari 78 ribu kasus dengan nilai ekonomi mencapai 4.6 triliun rupiah. Sedangkan biaya degradasi lingkungan mencapai 5.7 triliun rupiah atau sekitar 8.1 persen dari PDRB Jakarta pada tahun 2004. Kerugian secara sosial dan ekonomi tersebut akan terus meningkat apabila tidak dilakukan intervensi kebijakan untuk mereduksi tingkat emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor.

Beberapa skenario kebijakan dibangun untuk menganalisis efektivitas masing-masing kebijakan tersebut dalam mereduksi emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor. Skenario tersebut adalah skenario penggunaan BME Euro2, skenario penggunaan BME kendaraan diesel sama dengan BME kendaraan bensin untuk kategori kendaraan penumpang, bis kecil dan truk kecil, dan skenario pembatasan volume kendaraan di wilayah Jakarta.

Skenario tersebut disimulasikan untuk 2 (dua) kondisi yaitu kondisi pertama di mana kebijakan dapat diberlakukan secara langsung atau sekaligus dan kondisi kedua di mana pemberlakuan kebijakan dilaksanakan secara bertahap. Simulasi model dinamis untuk kondisi pertama menghasilkan bahwa kebijakan penggunaan BME Euro2 merupakan kebijakan yang paling efektif menurunkan tingkat emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan. Sedangkan simulasi model dinamis pada kondisi kedua menghasilkan bahwa kebijakan pembatasan volume kendaraan merupakan kebijakan yang paling efektif dalam menurunkan emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan.

Dengan demikian untuk simulasi kebijakan lebih lanjut digunakan hasil model dinamis pada kondisi kedua. Hasil simulasi kebijakan menggunakan MCDA menunjukkan bahwa kebijakan pembatasan volume kendaraan merupakan kebijakan yang memiliki tingkat kegagalan terkecil. Namun, kebijakan pembatasan volume kendaraan membutuhkan kesiapan sarana transportasi umum yang memadai dan karena itu membutuhkan pengelolaan yang lebih sulit dan pendanaan yang lebih besar dibandingkan skenario lainnya.

Kebijakan penggunaan BME Euro2 merupakan kebijakan kedua terbaik karena kebijakan ini baru dapat dilaksanakan untuk kendaraan baru. Dari sisi pengelolaan kebijakan ini lebih mudah dilakukan dan membutuhkan pendanaan yang lebih kecil di bandingkan skenario pembatasan volume kendaraan dan penggunaan BME diesel sama dengan BME kendaraan bensin. Dengan demikian, kebijakan BME Euro2 merupakan kebijakan yang fisibel untuk diterapkan di Jakarta.

Kebijakan BME Euro2 dituangkan dalam Kepmen LH Nomor 141/2003 dan dioperasionalkan melalui Perda Provinsi DKI Jakarta Nomor 2/2005 yang menetapkan bahwa setiap kendaraan harus memenuhi BME dan harus melakukan uji emisi. Kegiatan uji emisi kendaraan merupakan kegiatan untuk memastikan bahwa setiap kendaraan

memenuhi BME, atau dengan kata lain kegiatan ini bertujuan untuk memonitor emisi total kendaraan.

Kepmen LH Nomor 141/2003 dan Perda Provinsi DKI Jakarta Nomor 2/2005 merupakan kebijakan CAC. Kegiatan uji emisi atau monitoring emisi dari sumber bergerak dalam hal ini dari kendaraan bermotor sulit dilakukan melalui kebijakan CAC karena kegiatan tersebut membutuhkan teknologi peralatan untuk pengawasan, dan pendanaan kegiatan yang besar, serta kesiapan sumberdaya manusia (SDM) dalam mengoperasikan. Karena itu, berbagai negara menggunakan instrumen ekonomi sebagai instrumen insentif yang dapat mengubah perilaku masyarakat untuk menurunkan emisi polutan dari kendaraan bermotor.

Beberapa negara menggunakan berbagai jenis instrumen ekonomi dan berhasil menurunkan emisi polutan dari kendaraan secara efektif. Pada penelitian ini, dilakukan perbandingan untuk menilai efektivitas antara kebijakan CAC dan instrumen ekonomi menggunakan metode MCDA. Hasil yang diperoleh adalah bahwa kebijakan instrumen ekonomi merupakan kebijakan terbaik dengan tingkat kegagalan terkecil dalam mereduksi emisi dari kendaraan.

Berdasarkan hasil analisis kebijakan tersebut dan *polluter pays principle* maka instrumen ekonomi dapat diterapkan untuk mengendalikan pencemaran dari emisi kendaraan bermotor sebagai bagian dari kebijakan lingkungan. Beberapa instrumen ekonomi seperti pajak kendaraan, subsidi terhadap penggunaan alat kontrol polusi pada kendaraan, dan pajak penggunaan jalan yang telah diterapkan di beberapa negara dapat digunakan sebagai model instrumen ekonomi dalam kebijakan lingkungan di wilayah Jabodetabek.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah meningkatnya emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan mempercepat terjadinya degradasi kualitas udara ambien. Untuk memperoleh konsentrasi ambien sesuai dengan BMA untuk kesehatan maka dibutuhkan reduksi emisi lebih dari 60 persen dari tingkat emisi kendaraan pada tahun 2005. Menurunnya kualitas udara ambien menyebabkan meningkatnya berbagai gangguan kesehatan dan secara rata-rata gangguan kesehatan meningkat di atas 10 persen per tahun. Nilai ekonomi dari gangguan kesehatan tersebut pada tahun 2005 mencapai 7 persen dari PDRB Jakarta pada tahun 2004.

Upaya pengendalian pencemaran udara selama ini dilakukan melalui kebijakan penetapan standar emisi kendaraan belum efektif menurunkan emisi dari kendaraan bermotor. Karena itu, kebijakan standar emisi tersebut harus diikuti oleh kebijakan instrumen ekonomi karena pengawasan emisi total kendaraan melalui kebijakan CAC tidak *cost-effective*. Pemberlakuan kebijakan lingkungan harus mencakup wilayah Jabodetabek, karena tingginya pengaliran dari wilayah Bodetabek.

Penggunaan revenue dari instrumen insentif yang berkaitan dengan kendaraan bermotor harus dapat dikembalikan kepada masyarakat dalam 3 (tiga) bentuk yaitu: pertama meningkatkan prasarana dan sarana transportasi sebagai pelayanan yang diberikan pada pembayar pajak. Kedua, meningkatkan fasilitas kesehatan sebagai pelayanan yang diberikan pada masyarakat yang terkena dampak. Ketiga, untuk biaya abatemen dengan memberikan subsidi bagi penggunaan alat kontrol polusi pada kendaraan lama yang belum memenuhi BME serta memperluas ruang terbuka hijau yang dapat mereduksi emisi polutan dari kendaraan.

**@ Hak Cipta Milik Institut Pertanian Bogor, Tahun 2007**  
**Hak Cipta dilindungi Undang-undang**

1. *Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumber*
  - a. *Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah*
  - b. *Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar bagi IPB*
2. *Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya ilmiah dalam bentuk apapun tanpa izin IPB*

**MODEL KEBIJAKAN REDUKSI PENCEMARAN PM10  
DARI EMISI KENDARAAN BERMOTOR  
DI DKI JAKARTA**

**NURAINI SOLEIMAN**

Disertasi  
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Doktor pada  
Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

**SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
2008**

Penguji Luar Komisi Ujian Tertutup:

Prof. Dr. Ir. Hermanto Siregar.

Penguji Luar Komisi Ujian Terbuka:

1. Dr. Indra Darmawan MSc.

2. Prof. Dr. Ir. Bambang Pramudya Noorachmat M.Eng.

Judul Disertasi : Model Kebijakan Reduksi Pencemaran PM10  
dari Emisi Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta  
Nama : Nuraini Soleiman  
Nomor Pokok : P062034014  
Program Studi : Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

Disetujui

Komisi Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Rudy C. Tarumingkeng MF.  
Ketua



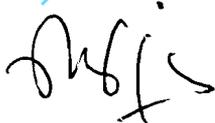
Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, M.Sc  
Anggota



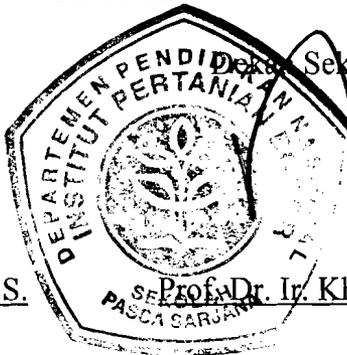
Prof. Dr. Ir. Bunasor Sanim M.Sc  
Anggota

Diketahui

Ketua Program Studi Pengelolaan  
Sumberdaya Alam dan Lingkungan



Prof. Dr. Ir. Surjono H. Sutjahjo, M.S.



Dekan Sekolah Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Khairil A. Notodiputro, M.S.

Tanggal Ujian: 28 April 2008

Tanggal Lulus: 19 MAY 2008

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas selesainya penulisan disertasi ini. Tema yang dipilih adalah Model Kebijakan Reduksi Pencemaran  $PM_{10}$  dari Emisi Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta, sebagai upaya mereduksi degradasi kualitas udara di Jakarta.

Data statistik menunjukkan bahwa meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor di Jakarta menyebabkan meningkatnya emisi  $PM_{10}$  dengan rata-rata peningkatan lebih dari 500 ton/tahun antara tahun 1999-2004. Diprediksi penggunaan kendaraan terutama kendaraan pribadi akan terus meningkat selama belum tersedianya alternatif sarana transportasi umum yang dapat memenuhi kebutuhan mobilitas masyarakat. Dengan demikian, emisi  $PM_{10}$  akan terus meningkat.

Data hasil monitoring udara ambien menunjukkan bahwa konsentrasi ambien  $PM_{10}$  di beberapa wilayah telah melampaui BMA untuk kesehatan. Secara rata-rata konsentrasi ambien  $PM_{10}$  tahunan di Jakarta telah melampaui BMA untuk kesehatan. Semakin besar selisih konsentrasi ambien  $PM_{10}$  terhadap BMA, akan semakin besar dampak  $PM_{10}$  terhadap gangguan kesehatan yang menyebabkan kerugian sosial dan ekonomi penduduk Jakarta. Berbagai kebijakan lingkungan yang diterapkan pemerintah belum berhasil mengurangi tingkat emisi total  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor. Berdasarkan isu tersebut, penulis menentukan topik disertasi ini dengan tujuan dapat memberikan kontribusi pada program-program pengendalian pencemaran yang berasal dari emisi kendaraan bermotor di Jakarta khususnya.

Pemodelan dengan metode sistem dinamis merupakan metode penelitian yang dapat mengestimasi variabel lingkungan, sosial dan ekonomi yang akan terjadi pada masa mendatang, sehingga intervensi kebijakan dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan ekonomi yang lebih besar. Simulasi dari model menggunakan perangkat lunak Vensim, karena perangkat lunak ini menurut penulis cukup baik dalam mengakomodasi keinginan penulis dalam pengembangan model. Validasi model menggunakan uji teori dan uji sensitivitas untuk melihat tingkat ketahanan model terhadap waktu (*robustness*) dilakukan untuk menghasilkan model yang valid dan reliabel.

Untuk menentukan efektivitas kebijakan yang diterapkan penulis menggunakan metode analisis multi kriteria, karena beberapa variabel tidak dapat ditentukan besarnya secara kuantitatif untuk menganalisis kebijakan. Prime merupakan perangkat lunak yang dapat mengakomodasi kebutuhan analisis kebijakan yang penulis butuhkan.

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa sekalipun kebijakan BME kendaraan telah diterapkan, namun emisi total  $PM_{10}$  dari kendaraan tidak dapat dikontrol menggunakan kebijakan CAC tersebut, sehingga dibutuhkan kebijakan instrumen ekonomi agar emisi kendaraan dapat direduksi. Hasil analisis kebijakan menunjukkan bahwa kebijakan instrumen ekonomi memiliki tingkat kegagalan yang lebih kecil dibandingkan dengan kebijakan CAC. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk menghindari terjadinya kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan ekonomi yang lebih besar, maka kebijakan lingkungan pengendalian pencemaran udara dari emisi

kendaraan bermotor di Jakarta harus menggunakan instrumen ekonomi sebagai tambahan dari kebijakan BME kendaraan yang telah ada.

Berbagai pihak telah memberikan kontribusi secara langsung ataupun tidak langsung terhadap penyelesaian disertasi ini. Penulis telah menerima berbagai bantuan dari berbagai pihak untuk penyempurnaan disertasi ini. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat bagi banyak pihak.

Ucapan terima kasih dan penghargaan penulis kepada para pembimbing, yaitu: Prof. Dr. Ir. R.C. Tarumingkeng MF, sebagai ketua komisi pembimbing; Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, M.Sc dan Prof. Dr. Bunasor Sanim M.Sc., masing-masing sebagai anggota komisi pembimbing. Tanpa arahan dan masukan yang diberikan oleh komisi pembimbing maka sulit dibayangkan disertasi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Pimpinan IPB, Dekan Sekolah Pascasarjana; Ketua Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, atas kesempatan yang diberikan pada penulis untuk melanjutkan studi di IPB.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan pada rekan-rekan satu kelas S3-PSL kelas Kimpraswil tahun 2004 atas dorongan dan bantuannya dalam menyelesaikan studi; rekan-rekan di Universitas Terbuka atas bantuan dan dukungannya. Penulis menyampaikan terima kasih pada berbagai lembaga: Universitas Terbuka atas dukungan untuk mengikuti studi di IPB; BMG, BPS Pusat, BPS-DKI Jakarta, Ditlantas Polda Metrojaya, atas dukungan data yang penulis butuhkan; Kementerian Lingkungan Hidup, khususnya Perpustakaan LH dalam membantu penulis mengumpulkan berbagai literatur.

Secara khusus penulis ucapkan terima kasih kepada kedua orang tua tercinta (Doa Soleiman dan Nadirah Soleiman) atas doa dan dukungan yang tiada hentinya untuk memudahkan jalan yang penulis lalui. Terima kasih pada suami (M. Herman) dan kedua anak (Nanda Heraini Herman dan Yudhistira Abjani Herman) atas kasih dan dukungannya. Tanpa pengertian dan dukungan dari suami dan anak-anak tercinta sulit dibayangkan studi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Berbagai pihak yang telah memberikan dukungan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, penulis ucapkan terima kasih atas bantuannya. Kiranya Tuhan dapat membalas kebaikan yang diberikan. Akhirnya, hanya karena RidhoNya maka studi dan disertasi ini dapat diselesaikan. Kesempurnaan hanya milik Allah SWT apabila terdapat kesalahan dan kekurangsempurnaan dalam penulisan disertasi ini adalah karena ketidak sempurnaan penulis semata.

Bogor, April 2008

Nuraini Soleiman

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Ternate, Maluku Utara, pada tanggal 30 Juli 1954 sebagai anak pertama dari pasangan Doa Soleiman dan Nurdewi Soleiman (almarhumah). Penulis menikah dengan M.Herman dan dikaruniai dua orang anak, Nanda Heraini Herman dan Yudhistira Abjani Herman.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar dan pendidikan menengah pertama di Jakarta. Penulis mengawali pendidikan menengah atas penulis masuk di SMAN IV Jakarta pada tahun 1971 dan menyelesaikannya di Sekolah Indonesia Nederland, Wassenaar, pada tahun 1973. Setelah menyelesaikan SMA penulis melanjutkan studi di Haagse Analisten School, sekolah analisis kimia di Scheveningen, Den Haag. Kembali dari Belanda pada akhir tahun 1977 dan pada tahun 1978 penulis meneruskan pendidikan di ITB-Bandung pada Jurusan Matematika dan lulus sebagai Sarjana Matematika ITB pada tahun 1984 dengan judul tugas akhir 'Fungsi Green'.

Setelah lulus dari ITB penulis bekerja di Universitas Terbuka (UT) sebagai dosen Matematika dan ditempatkan di Pusat Komputer UT, sebagai programmer dan sistem analis untuk aplikasi komputer yang dikembangkan UT. Di samping itu, antara tahun 1984-1987 penulis menjadi staf pengajar pada Jurusan Matematika FMIPA Universitas Nasional (UNAS) di Jakarta untuk beberapa matakuliah Matematika. Pada tahun 1988 penulis dikirim ke Canada untuk mengikuti pendidikan S2 dalam program studi Manajemen Pendidikan Jarak Jauh di Simon Fraser University (SFU), Vancouver-British Columbia, dan lulus pada tahun 1990 dengan judul tugas akhir '*A Study of Materials Distribution Centers of Three Distance Education Institutions*'.

Tahun 1994-2000 penulis ditugaskan sebagai Kepala Pusat Komputer UT dan tahun 2000-2003 penulis ditugaskan sebagai Kepala Pusat Distribusi Bahan Ajar UT. Tahun 2003-2004 penulis ditugaskan sebagai Sekretaris Lembaga Pengabdian pada Masyarakat UT dan tahun 2004 penulis melanjutkan pendidikan S3 di Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan di IPB.

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
DAFTAR ISTILAH .....	xxii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	7
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	8
1.5 Novelty Penelitian .....	9
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pertumbuhan, Lingkungan dan Pembangunan.....	10
2.2 Tinjauan Literatur Hasil Penelitian Terdahulu .....	17
2.3 Pemodelan Kualitas Udara Wilayah Perkotaan .....	24
2.4 Analisis Multi Kriteria.....	30
2.5 Kebijakan Pengendalian Pencemaran.....	34
III METODE PENELITIAN	
3.1 Kerangka Pemikiran Pelaksanaan Penelitian .....	44
3.2 Data yang Digunakan.....	47
3.3 Metode Analisis.....	48
3.4 Pemodelan.....	51
3.4.1. Estimasi Tingkat Emisi .....	51

3.4.2. Estimasi Tingkat Pencemaran .....	52
3.4.3. Estimasi Dampak Kesehatan .....	53
3.4.4. Estimasi Biaya Sosial dan Biaya Degradasi .....	54
3.4.5. Estimasi Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan .....	55
3.4.6. Skenario Analisis Kebijakan .....	55
3.5 Asumsi yang Digunakan.....	57
3.6 Validasi Model.....	59
3.6.1. Uji Teori .....	60
3.6.2. Uji Kestabilan Struktur Model.....	60
IV. ANALISIS KONDISI YANG MEMPENGARUHI PENCEMARAN UDARA DI JAKARTA	
4.1 Penduduk dan Laju Urbanisasi .....	62
4.1.1 Penduduk Jakarta .....	62
4.1.2 Laju Urbanisasi .....	64
4.2 Kondisi Sosial Ekonomi .....	65
4.3 Pendapatan per Kapita .....	67
4.4 Sumber Emisi .....	68
4.4.1 Sumber Industri .....	69
4.4.2 Sumber Domestik .....	71
4.4.3 Sumber Kendaraan Bermotor .....	71
4.5 Kualitas Udara .....	73
4.5.1 Emisi .....	73
4.5.2 Konsentrasi Udara Ambien .....	75
4.6 Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara .....	77
V. PROSES PEMODELAN	
5.1 Identifikasi Model.....	81
5.2 Konstruksi Sub-model Emisi.....	82

5.3	Konstruksi Sub-model Dispersi.....	85
5.4	Konstruksi Sub-model Dampak Pencemaran .....	86
5.5	Template Model.....	88
5.6	Konstruksi Model Kebijakan.....	92
VI.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
6.1	Analisis Hasil Model Dinamis .....	95
6.1.1	Estimasi Emisi.....	95
6.1.2	Estimasi Konsentrasi Ambien.....	100
6.1.3	Estimasi Gangguan Kesehatan.....	104
6.1.4	Estimasi Nilai Ekonomi Gangguan Kesehatan.....	111
6.1.5	Analisis Manfaat dan Biaya.....	116
6.2	Skenario Reduksi Emisi Kendaraan.....	121
6.2.1	Skenario Euro2.....	123
6.2.2	Skenario Diesel.....	124
6.2.3	Skenario Volume.....	126
6.3	Skenario Kebijakan Reduksi Emisi Menggunakan Prime.....	130
VII.	ANALISIS KEBIJAKAN	
7.1	Aspek Lingkungan.....	140
7.2	Aspek Sosial.....	146
7.3	Aspek Ekonomi.....	148
7.4	Aspek Kelembagaan.....	153
7.4.1	Pengelolaan .....	153
7.4.2	Pendanaan .....	158
VIII.	KESIMPULAN DAN SARAN	
8.1	Kesimpulan.....	160
8.2	Saran.....	162

DAFTAR PUSTAKA .....	165
LAMPIRAN.....	172

UNIVERSITAS TERBUKA

## DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Matrik Penelitian Terdahulu Kualitas Udara.....	23
2.	Matrik Keputusan.....	30
3.	Data yang digunakan.....	47
4.	Matriks Keputusan Penelitian .....	56
5.	Konsentrasi Hasil Pengamatan dan Model .....	60
6.	Korelasi Pendapatan per Kapita dan Jumlah Kendaraan .....	68
7.	Penggunaan Bahan Bakar Sektor Industri di Jakarta Tahun 2003 .....	69
8.	Persentase Emisi Debu Menurut Sumber Emisi .....	70
9.	Pemanfaatan Lahan Industri per Wilayah di Jakarta Tahun 2004 .....	70
10.	Peraturan Perundang-undangan Tentang Kualitas Udara .....	77
11.	Emisi Total dari Sumber Industri .....	82
12.	Faktor Emisi Sumber Domestik .....	83
13.	Parameter Koefisien Dispersi Vertikal .....	84
14.	Value Tree Reduksi Emisi Kendaraan .....	94
15.	Value Tree Kebijakan Lingkungan.....	94
16.	Estimasi Emisi dari sumber Kendaraan, Domestik, dan Industri.....	95
17.	Persentase Emisi per Kategori Kendaraan.....	96
18.	Emisi per Jenis Bahan Bakar.....	96
19.	Kurva Estimasi Emisi Kendaraan.....	97
20.	Emisi Kendaraan per Wilayah.....	98
21.	Kurva Estimasi Konsentrasi dan Emisi Kendaraan.....	102
22.	Gangguan Kesehatan Dampak Pencemaran PM10 di Jakarta.....	106
23.	Korelasi antara Prematur Mortalitas dan Konsentrasi Ambien PM10.....	109
24.	Korelasi antara Tingkat Morbiditas dan Konsentrasi Ambien PM10.....	109
25.	Jumlah Kasus Kesehatan Akibat Pencemaran PM10 di Jakarta .....	111
26.	Nilai Ekonomi Kesehatan Akibat Pencemaran PM10 di Jakarta.....	114

27.	Korelasi Biaya Kesehatan dan Konsentrasi Ambien PM10.....	115
28.	Biaya Kerusakan dan Manfaat.....	117
29.	Korelasi antara Biaya Degradasi dan Konsentrasi Ambien PM10.....	117
30.	Korelasi Manfaat Bersih dan Kosentrasi Ambien.....	119
31.	Perubahan Variabel Endogen Simulasi Cara-1.....	122
32.	Estimasi Reduksi Emisi Kendaraan dengan BME Euro2.....	124
33.	Skenario Reduksi Emisi Kendaraan Diesel.....	125
34.	Skenario Reduksi Volume Kendaraan.....	127
35.	Perubahan Variabel Endogen Simulasi Cara-2.....	129
36.	Matrik Keputusan Alternatif Kebijakan Reduksi Emisi PM <sub>10</sub> .....	130
37.	Value Tree Reduksi Emisi Kendaraan.....	131
38.	Matrik Keputusan Alternatif Kebijakan Lingkungan.....	135
39.	Value Tree Kebijakan Lingkungan.....	135
40.	Matrik Kebijakan Reduksi Emisi Kendaraan.....	140

UNIVERSITAS TERBUKA

## DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Kerangka Pemikiran Penelitian .....	44
2.	Diagram Alir Model .....	46
3.	Peta Penelitian .....	50
4.	Peta Pembagian Grid Jakarta .....	51
5.	Konsentrasi Udara Ambien $PM_{10}$ per Grid .....	61
6.	Penduduk per Kota Madya di Jakarta.....	63
7.	Perkembangan Penduduk Jakarta 1995-2004 .....	64
8.	Persentase Migrasi Penduduk .....	64
9.	Kecenderungan Pertumbuhan Penduduk Jabodetabek .....	65
10.	Pendapatan per Kapita Jakarta 1995-2004 .....	67
11.	Penduduk dan Pendapatan per Kapita Jakarta 1995-2004 .....	68
12.	Populasi Kendaraan Bermotor di Jakarta .....	71
13.	Rasio Penduduk-Kendaraan .....	72
14.	Konsumsi BBM Sektor Transportasi Tahun 2000-2004 .....	73
15.	Emisi Kendaraan Bermotor Tahun 2000-2004 .....	74
16.	Konsentrasi Ambien $PM_{10}$ BMG .....	75
17.	Konsentrasi Ambien $PM_{10}$ Bapelda-Jakarta .....	76
18.	Sub-model Emisi $PM_{10}$ .....	89
19.	Sub-model Dispersi $PM_{10}$ .....	90
20.	Sub-model Dampak Pencemaran $PM_{10}$ .....	91
21.	Emisi Total per Wilayah di Jakarta.....	100
22.	Sebaran Konsentrasi Ambien $PM_{10}$ .....	101
23.	Hubungan antara Konsentrasi Ambien $PM_{10}$ dan Emisi Kendaraan.....	103
24.	Peningkatan Dosis Pencemaran dan Gangguan Kesehatan.....	105
25.	Biaya Kesehatan dan Konsentrasi Ambien $PM_{10}$ .....	115
26.	Fungsi Kerusakan Lingkungan Pencemaran $PM_{10}$ .....	118

27.	Korelasi antara Manfaat Bersih dan Konsentrasi Ambien .....	119
28.	Interval Bobot Atribut Pengendalian Pencemaran PM <sub>10</sub> .....	132
29.	Value Interval Reduksi Emisi Kendaraan.....	133
30.	Decision Rules Kebijakan Reduksi Emisi Kendaraan.....	133
31.	Interval Bobot Atribut Kebijakan Lingkungan.....	136
32.	Value Interval Kebijakan Lingkungan.....	137
33.	Struktur Dominan Kebijakan Lingkungan.....	137
34.	Decision Rules Kebijakan Lingkungan.....	138
35.	Persentase Kerugian Ekonomi terhadap PDRB Model.....	149
36.	Pendapatan per Kapita vs Emisi PM <sub>10</sub> Kendaraan.....	150
37.	Pendapatan per Kapita, Pencemaran dan Kebijakan Pemerintah .....	151

UNIVERSITAS TERBUKA

**DAFTAR LAMPIRAN**

Nomor		Halaman
1.	Informasi Grid dan Penduduk Tahun 2004 .....	173
2.	Matrik Origin-Destination 1995 .....	174
3.	Kategori Kendaraan, Faktor Emisi dan Komposisi Kendaraan .....	175
4.	Utilisasi Kendaraan 1995 .....	175
5.	Kemiringan Fungsi Dose-Response .....	176
6.	Nilai Ekonomi Kesehatan.....	176
7.	Perhitungan Konversi Matrik OD .....	178
8.	Emisi Kendaraan per Grid .....	179
9.	Konsentrasi Ambien PM10 per Grid.....	181
10.	Gangguan Kesehatan per Wilayah.....	183
11.	Nilai Ekonomi Kesehatan per Wilayah.....	186
12.	Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan per Wilayah.....	189
13.	Dokumen Model Vensim.....	192

---

## DAFTAR ISTILAH

AA	Serangan Asma ( <i>Asthma Attacks</i> )
AKK	Angka Kematian Kasar
AP	Persentase Penderita Asma
AQ	Air Quality, studi Kualitas Udara di Jakarta, Syahril <i>et al.</i> 2002
BAPELDA	Badan Pengendali Lingkungan Daerah
Bappenas	Badan Perencanaan Pembangunan Nasional
BAU	Bussiness as Usual
BBM	Bahan Bakar Minyak
BC	Bronchitis Kronis ( <i>Chronic Bronchitis</i> )
BMA	Baku Mutu Ambien
BME	Baku Mutu Emisi
BMG	Badan Meteorologi dan Geofisika
BPS	Badan Pusat Statistik
CAC	Command and Control
Dephub	Departemen Perhubungan
Depkes	Departemen Kesehatan
Ditjen Migas	Direktorat Jenderal Minyak dan Gas
Ditlantas Polda Metro Jaya	Direktorat Lalu Lintas Polisi Daerah Metro Jakarta
DKI Jakarta	Daerah Khusus Ibukota Jakarta, selanjutnya disebut Jakarta
DR	Dose-response
EKC	Environmental Kuznets Curve
ERV	Perawatan UGD RS Gangguan Pernapasan ( <i>Emergency Room Visit</i> )
ESDM	Energi dan Sumber Daya Minyak
FE	Faktor Emisi
IE	Instrumen Ekonomi
IIGHGER	The Impact of International GHG Emissions Reduction on Indonesia, Susandi 2004.
JABODETABEK	Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi
Jakbar	Jakarta Barat
Jakpus	Jakarta Pusat

Jaksel	Jakarta Selatan
Jaktim	Jakarta Timur
Jakut	Jakarta Utara
JDA	Jakarta Dalam Angka
Kepmen	Keputusan Menteri
KLH	Kementrian Lingkungan Hidup
KRL	Kereta Api Listrik
LH	Lingkungan Hidup
LRI	Simpton Pernapasan pada Anak-anak ( <i>Respiratory Symptoms a/g Children</i> =LRI)
Matrik-OD	Matrik <i>Origin and Destination</i>
MCDA	Analisis Multi Kriteria (Multiple Criteria Decision Analysis)
NPV	Net Present Value
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
PA	Persentase Anak
PCE	Alat Kontrol Polusi ( <i>Pollution Control Equipment</i> )
PDRB	Produk Domestik Regional Bruto
Pemda	Pemerintah Daerah
PM	Kematian Lebih Awal ( <i>Premature Mortality</i> )
PM10	Partikel yang diameternya lebih kecil dari 10 mikron.
POP	Populasi
PP	Peraturan Pemerintah
PU	Departemen Pekerjaan Umum
RAD	Keterbatasan Hari Kerja ( <i>Restricted Activated Days</i> )
RHA	Perawatan RS Gangguan Pernapasan ( <i>Respiratory Hospital Admission</i> )
RSD	Simpton Gangguan pernapasan ( <i>Respiratory Symptoms</i> )
SFD	Stock Flow Diagram
SK	Surat Keputusan
SPBU	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum
UGD	Unit Gawat Darurat
UMP	Upah Minimum Propinsi
US-EPA	Institusi Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat
VKT	Vehicle Kilometer Travel
VSL	Value of Statistical Life

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Meningkatnya pembangunan ekonomi diikuti dengan meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor tidak hanya memberikan kesejahteraan kepada masyarakat, namun juga menyebabkan menurunnya kualitas udara terutama di wilayah perkotaan. Menurunnya kualitas udara wilayah perkotaan dari sektor transportasi, dapat diduga dari tingginya konsumsi bahan bakar minyak untuk sektor ini, sekitar 53 persen (Lvovsky *et al.* 2000). Tingginya penggunaan bahan bakar minyak tersebut menyebabkan kontribusi sektor transportasi terhadap turunnya kualitas udara di berbagai kota besar di dunia yang rata-rata mencapai 70 persen atau lebih (Tietenberg 2003).

Meningkatnya kebutuhan akan kendaraan bermotor baik untuk kebutuhan manusia karena meningkatnya pendapatan masyarakat maupun untuk mobilitas barang dan jasa karena aktivitas ekonomi, merupakan bagian dari pembangunan ekonomi yang dilakukan. Bagi negara berkembang, dengan jumlah penduduk yang besar, pembangunan ekonomi cenderung hanya bertumpu pada peningkatan pertumbuhan ekonomi. Dengan tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 1.97 persen pada dekade 1990-2000, dan 1.49 persen pada dekade 1990-2000, diprediksi jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2003 lebih dari 215 juta jiwa. Dengan demikian, percepatan pertumbuhan ekonomi sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

Untuk mempercepat terjadinya pertumbuhan ekonomi maka aktivitas industri atau aktivitas ekonomi lainnya dilakukan terpusat di kota-kota besar. Namun, dampak dari terkonsentrasinya pembangunan di perkotaan adalah tingginya arus urbanisasi. Hal ini tidak diimbangi dengan penyediaan sarana transportasi umum yang memadai menyebabkan meningkatnya penggunaan kendaraan yang berdampak pada meningkatnya kemacetan dan degradasi kualitas udara (Panyacosit 2000).

Jenis polutan yang diemisikan oleh kendaraan bermotor sangat bergantung pada kondisi kendaraan dan kualitas bahan bakar yang digunakannya. Kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin sebagian berkontribusi terhadap gas buang Karbon

monoksida (CO), Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan Hidrokarbon (HC) serta Timbel (Pb), sedangkan kendaraan yang menggunakan bahan bakar solar mengemisikan debu/partikulat dan Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>).

Jenis partikulat atau partikel-partikel debu yang umum terdapat di udara mengandung berbagai zat kimia diantaranya adalah partikel Karbon, Besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), Magnesium (MgO), Aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan lainnya. Beberapa sifat partikel yang dapat menentukan tingkat bahaya dari partikel terhadap kesehatan manusia adalah ukuran partikel dan kemampuan absorpsi partikel terhadap molekul-molekul gas. Partikel Karbon merupakan partikel yang memiliki daya absorpsi molekul-molekul gas yang baik, termasuk molekul-molekul gas yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

PM<sub>10</sub> adalah partikel debu yang diameternya berukuran kecil dari 10 µmeter (mikrometer atau mikron). Partikel tersebut masuk ke dalam tubuh manusia melalui sistem pernafasan, sehingga semakin kecil ukuran partikel semakin jauh penetrasi partikel tersebut ke dalam sistem pernafasan. Ditinjau dari ukuran partikel dan daya absorpsi partikel serta kandungan zat kimia dari partikel, maka PM<sub>10</sub> termasuk polutan yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan dapat menyebabkan kematian.

Tingginya penggunaan kendaraan bermotor di Jakarta menyebabkan meningkatnya polusi PM<sub>10</sub> dari emisi kendaraan bermotor. Meningkatnya polusi PM<sub>10</sub> tersebut menyebabkan Jakarta memiliki predikat sebagai salah satu kota dari 10 kota dengan tingkat polusi PM<sub>10</sub> tertinggi di dunia (Wikipedia 2008).

Dampak terparah dari menurunnya kualitas udara adalah pada kesehatan masyarakat, baik secara sosial maupun ekonomi (Ostro 1994; Small & Kazimi 1995; Lvovsky *et al.* 2000). Tingginya dampak sosial dan ekonomi akibat pencemaran udara dari emisi kendaraan bermotor tersebut telah ditanggulangi baik secara nasional maupun oleh pemerintah daerah Jakarta dengan berbagai kebijakan untuk pengendalian pencemaran.

Kebijakan BME kendaraan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 141 tahun 2003, tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi, menyatakan bahwa standar Euro2 akan diterapkan mulai Januari 2005 untuk kendaraan tipe baru dan Januari 2007 untuk kendaraan tipe produksi yang sudah beredar. Standar emisi Euro2 pada dasarnya adalah

penetapan faktor emisi kendaraan dari berbagai polutan yang diemisikan oleh kendaraan bermotor termasuk  $PM_{10}$ .

Di samping itu, Pemerintah Daerah Jakarta juga memiliki kebijakan tentang pembatasan kendaraan untuk memasuki wilayah tertentu yang dikenal dengan kebijakan *three-in-one* pada jam-jam tertentu, yang merupakan salah satu upaya untuk mengurangi tingginya penggunaan kendaraan bermotor. Kebijakan pengelolaan transportasi umum dengan sistem bis cepat, '*bus-way*', yang dioperasikan sejak tahun 2004, merupakan langkah awal perbaikan transportasi umum. Serangkaian dengan perbaikan fasilitas transportasi umum tersebut, juga dilakukan upaya reduksi polutan dengan menggunakan bahan bakar gas pada kendaraan bis cepat tersebut. Dalam perencanaan jangka panjang juga direncanakan untuk jaringan transportasi terintegrasi dengan jaringan layanan kereta api, yang melayani masyarakat sekitar Jakarta.

Pemberlakuan regulasi tersebut belum dapat mereduksi meningkatnya penggunaan kendaraan pribadi di Jakarta, sehingga tingkat kemacetan dan polusi udara masih tetap meningkat. Hal ini disebabkan oleh sulitnya mengawasi sumber pencemar bergerak dibandingkan dengan sumber pencemar tidak bergerak, seperti industri. Selain itu, emisi kendaraan dipengaruhi juga oleh preferensi masyarakat dalam memilih kendaraan dan perilaku masyarakat dalam mengemudi.

Meningkatnya penggunaan kendaraan pribadi merupakan indikasi dari meningkatnya pendapatan masyarakat. Namun, penggunaan kendaraan dalam jumlah yang besar dan dalam waktu yang bersamaan, menyebabkan kemacetan dengan kerugian ekonomi sebesar 5.5 triliun rupiah pada tahun 2002 dan diestimasi kerugian ekonomi akibat gangguan kesehatan pada tahun 2015 sebesar 4 triliun rupiah (JICA 2003; Syahril *et al.* 2002).

Oleh karena itu, penelitian ini dibutuhkan untuk meninjau sejauh mana kebijakan dapat mengatasi permasalahan degradasi kualitas udara di Jakarta akibat pencemaran dari emisi kendaraan bermotor. Penelitian ini akan membangun model untuk menganalisis dampak pencemaran  $PM_{10}$  dari emisi kendaraan bermotor pada kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan kerugian ekonomi.

## 1.2 Perumusan Masalah

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 (Roberts 2004). Data konsumsi BBM di Jakarta untuk sektor transportasi antara tahun 2000-2004 memperlihatkan bahwa konsumsi premium dan solar terus meningkat (JDA 2004). Meningkatnya konsumsi BBM untuk sektor transportasi tersebut menyimpulkan bahwa penggunaan kendaraan bermotor meningkat.

Indikator lain dari kota berkelanjutan adalah tersedianya berbagai jenis transportasi umum yang dapat diakses oleh masyarakat. Selama ini, pemanfaatan transportasi umum mempunyai beberapa kendala antara lain layanan yang diberikan kurang memadai dan tingkat keamanan kurang terjaga (JICA 2003). Hal tersebut menyebabkan pemanfaatan transportasi umum merupakan alternatif sarana transportasi yang tidak terlalu diminati, sehingga penggunaan kendaraan pribadi terus meningkat.

Selain tidak tersedianya alternatif transportasi umum 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 pendapatan masyarakat. Hal ini terbukti, dengan kontribusi sepeda motor mencapai 50 persen dari total populasi kendaraan di Jakarta. Meningkatnya jenis kendaraan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan mobilitas masyarakat sangat tinggi dan tidak terlayani oleh sistem transportasi umum di Jakarta.

Tingkat pertumbuhan kendaraan secara total antara tahun 2000-2004 rata-rata sekitar 11,27 persen. Dengan tingkat pertumbuhan kendaraan tersebut maka rasio antara penduduk dan kendaraan makin mengecil. Kecenderungan nilai ini akan terus menurun

apabila tidak ada perbaikan sistem transportasi umum yang merupakan alternatif sarana transportasi bagi masyarakat.

Meningkatnya penggunaan kendaraan tersebut menyebabkan meningkatnya emisi  $PM_{10}$  dari sektor transportasi. Rata-rata meningkatnya emisi  $PM_{10}$  per kelompok kendaraan berbeda per tahunnya. Antara tahun 2000-2004, emisi  $PM_{10}$  kendaraan penumpang meningkat 9 persen, bis meningkat 8 persen, truk sebesar 13 persen, dan sepeda motor sebesar 16 persen. Di Jakarta emisi  $PM_{10}$  dari sektor transportasi mencapai 71 persen dari emisi total polutan tersebut (Syahril *et al.* 2002). Meningkatnya emisi polutan menyebabkan meningkatnya konsentrasi polutan tersebut di udara ambien.

Besarnya konsentrasi ambien  $PM_{10}$  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; Wirahadikusumah 2002). 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  $PM_{10}$  pada kesehatan adalah pada gangguan saluran pernapasan dan dapat menyebabkan kematian. Beberapa penelitian membuktikan bahwa terdapat hubungan linier antara meningkatnya konsentrasi  $PM_{10}$  dan kematian lebih awal atau prematur mortalitas (Daniel *et al.* 2002; Quah & Tay 2002; El-Fadel *et al.* 2004). Pada tahun 1998 kasus gangguan pernapasan akibat  $PM_{10}$  mencapai 90 juta kasus lebih dan diprediksi jumlah kasus gangguan kesehatan akibat pencemaran  $PM_{10}$  pada penduduk Jakarta akan meningkat 2.4 kali pada tahun 2015 (Syahril *et al.* 2002).

Nilai ekonomi dari gangguan kesehatan yang disebabkan oleh polusi udara di wilayah perkotaan merupakan komponen yang dominan dari biaya polusi (Small & Kazimi 1994; Lvovsky *et al.* 2000). Singapore mengestimasi nilai ekonomi dari polutan  $PM_{10}$  untuk seluruh sumber pencemar mencapai sekitar 4.3 persen dari GDP Singapore tahun 1999 (Quah & Tay 2002). Estimasi nilai ekonomi untuk Jakarta hanya satu persen dari PDRB Jakarta tetapi mendekati 100 persen dari revenue Pemerintah Daerah Jakarta pada tahun 1998 (Syahril *et al.* 2002).

Meningkatnya kendaraan bermotor merupakan indikator dari meningkatnya pendapatan yang merupakan dampak positif dari pembangunan ekonomi yang dilakukan. Di sisi lain meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor menyebabkan meningkatnya pencemaran udara yang menyebabkan kerugian sosial dan ekonomi. Dengan demikian pencemaran udara yang disebabkan oleh meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor merupakan eksternalitas negatif dari pembangunan yang berakibat pada tidak tercapainya kesejahteraan sosial secara maksimal. Karena itu, langkah pertama yang harus diambil adalah memperhitungkan kerusakan atau degradasi lingkungan dan kinerja ekonomi untuk mencapai integrasi tersebut (Bartelmus dalam May & da Motta 1996).

Beberapa ahli mengusulkan perhitungan PDB atau PDRB sebagai indikator fisik kinerja pembangunan ekonomi harus memperhitungkan nilai kerusakan yang merupakan dampak dari pembangunan tersebut. Dengan demikian, pendapatan negara tidak hanya diukur dari PDB tapi dengan EDP (*Environmentally Adjusted Domestic Product*) atau *Green GDP* yang didefinisikan sebagai GDP – Depresiasi (Bartelmus dalam May & da Motta 1996; Sanim 2004; Fauzi & Anna 2005).

Persoalan dilematik pada negara berkembang seperti Indonesia dengan jumlah penduduk yang besar adalah rendahnya pendapatan masyarakat. Hal ini menyebabkan meningkatkan konsumsi merupakan prioritas masyarakat dibandingkan dengan menabung. Dengan demikian, kapital yang dibutuhkan untuk pembangunan lebih lanjut tidak tercipta (Salim 1988). Dengan menggunakan *green GDP* dikhawatirkan pendapatan masyarakat akan menurun, hal ini akan berpengaruh terhadap aktivitas ekonomi lebih lanjut.

Fakta tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara kepentingan ekonomi dan lingkungan masih menjadi isu sensitif dalam menetapkan kebijakan lingkungan. Sekalipun demikian, kurva lingkungan Kuznet (*Environmental Kuznets Curve/EKC*) menyatakan terdapat hubungan antara tingkat emisi dan tingkat pendapatan yang digambarkan dalam bentuk *inverted-U curve*. Kurva tersebut menyatakan bahwa pada awal peningkatan pendapatan akan terjadi peningkatan pencemaran, namun pada tingkat pendapatan tertentu tingkat pencemaran akan menurun.

Permasalahannya adalah untuk mencapai titik balik (*turning point*) di mana terjadi penurunan tingkat emisi, berapa banyak penduduk yang menjadi korban dari dampak

pembangunan tersebut. Selama ini beberapa kebijakan telah dibuat untuk menanggulangi pencemaran udara antara lain penghapusan timbel (Pb) dari bensin dan penetapan standar emisi kendaraan yang baru. Saat ini Jakarta telah bebas dari bensin yang mengandung Pb, sehingga Pb tidak diperhitungkan lagi sebagai salah satu pencemar dari kendaraan bermotor.

Kebijakan penetapan standar emisi gas buang kendaraan bermotor yang diberlakukan mulai tahun 2005 untuk kendaraan tipe baru, belum efektif mengurangi pencemaran udara karena sebagian besar kendaraan masih menggunakan teknologi lama yang belum memenuhi standar emisi yang ditetapkan. Di samping itu, kebijakan standar emisi baru tersebut merupakan kebijakan *command and control* (CAC) yang efektivitasnya sangat bergantung pada kemampuan teknis staf pelaksana dalam melakukan kontrol (Iwami 2001).

Upaya lain yang dilakukan oleh Pemerintah Daerah Jakarta adalah dengan kebijakan pembatasan kendaraan untuk memasuki wilayah tertentu yang dikenal dengan kebijakan *three-in-one* pada jam-jam tertentu. Namun, tujuan kebijakan tersebut hanya untuk mengurangi tingkat kemacetan pada jam dan wilayah tertentu. Dengan demikian, kebijakan tersebut tidak memiliki dampak yang signifikan pada reduksi emisi total dari kendaraan bermotor di Jakarta.

Dari uraian di atas maka masalah dapat dirumuskan dalam pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Berapa besar dampak emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor terhadap degradasi kualitas udara ambien di Jakarta.
2. Berapa besar dampak sosial dan nilai ekonomi dari degradasi kualitas udara akibat pencemaran  $PM_{10}$  dari emisi kendaraan bermotor di Jakarta.
3. Kebijakan seperti apa yang dapat diterapkan agar dapat mereduksi pencemaran udara dari sumber kendaraan bermotor di Jakarta.

### **1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

#### **Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah penelitian di atas maka secara umum penelitian ini bertujuan membangun model interaksi dinamis antara faktor-faktor lingkungan, sosial,

dan ekonomi sebagai dasar analisis kebijakan pengendalian pencemaran  $PM_{10}$  dari emisi kendaraan bermotor.

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis dampak emisi dari kendaraan terhadap menurunnya kualitas udara ambien.
2. Mengestimasi dampak sosial dan kerusakan lingkungan, serta mengestimasi nilai ekonomi dari degradasi kualitas udara akibat meningkatnya emisi kendaraan.
3. Merumuskan kebijakan berdasarkan analisis 1 dan 2.

### **Manfaat Penelitian**

Beberapa manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai masukan untuk penyusunan kebijakan untuk pembangunan kota secara berkelanjutan.
2. Sebagai data dasar (*bench mark data*) bagi penelitian dalam bidangnya (masalah emisi kendaraan bermotor) untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek).

### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

#### **Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian ini adalah wilayah DKI Jakarta (Jakarta), tidak termasuk wilayah Kepulauan Seribu.

#### **Target Polutan**

Polutan yang dianalisis dalam penelitian ini adalah  $PM_{10}$  yang bersumber dari emisi kendaraan bermotor. Sumber emisi domestik dan industri juga dianalisis untuk menentukan kontribusi emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor terhadap total emisi. Emisi dari sumber lain tidak termasuk dalam analisis penelitian ini.

#### **Data dan Metode**

1. Analisis data yang digunakan adalah data sekunder dalam 1995-2004. Keterbatasan data sekunder yang kontinu antara tahun 1995 sampai dengan 2004 menyebabkan beberapa analisis kondisi pencemaran udara memiliki kurun waktu yang berbeda.

2. Terjadinya resesi ekonomi pada tahun 1997-1998 menyebabkan pertumbuhan ekonomi negatif, sehingga data PDRB dianalisis antara tahun 1999-2004.
3. Keterbatasan sumber dari penelitian sebelumnya tentang kualitas udara Jakarta maka penelitian *Syahril et al. (2002)* merupakan sumber data dan metode dari model emisi.
4. Ketersediaan data hasil monitoring arah angin dari BMG, menyebabkan model dispersi yang dibangun menggunakan 8 arah angin, biasanya menggunakan 16 arah angin.
5. Terbatasnya data hasil monitoring udara ambien menyebabkan validasi model dispersi hanya dilakukan untuk kurun waktu 2001-2004.

### **Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada Januari-Mei 2007. Estimasi dilakukan dalam melakukan simulasi model dinamis adalah antara tahun 2005-2025.

### **1.5 Novelty Penelitian**

Hal yang baru dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian menggunakan sistem dinamis untuk menganalisis dampak emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor terhadap menurunnya kualitas udara ambien dan estimasi dampak kerusakan lingkungan, sosial, ekonomi akibat meningkatnya emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor belum pernah dilakukan di Indonesia.
2. Penelitian yang mengaitkan penggunaan sistem dinamis dan MCDA untuk menganalisis kebijakan reduksi emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor belum pernah dilakukan.
3. Penggunaan instrumen ekonomi sebagai kebijakan dalam pengendalian pencemaran udara dari kendaraan bermotor di Indonesia belum pernah dilakukan.
4. Internalisasi biaya kerusakan lingkungan akibat pencemaran udara dari kendaraan bermotor ke dalam perhitungan PDB belum pernah dilakukan di Indonesia.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pertumbuhan, Lingkungan dan Pembangunan

Dunia ditandai oleh tiga hal dalam memasuki millenium ketiga yaitu, pertama meningkatnya perekonomian dunia secara signifikan di mana PDB dunia meningkat dari US\$ 6 triliun pada tahun 1950 menjadi US\$ 43 triliun pada tahun 2000. Kedua, terjadi kerusakan lingkungan akibat terkurasnya sumberdaya alam dan meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil akibat meningkatnya industri. Ketiga, meningkatnya jumlah penduduk dari sekitar ratusan juta pada tahun 1950 menjadi 6 milyar pada tahun 2000, dengan sekitar 2 milyar diantaranya adalah masyarakat miskin (Salim 2004; Fauzi 2005).

Jakarta pada tahun 2004, berpenduduk sekitar 8.7 juta jiwa dengan PDRB lebih dari 70 triliun rupiah atau memiliki pendapatan per kapita antara 7-8 juta rupiah (BPS 2005). Sebagian dari masyarakat Jakarta masih tergolong masyarakat berpenghasilan rendah dengan upah minimum harian sekitar 22 ribu rupiah atau sekitar 450 sampai 600 ribu rupiah per bulannya. Pada kondisi ini, maka sebagian masyarakat Jakarta masih tergolong pada masyarakat miskin.

Meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor merupakan dampak dari pembangunan ekonomi yang dilakukan. Jumlah kendaraan bermotor di Jakarta sekitar 6.5 juta, pada tahun 2004. Dengan tingkat pertumbuhan kendaraan secara rata-rata per tahun antara 6-10 persen, maka tingkat pencemaran udara dan kemacetan akan meningkat. Sebagai konsekuensi dari meningkatnya pencemaran udara dari kendaraan bermotor tersebut, maka dampak dari pencemar tersebut terutama pada kesehatan masyarakat akan meningkat. Dengan demikian, biaya sosial atau nilai ekonomi dari dampak pencemaran udara juga akan meningkat.

Permasalahannya adalah bahwa biaya sosial dari pencemaran yang disebabkan oleh polutan dari kendaraan bermotor tersebut tidak terinternalisasi dalam PDRB Jakarta. Jadi, biaya eksternalitas yang disebabkan oleh polusi udara dan tingkat

kemacetan lalu lintas merupakan biaya yang harus ditanggung oleh masyarakat. Karena itu, dapat disimpulkan bahwa pembangunan yang dilakukan belum berdampak positif pada sebagian masyarakat.

Secara umum kaitan antara pertumbuhan ekonomi, kerusakan lingkungan, dan kemiskinan di negara miskin dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya adalah, faktor sosial-budaya, kegagalan kelembagaan, dan faktor perdagangan bebas (Dasgupta 1997).

#### *Sosial-Budaya*

Persepsi masyarakat tentang anak sebagai sumber penghasilan menyebabkan investasi untuk pendidikan bagi anak, yang merupakan *human-capital* bagi pertumbuhan lebih lanjut, tidak menjadi prioritas. Bahkan dengan rendahnya pendapatan, masyarakat tidak mempunyai pilihan lain (Dasgupta 1997). Selain itu, pendapatan rendah menyebabkan meningkatnya pendapatan lebih digunakan untuk meningkatkan konsumsi, sehingga investasi untuk meningkatkan perekonomian lebih lanjut tidak terjadi, termasuk untuk pendanaan perbaikan lingkungan (Salim 1988).

Dampak rendahnya kualitas sumberdaya manusia (SDM) dalam proses industrialisasi yang terjadi di negara miskin adalah sebagian besar masyarakat menjadi buruh atau bekerja di bidang informal dengan pendapatan rendah, sehingga pertumbuhan ekonomi yang terjadi tidak secara signifikan berdampak pada peningkatan pendapatan golongan masyarakat tersebut. Thurow 1999, menyatakan bahwa pengetahuan merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan ekonomi, setelah bahan baku dan kapital. Dengan demikian, negara miskin dengan kualitas SDM yang rendah akan sulit untuk mencapai keberhasilan ekonomi.

#### ***Kegagalan Kelembagaan***

Terjadinya kegagalan kelembagaan (*institutional failure*) dalam bentuk diskriminasi produk hasil pertanian, di antaranya kebijakan penetapan harga hasil pertanian yang rendah, menyebabkan terjadinya disinsentif untuk investasi bagi para petani di sektor pertanian (Dasgupta 1997). Hal ini juga memberikan dampak pada

berubahnya pemanfaatan lahan (*land use*) pertanian dan meningkatnya proses sub-urbanisasi disekitar wilayah perkotaan (Rustiadi 2004).

### ***Perdagangan Bebas***

Perdagangan bebas menyebabkan industri kotor atau industri dengan tingkat polutan tinggi dipindahkan ke negara berkembang karena aturan lingkungan yang berlaku di negara maju sangat ketat (Panayotou 2000; Jha & Whalley 1999). Rendahnya pendapatan menyebabkan kebijakan lingkungan di negara berkembang tidak ketat, sehingga biaya abatemen tidak tersedia. Dampak lain dari perdagangan bebas adalah meningkatnya aktivitas ekonomi diperkotaan, yang menyebabkan meningkatnya arus urbanisasi.

Berbagai permasalahan yang dihadapi oleh negara berkembang yang ber pendapatan rendah, baik secara internal seperti kondisi sosial budaya masyarakat dan kegagalan institusional ataupun eksternal seperti pengaruh kebijakan perdagangan bebas, menyebabkan arah pembangunan ekonomi yang dilakukan untuk mempercepat terjadinya pertumbuhan ekonomi tidak menghasilkan kesejahteraan masyarakat. Jadi, tingginya tingkat pertumbuhan ekonomi bukan merupakan indikasi dari tuntasnya masalah kemiskinan.

Hal ini terbukti dengan pembangunan yang dilakukan di Indonesia, sampai dengan tahun 1996 pertumbuhan ekonomi Indonesia rata-rata tujuh persen per tahun. Namun jumlah penduduk yang berada di bawah garis kemiskinan mencapai 18.2 persen dari total penduduk (BPS 2002). Tidak tercapainya kesejahteraan sosial secara maksimal dengan pembangunan ekonomi telah disampaikan oleh Brundlandt 1987, dalam konsep pembangunan berkelanjutan, bahwa tatanan ekonomi dunia selama ini menyebabkan meningkatnya masyarakat miskin dan degradasi lingkungan, sehingga integrasi antara kebijakan lingkungan dan ekonomi merupakan suatu keharusan.

Integrasi antara kebijakan lingkungan dan ekonomi yang terjadi di negara berkembang merupakan *trade-off* yang tidak mudah dilakukan di negara yang berpenghasilan rendah, terutama bagi negara dengan jumlah penduduk yang tinggi,

---

seperti Indonesia. Karena itu, untuk menganalisis hubungan antara lingkungan dan pertumbuhan ekonomi harus mempertimbangkan perjalanan pembangunan ekonomi negara tersebut (Panayotou 2000).

Pertumbuhan ekonomi merupakan istilah yang dikaitkan dengan meningkatnya aktivitas ekonomi yang merujuk pada peningkatan pendapatan. Sedangkan pembangunan ekonomi lebih ditujukan pada peningkatan kesejahteraan masyarakat termasuk pendapatan dan sisi lainnya yang menunjang kesejahteraan tersebut (Salim 1988). Berbagai permasalahan yang dihadapi oleh negara berkembang seperti yang telah dijelaskan di atas menyebabkan arah kebijakan pembangunan ekonomi cenderung hanya bertumpu pada pertumbuhan ekonomi, sehingga mempercepat degradasi kualitas lingkungan dan kesejahteraan masyarakat tidak tercapai.

Hubungan antara lingkungan dan pendapatan diberikan oleh Smulders 2000, menggunakan fungsi ekonomi makro, di mana polusi diinterpretasikan sebagai ekstraksi dari lingkungan, dan preferensi masyarakat diberikan sebagai fungsi utilitas (Smulders dalam Former & Gabel 2000). Preferensi masyarakat di negara berpenghasilan rendah secara umum adalah untuk meningkatkan pendapatan dalam waktu singkat, sehingga *discount-rate* sangat tinggi. Ketidaksabaran yang dinyatakan dengan tingginya *discount-rate* inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan dalam waktu singkat (Vecchiato *et al.* 2006).

Indikator kinerja ekonomi selama ini diukur dengan PDB atau PDRB masih mengabaikan faktor depresiasi SDA dan degradasi kualitas lingkungan, sehingga tidak menggambarkan peningkatan kesejahteraan akibat pembangunan ekonomi tersebut secara tepat (Fauzi & Anna 2005, Suparmoko & Suparmoko 2000). Karena itu, langkah pertama yang harus diambil adalah memperhitungkan kerusakan atau degradasi lingkungan dan kinerja ekonomi, sehingga integrasi antara pertumbuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan dapat dicapai (Bartelmus dalam May & da Motta 1996). Dengan demikian, pendapatan negara tidak hanya diukur dari PDB tapi dengan EDP (*Environmentally Adjusted Domestic Product*) atau *Green GDP* yang

didefinisikan sebagai GDP – Depresiasi (Bartelmus dalam May & da Motta 1996; Sanim 2004; Fauzi & Anna 2005).

Namun, untuk dapat menerapkan EDP pada negara dengan penghasilan rendah dikhawatirkan akan menurunkan tingkat pendapatan yang akan berdampak pada meningkatnya jumlah masyarakat miskin. Padahal tanpa diterapkan EDP dengan pertumbuhan ekonomi yang terjadi proporsi masyarakat miskinpun tetap meningkat.

Beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan ekonomi yang dihadapi oleh negara berkembang saat ini, tidak ditemui oleh negara maju pada proses industrialisasi yang dialaminya (Jha & Whalley 1999). Proses industrialisasi saat ini berlangsung dalam waktu yang relatif singkat dan dialami di bawah tekanan kemajuan teknologi komunikasi dan informasi yang menyebabkan perubahan perilaku masyarakat dalam konsumsi barang terjadi dalam waktu yang bersamaan. Dengan demikian hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi kualitas lingkungan di negara berkembang tidak dapat digeneralisasi atau harus memperhatikan kondisi masyarakat negara tersebut.

Beberapa penelitian menggambarkan relasi antara tingkat pencemaran dan pendapatan membuktikan bahwa emisi akan meningkat seiring dengan meningkatnya pendapatan, namun emisi akan menurun pada tingkat pendapatan tertentu yang digambarkan dalam bentuk *Environmental Kuznets Curve/EKC* (Iwami 2001; Bartz & Kelly 2004; Susandi 2004). Bartz & Kelly 2004, mengatakan bahwa meningkatnya pendapatan akan menurunkan tingkat pencemaran, karena pada tingkat pendapatan tertentu *marginal abatement cost* (MAC) akan meningkat sehingga kontrol terhadap emisi juga meningkat.

Namun, hubungan antara meningkatnya pendapatan dan emisi yang digambarkan oleh hipotesis Kuznets tidak selalu terjadi (Stern 2004, Panayotou 2000). Fungsi antara pendapatan dan lingkungan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti faktor parameter lingkungan, faktor kebijakan, serta faktor keadaan negara tersebut. Hubungan antara pendapatan dan kerusakan lingkungan dapat disajikan dalam berbagai bentuk fungsi tidak seperti yang diberikan dalam hipotesis Kuznets.

---

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penjelasan ini adalah, bahwa pertumbuhan ekonomi tidak secara otomatis meningkatkan kualitas lingkungan. Berlakunya EKC untuk suatu parameter lingkungan tidak selalu terbukti di setiap negara, hal itu harus dilihat dari arah pembangunan masing-masing negara. Malaysia misalnya untuk beberapa parameter lingkungan bertentangan dengan hipotesis Kuznet, hal ini tidak berarti bahwa EKC tidak berlaku di tempat lain. Hal ini dapat saja disebabkan karena Malaysia belum mempunyai data yang cukup untuk pendapatan yang tinggi (Panayotou 2000).

Negara miskin mempunyai variabel yang mempengaruhi emisi lebih besar/tinggi dibandingkan dengan negara dengan pendapatan tinggi. Hal ini menyebabkan arah perjalanan pembangunan lebih divergen. Implikasinya adalah lebih sulit memprediksi tingkat polusi bagi negara pendapatan rendah untuk mencapai *turning point* (Panayotou 2000). Jadi, dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan ekonomi dan regulasi lingkungan keduanya mempunyai peran bagi kualitas lingkungan. Meningkatnya pendapatan menghasilkan struktur regulasi lebih efektif dalam mengubah preferensi publik dan tersedianya sumber bagi pembuat kebijakan.

Dengan demikian, maka penerapan pengertian pembangunan ekonomi yang lebih berorientasi pada meningkatkan kesejahteraan masyarakat dalam segala segi, bukan hanya dari sisi pendapatan, harus menjadi landasan kebijakan ekonomi makro (Salim 1988). Dampak kebijakan ekonomi yang menyebabkan terjadinya kesenjangan antar kelompok masyarakat dapat diperkecil, hal ini dapat dilakukan apabila kebijakan yang diambil berpihak pada masyarakat banyak atau dengan kata lain memperkecil pengaruh *interest group* ditingkat pengambil keputusan.

Indonesia sebagai negara berkembang pada tahun 2004, memiliki penduduk lebih dari 216 juta jiwa dengan pendapatan per kapita 7.7 juta rupiah (BPS 2006). Dalam melaksanakan pembangunan ekonomi Indonesia juga menghadapi permasalahan konflik antara pertumbuhan ekonomi, kerusakan lingkungan, dan kemiskinan seperti yang di jelaskan di atas.

Jakarta, sebagai ibukota negara merupakan barometer dari perkembangan ekonomi Indonesia. Terkonsentrasinya pembangunan dan sebagai kota perdagangan, menyebabkan meningkatnya urbanisasi ke Jakarta dan wilayah sekitarnya. Cepatnya proses urbanisasi tersebut tidak dapat diimbangi oleh pembangunan infrastruktur transportasi umum yang menyebabkan meningkatnya penggunaan kendaraan pribadi.

Tingginya arus urbanisasi ke Jakarta dan wilayah sekitarnya, menyebabkan meningkatnya pengalju yang menimbulkan masalah kemacetan dan degradasi kualitas lingkungan di Jakarta. Dengan demikian, meningkatnya kemacetan akibat penggunaan kendaraan bermotor dan menurunnya kualitas udara di wilayah perkotaan merupakan eksternalitas negatif dari pembangunan ekonomi (Jha & Whalley 1999; Tietenberg 2003; Quah & Tay 2002; Panyacosit 2000).

Biaya eksternalitas kemacetan di Jakarta diestimasi sekitar Rp 5.5 triliun pada tahun 2002 (JICA 2003). Kerugian ekonomi total dari pencemaran udara akibat emisi kendaraan bermotor, pada tahun 2015 diprediksi 4,297,816 juta rupiah dengan kenaikan mencapai 2.4 kali dibandingkan pada tahun 1998 (Syahril *et al.* 2002). Kontribusi emisi PM<sub>10</sub> terhadap biaya kesehatan adalah 73 persen (Lvovsky *et al.* 2000).

Tingginya nilai ekonomi dari kemacetan dan kesehatan, merupakan biaya sosial yang harus ditanggung oleh masyarakat. Jadi, meningkatnya pendapatan tidak selalu memberikan kesejahteraan pada masyarakat. Tidak terakomodasinya nilai kerusakan lingkungan tersebut dalam PDRB, menyebabkan masyarakat miskin akan bertambah miskin. Karena itu, dibutuhkan pembangunan yang lebih berpihak pada masyarakat.

Kebijakan pembangunan yang berpihak pada masyarakat tersebut dibuktikan oleh kota Curitiba, Brazil, yang terletak di negara berkembang dalam mengembangkan kota tersebut, sehingga menjadi kota yang berkelanjutan. Pengelola kota Curitiba mengintegrasikan sistem transportasi umum dan pemanfaatan lahan (*land use*), agar akses terhadap pusat-pusat aktivitas dapat dijangkau oleh masyarakat yang berpenghasilan rendah yang berdomisili di pinggiran kota. Hal tersebut

menyebabkan penggunaan bahan bakar untuk transportasi menurun dan polusi udara dapat dikendalikan (Smith & Raemaekers 1998).

## 2.2 Tinjauan Literatur Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang akan ditinjau dalam bagian ini adalah penelitian kualitas udara dan penelitian yang berkaitan dengan upaya reduksi emisi. Penelitian yang diberikan merupakan gambaran beberapa penelitian yang mewakili model yang ada dan akan dibandingkan untuk memperlihatkan perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan. Secara skematis penelitian yang akan dibahas diberikan dalam bentuk matrik pada Tabel 1.

(1) Penelitian yang dilakukan oleh Ostro 1994, bertujuan untuk menentukan fungsi dose-response untuk Jakarta dari berbagai parameter pencemar yang ada. Fungsi dose-response menyatakan hubungan antara dosis zat pencemar terhadap respon yang ditimbulkan. Fungsi dose-response digunakan untuk mengestimasi dampak pencemaran terhadap kesehatan manusia. Hasil estimasi gangguan kesehatan hanya dilaporkan untuk beberapa parameter lingkungan.

Sumber emisi yang digunakan terdiri dari sumber industri, domestik, kendaraan, incenerator dan lainnya. Ditinjau dari sumber emisi yang digunakan penelitian ini telah menggunakan semua sumber emisi yang akan mempengaruhi tingkat pencemaran udara. Model box digunakan untuk mengestimasi tingkat pencemaran.

Fungsi dose-response yang digunakan untuk menilai dampak degradasi udara terhadap masyarakat secara sosial dan ekonomi, merupakan fungsi dose-response yang telah dimodifikasi untuk Jakarta (Ostro 1994). Untuk menentukan kemiringan fungsi dose response tersebut Ostro 1994, menggunakan metode analisis literatur terhadap penggunaan fungsi dose-response yang telah dikembangkan untuk negara lain seperti Amerika Serikat dan Inggris.

Respon dari manusia terhadap tingkat pencemaran ditentukan oleh kondisi lingkungan, sosial, dan budaya setempat. Keterbatasan data menyebabkan berberapa

asumsi dilanggar, sehingga hasil estimasi dan prediksi yang dilakukan lebih rendah dari yang seharusnya (*under estimate*). Di samping itu, data dari berbagai negara tersebut menggunakan TSP (*total suspended particulate*) untuk parameter partikulat, untuk itu diperkirakan bahwa 0.55 dari TSP adalah  $PM_{10}$ .

Hasil penelitian ini menyatakan bahwa emisi total dari TSP terdiri dari 30 persen emisi dari sumber kendaraan bermotor, 35 persen dari sumber domestik, 8 persen dari pembakaran sampah dan incenerator, 15 persen dari sumber industri, dan 12 persen dari sumber lainnya. Polusi TSP menyebabkan kerusakan kesehatan dan kerugian ekonomi yang sangat besar bagi penduduk Jakarta.

(2) Syahril *et al.* 2002, bertujuan untuk mengestimasi dampak kerusakan lingkungan, sosial dan ekonomi dari emisi kendaraan bermotor. Parameter lingkungan yang digunakan adalah  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{10}$ , CO, dan THC. Dalam penelitian ini, simulasi reduksi emisi dilakukan dengan menggunakan faktor emisi baru, penggunaan katalik konverter untuk taxi, implementasi dari program pengecekan dan perawatan kendaraan melalui tes emisi dan pengembangan transportasi publik.

Untuk mengestimasi tingkat konsentrasi ambien digunakan model box, yang merupakan model pencemaran udara yang mengasumsikan bahwa penyebaran polutan dalam box terjadi secara homogen. Sekalipun, model box ini tidak direkomendasikan oleh US-EPA (Wikipedia 2008) karena asumsi yang digunakan oleh model ini yang menyebabkan akurasi berkurang, namun model ini sangat umum digunakan dalam pemodelan kualitas udara di wilayah perkotaan.

Sebagaimana model kualitas udara di wilayah perkotaan, model ini juga menuntut pembagian wilayah atas beberapa grid dengan inventori emisi dan receptor yang lengkap. Untuk kepentingan inventori emisi, penelitian ini memanfaatkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh JICA dan Bapedal di Jakarta tahun 1997.

Estimasi dampak pencemaran pada kesehatan digunakan fungsi dose-response yang telah dikembangkan Ostro (1994). Nilai ekonomi dari gangguan kesehatan menggunakan biaya perawatan (COI) yang diperoleh dari survei.

Nilai dari kasus kematian lebih awal dihitung dengan *Value of Statistical Life (VSL)*, yang merupakan nilai estimasi dari *discounted value* dari *expected future income of the average age*. Nilai VSL yang dikembangkan oleh Syahril *et al.* (2002), terlalu rendah jika dibandingkan dengan nilai yang digunakan oleh Susandi (2004). Karena itu, nilai yang digunakan oleh Susandi (2004) lebih dapat diterima.

Hasil penelitian ini antara lain untuk tahun 2005, perubahan faktor emisi pada  $PM_{10}$ , menyebabkan reduksi emisi sebesar 3.6 persen, penggunaan katalik konverter mereduksi 2.6 persen, dan perbaikan transportasi publik mereduksi emisi sebesar 4.85 persen. Sedangkan untuk tahun 2015, reduksi  $PM_{10}$  dari masing-masing skenario diatas meningkat menjadi, 40.67 persen, 3.45 persen dan 27.06 persen. Skenario implementasi dari program pemeriksaan dan perawatan kendaraan tidak mereduksi  $PM_{10}$ , untuk kedua tahun yang disimulasi.

(3) Lestari 2001, menggunakan model dispersi untuk menentukan tingkat pencemaran CO di Surabaya. Skala penelitian yang dilakukan bersifat mikro. Metode yang digunakan untuk mengestimasi pencemaran adalah metode dispersi dengan menggunakan 'Breezway model'.

Hasil penelitian ini menyatakan bahwa kontribusi kendaraan bermotor pada polutan CO cukup tinggi terutama di jalan di mana terjadi penumpukan kendaraan seperti di persimpangan. Kajian yang dilakukan Lestari 2001, memfokuskan koordinasi antara pihak-pihak yang terlibat dalam melakukan monitoring kualitas udara, sebagai upaya untuk pengendalian pencemaran yang terjadi.

Ruang lingkup penelitian ini sangat mikro, dan dampak pencemaran terhadap masyarakat baik secara sosial ataupun ekonomi tidak termasuk dalam tujuan penelitian yang dilakukan, tetapi merupakan saran dari peneliti. Hal tersebut dapat terjadi karena estimasi dampak parameter CO pada kesehatan sulit dilakukan, karena keterbatasan data kuantitatif (Small & Kazimi 1994).

---

(4) Small & Kazimi 1994, menggunakan  $PM_{10}$  dan Ozon sebagai parameter lingkungan dalam penelitiannya yang dilakukan di Los Angeles, Amerika Serikat. Metode yang digunakan adalah melakukan pemantauan langsung terhadap tingkat pencemaran di udara ambien dan menggunakan fungsi dose-response untuk mengestimasi kerusakan. Hasil analisis yang diberikan adalah kendaraan tidak terawat dan yang berbahan bakar solar merupakan kendaraan yang menyebabkan polusi tinggi, sehingga biaya polusi tertinggi juga berasal dari kendaraan tersebut.

(5) Fullerton & Gan 2005, membandingkan efektivitas dari beberapa instrumen pajak dalam mereduksi emisi dari kendaraan bermotor dipandang dari sisi hilangnya surplus konsumen. Dalam analisis yang dilakukan, untuk mereduksi emisi kendaraan bermotor, *abatement cost* yang diterapkan pada pengusaha otomotif ataupun perusahaan penghasil BBM tidak efisien karena emisi sangat bergantung pada pengendara, sehingga penerapan sistem insentif merupakan alternatif yang paling fisibel. Pajak emisi juga tidak memungkinkan diterapkan karena ketersediaan teknologi untuk mengukur emisi per kendaraan belum memungkinkan.

Namun, dari analisis model yang digunakan diperoleh hasil bahwa apabila pajak emisi dapat diberlakukan maka instrumen tersebut merupakan instrumen yang memiliki marjinal *abatement cost* paling rendah. Dikatakan pula bahwa subsidi pembelian mobil baru sebagai salah satu instrumen untuk mereduksi emisi kendaraan bermotor, tidak efektif menurunkan emisi. Tanpa kehadiran pajak emisi maka pajak pada BBM merupakan instrumen yang paling efektif untuk menurunkan emisi dari kendaraan.

Penerapan instrumen pajak yang dilakukan di Amerika Serikat dan negara-negara Eropa terutama ditujukan untuk mengubah perilaku masyarakat dalam berkendara atau kontrol terhadap VKT (Fullerton *et al.* 2005; Beltran 1996). Penelitian yang dilakukan untuk Jakarta, menyimpulkan bahwa perbaikan pengelolaan transportasi publik merupakan kebijakan yang paling efektif untuk menurunkan tingkat penggunaan kendaraan pribadi yang akan mereduksi emisi dari

kendaraan bermotor (JICA 2003; Syahril *et al.* 2002). Ditambahkan pula oleh Smith dan Raemaekers (1998), sistem transportasi publik dan integrasi dengan pemanfaatan ruang (*land use*) kota, menyebabkan Curitiba, Brazil, menjadi salah satu kota yang berkelanjutan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada negara berkembang kebijakan reduksi emisi kendaraan ditujukan pada kontrol terhadap jumlah kendaraan menggunakan perbaikan layanan transportasi umum.

- (6) Merujuk pada hasil analisis di atas maka penelitian yang akan dilakukan berbeda dengan penelitian yang sebelumnya dalam beberapa hal:

Parameter lingkungan yang digunakan adalah  $PM_{10}$ , karena seperti kota-kota besar di Asia, Bangkok, Hongkong, Kuala Lumpur dan Manila  $PM_{10}$  merupakan polutan yang paling bermasalah yang berasal dari sektor transportasi (Walsh 1996; Panyacosit 2000; Quah & Tay 2002). Syahril *et al.*, 2002, menunjukkan di Jakarta, sektor transportasi berkontribusi lebih dari 71 persen terhadap emisi parameter tersebut. Tingginya kontribusi emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor menyebabkan Jakarta termasuk dalam 10 kota yang paling tinggi tingkat polusi  $PM_{10}$  di dunia (Wikipedia 2008). Di samping itu, hasil monitoring udara ambien yang terdapat di 5 lokasi di Jakarta menyimpulkan bahwa konsentrasi  $PM_{10}$  di udara ambien pada tahun-tahun terakhir untuk semua stasiun pemantauan telah melampaui baku mutu udara ambien (Wirahadikusumah 2002; Tamin & Rachmatunisa 2007).

$PM_{10}$  adalah partikel debu yang berdiameter kecil dari 10 mikron, yang mengandung Karbon dan bahan bakar minyak. Sumber utama  $PM_{10}$  di wilayah perkotaan adalah dari kendaraan bermotor terutama kendaraan bermesin diesel. Polutan partikel ( $PM_{10}$ ) masuk ke dalam tubuh manusia terutama melalui sistem pernafasan, oleh karena itu pengaruh yang langsung merugikan adalah pada sistem pernafasan. Faktor yang paling berpengaruh pada sistem pernafasan adalah ukuran partikel, karena ukuran partikel menentukan seberapa jauh penetrasi partikel ke dalam sistem pernafasan (Fardiaz 1992). Beberapa penelitian memperlihatkan bahwa terdapat hubungan linier antara meningkatnya *mortality* dan meningkatnya

konsentrasi  $PM_{10}$ , sehingga polutan ini termasuk polutan yang sangat berbahaya (Panyacosit 2000; Quah & Tay 2002; Margulis dalam May & da Motta 1996).

Kontak secara langsung atau kontak dalam konsentrasi kecil namun dalam periode waktu tertentu terhadap  $PM_{10}$  dapat menyebabkan hilangnya fungsi paru-paru (Liu & Liptak 1999; McGranahan & Murray 2003). Terdapat hubungan linier antara meningkatnya konsentrasi ambien  $PM_{10}$  dan tingkat prematur mortalitas (Daniel *et al.* 2002). Kenaikan  $10 \mu\text{gr}/\text{m}^3$  konsentrasi  $PM_{10}$  meningkatkan prematur mortalitas sebesar 0.1 sampai 4.6 persen dan morbiditas misalnya untuk LRI (gangguan pernapasan pada anak-anak) akan meningkat antara 1.1 sampai 24.9 persen (El-Fadel *et al.* 2004). Voorhees (2004) menyatakan, terjadi peningkatan prematur mortalitas sebanyak 4.4 persen jika konsentrasi  $PM_{10}$  meningkat  $10 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ . Namun pada konsentrasi yang rendah tidak terdapat hubungan antara tingkat kematian lebih awal dan  $PM_{10}$  di Taipei, Taiwan (Chun-Yuh *et al.* 2004).

Hubungan antara meningkatnya konsentrasi  $PM_{10}$  dengan meningkatnya perawatan rumah sakit akibat gangguan pernapasan (*Respiratory Hospital Admission = RHA*), membuktikan kenaikan  $10 \mu\text{gr}/\text{m}^3$  akan meningkatkan RHA sebanyak 1 (satu) persen (Wilson *et al.* 2004). Dampak secara sosial dan ekonomi yang ditanggung masyarakat inilah yang menjadi konsern utama kebijakan reduksi pencemaran harus dilakukan (Ostro 1994; Lvovsky *et al.* 2000; El-Fadel *et al.* 2004).

Diprediksi kasus gangguan saluran pernafasan di Jakarta pada tahun 2015 dari emisi  $PM_{10}$  akan meningkat lebih dari dua kali untuk seluruh wilayah di DKI Jakarta, kecuali Jakarta Utara peningkatan mencapai lebih dari lima kali dibandingkan dengan tahun 1998 (Syahril *et al.* 2002). Dampak sosial-ekonomi dari pencemaran  $PM_{10}$  merupakan kerugian terbesar bagi penduduk Jakarta dari menurunnya kualitas udara ambien dari emisi  $PM_{10}$ .

Penelitian ini menggunakan metode pemodelan dengan sistem dinamis untuk mengestimasi meningkatnya kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan ekonomi akibat dari dampak pencemaran dari emisi  $PM_{10}$ . Metode perbandingan digunakan untuk mengestimasi emisi  $PM_{10}$  dari sumber domestik, industri, dan emisi dari

sumber kendaraan bermotor seperti metode yang digunakan oleh Syahril *et al.* 2002. Hal ini dilakukan karena data tentang jumlah kendaraan yang melalui Jakarta tidak diperoleh.

Estimasi kerusakan lingkungan digunakan model dispersi Gaussian untuk wilayah perkotaan. Fungsi dose response yang dikembangkan Ostro (1994) digunakan untuk mengestimasi dampak kesehatan dari polutan PM<sub>10</sub> dan nilai ekonomi dari masalah kesehatan tersebut. Untuk menganalisis kebijakan, peneliti menggunakan metode analisis multi kriteria (MCDA) karena metode ini dapat mengakomodasi berbagai kriteria dari alternatif kebijakan yang akan disimulasikan.

Tabel 1 Matrik Penelitian Terdahulu Kualitas Udara

Peneliti	Variabel	Fokus Perhatian	Hasil	Model
Ostro 1994. Jakarta.	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Ozon, Pb, kesehatan dan ekonomi	Emisi dari berbagai sumber	Penerapan dose response di Jakarta. Dampak sosial-ekonomi, kerugian terbesar.	Analisa statistik dan Dose Response
Syahril <i>et al.</i> 2002. Jakarta.	PM <sub>10</sub> ; NO <sub>2</sub> ; CO; SO <sub>2</sub> ; THC; kesehatan dan ekonomi	Perbandingan dengan 1998 dan simulasi, skala mikro dan makro.	Polusi, dampak kesehatan, dan kerugian ekonomi meningkat.	Model dispersi dan Dose Response
Lestari, 2001. Surabaya.	CO dr Kendaraan	Skala mikro	Kontribusi CO terhadap pencemaran udara.	Model dispersi.

Tabel 1 Matrik Penelitian Terdahulu Kualitas Udara (lanjutan)

Peneliti	Variabel	Fokus Perhatian	Hasil	Model
Small & Kazimi, 1994, LA, USA	PM <sub>10</sub> , Ozon	Emisi dari Kendaraan langsung dan tidak langsung	Kendaraan tidak terpelihara dan diesel menghasilkan biaya polusi tinggi.	Monitoring udara ambien, fungsi dose response
Fullerton & Gan, 2005, USA.	Pajak emisi, pajak BBM, dan subsidi	<i>Cost effective</i> dari ketiga jenis instrumen ekonomi	MCA pajak BBM paling efektif. Subsidi tidak efektif reduksi emisi.	Sistem estimasi demand
Model yang diusulkan oleh peneliti	PM <sub>10</sub> , dampak kesehatan, lingkungan, nilai ekonomi dan Kebijakan.	Skala mikro dan makro	Prediksi interaksi dinamik faktor lingkungan, sosial, ekonomi, untuk model kebijakan lingkungan.	Integrasi model dinamis (emisi, dispersi, dampak dan nilai ekonomi) dan model kebijakan

### 2.3 Pemodelan Kualitas Udara Wilayah Perkotaan

Pendekatan sistem merupakan salah satu metode yang digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang kompleks, memiliki sifat non-linieritas, dan adanya probabilitas (Eriyatno, 2003). Pencemaran udara di wilayah perkotaan merupakan masalah yang berkaitan dengan faktor-faktor lingkungan, sosial, ekonomi, dan kebijakan, yang satu sama lain saling mempengaruhi. Karena itu, penelitian ini menggunakan metode pendekatan sistem dengan membangun model interaksi dinamis antara faktor lingkungan, sosial, dan ekonomi sebagai dasar dalam penyusunan kebijakan pengendalian pencemaran PM<sub>10</sub> dari emisi kendaraan bermotor.

Model dinamis yang dikembangkan terdiri dari sub-model emisi, sub-model dispersi, dan sub-model dampak pencemaran. Model yang dikembangkan untuk wilayah perkotaan membagi wilayah tersebut atas grid-grid, di mana semua sumber emisi dan receptor telah diidentifikasi. Estimasi emisi dari sumber industri, domestik, dan kendaraan menggunakan metode perbandingan dengan nilai emisi yang diperoleh pada penelitian sebelumnya (Syahril *et al.* 2002).

Emisi kendaraan bermotor ditentukan oleh penggunaan atau utilisasi kendaraan tersebut dan bahan bakar yang digunakan. Karena itu, estimasi emisi dari kendaraan bermotor dilakukan dengan mengelompokkan kendaraan berdasarkan penggunaannya dan bahan bakar.

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 (Wikipedia 2008). Dalam setiap pengembangan model dispersi, data historis meteorologi merupakan unsur yang sangat penting, paling sedikit data historis meteorologi selama 5 tahun terakhir (Soedomo 2001).

Salah satu model dispersi udara adalah model Gaussian, yang mengasumsikan bahwa dispersi polutan udara terdistribusi secara Gaussian, atau distribusi polutan mempunyai probabilitas distribusi normal (Godish 1997; Schnelle & Dey 1999). Pada model ini, dengan receptor berada di grid tengah, konsentrasi dapat di aproksimasi dengan persamaan:

$$\bar{C} = A \frac{Q_{a0}}{\bar{u}} \quad (2.1)$$

dengan A diberikan sebagai berikut:

$$A = \left( \frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{[\Delta x (2n + 1) / 2]^{(1-b)}}{a(1-b)} \quad (2.2)$$

di mana :

$\Delta x$  : ukuran grid.

a,b : koefisien dispersi.

Q : emisi.

C : konsentrasi ambien.

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

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  $PM_{10}$  di berbagai kota oleh Hanna dan Gifford, pada tahun 1973 (Schnelle & Dey 1999).

### ***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). Pepohonan sangat efektif dalam memindahkan beberapa polutan seperti  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ , dan  $O_3$  dari udara (Powe & Willis 2004). Diestimasi rata-rata sekitar 9.8 ton per hari dari  $PM_{10}$  dipindahkan oleh pepohonan, sehingga meningkatkan kualitas udara ambien harian 0.4 persen dan 2.1 persen pada wilayah dengan pepohonan yang padat, di wilayah Chicago, USA. Absorpsi partikulat oleh daun dan permukaan pohon sangat bergantung pada jenis pohon. 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  $PM_{10}$  mencapai 55 persen, sedangkan partikel dengan ukuran 3  $\mu m$  hanya 4 persen (Colls 2002). Reduksi polutan diberikan dalam persamaan berikut:

$$C(t) = C(0)e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

Di mana:

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

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

Dengan tingkat efisiensi penangkapan butir air hujan pada  $\text{PM}_{10}$  sebesar 55 persen, maka nilai konstanta  $\lambda$  adalah:

$$\lambda = 0.825 * \frac{R}{D} \quad (2.4)$$

Di mana:

R adalah kecepatan jatuh hujan ( $\text{mm}/\text{jam}$ ).

D diameter butir hujan ( $\text{mm}$ ).

### ***Dampak Pencemaran***

Dampak pencemaran udara di wilayah perkotaan dapat berupa gangguan kesehatan pada manusia dan kerusakan pada lingkungan hidup lainnya. Karena itu, baku mutu udara ambien terbagi atas baku mutu udara ambien untuk melindungi kesehatan manusia (*primary*) dan kesejahteraan umum (*public welfare*) termasuk untuk melindungi menurunnya daya pandang, dampak pada hewan dan tumbuhan, dan gedung atau bangunan atau *secondary* (Warner 1976; Wang & Chang dalam Wang *et al.* 2005).

Baku mutu udara ambien untuk  $\text{PM}_{10}$  tahunan belum tersedia di Indonesia maupun untuk Jakarta. Amerika Serikat melalui US-EPA (*environmental protection agency*) atau institusi perlindungan lingkungan Amerika, menggunakan baku mutu udara ambien untuk  $\text{PM}_{10}$  adalah  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yang merupakan rata-rata geometric tahunan (*annual geometric mean*), baik untuk dampak *primary* ataupun *secondary* (Wang & Chang dalam Wang *et al.* 2005).

Baku mutu udara nasional  $\text{PM}_{10}$  yang ditetapkan oleh US-EPA tersebut telah banyak di tolak oleh beberapa negara bagian di Amerika, karena dianggap terlalu tinggi (California ambient air quality standards, 2007). Sementara itu, Inggris, telah menawarkan baku mutu baru untuk  $\text{PM}_{10}$  yang nilainya lebih rendah dari nilai baku

Pengaruh pencemaran terhadap kesehatan manusia dapat diestimasi menggunakan fungsi dose-response atau fungsi dosis tanggapan. Fungsi dosis tanggapan secara definisi merupakan hubungan antara setiap rangsangan yang dapat diukur baik secara fisik, kimiawi, atau biologi, dan tanggapan (response) makhluk hidup dalam arti reaksi yang dihasilkan terhadap ranah kuantitatif yang sama (Connell & Miller 1995). Tanggapan terhadap pencemaran akan berbeda sesuai hubungan antara pengaruh pencemaran tersebut dengan dosis yang diberikan sehingga kunci utama dalam fungsi dose-response adalah keberadaan dari ambang batas, kemiringan fungsi dose-response dan kurva dose-response (Dickie dalam Spash & McNally 2001).

Lebih lanjut dikatakan bahwa sampai dengan tahun 1950-an prinsip dasar toksikologi adalah bahwa semua toksikan memiliki ambang batas, berdasarkan ide bahwa racun akan dinetralisir oleh mekanisme pertahanan alam sebelum menyebabkan efek toxic (keracunan). Pemikiran saat ini adalah sebagian besar toksikan memiliki ambang batas namun konsep ambang batas tidak dapat diterapkan pada zat yang bersifat *carcinogen* dan *mutagen* (Dickie dalam Spash & McNally 2001).

Adanya ambang batas bagi toksikan merupakan bagian dari kemampuan lingkungan atau ekosistem dalam mempertahankan keseimbangan terhadap gangguan yang masuk ke dalam ekosistem tersebut. Keadaan di mana pengaruh dari toksikan tidak menimbulkan kerusakan lingkungan disebut keadaan homeostatis. Homeostatis merupakan istilah yang diterapkan kepada kecenderungan sistem-sistem biologi untuk bertahan terhadap perubahan-perubahan dan tetap berada di dalam keadaan keseimbangan. Keseimbangan tersebut terjadi karena adanya daya tampung lingkungan yang ditentukan oleh daya adaptasi unsur-unsur dalam ekosistem tersebut. Gangguan terhadap ekosistem melampaui daya adaptasi lingkungan akan merusak lingkungan tersebut (Soemarwoto 2001, Odum 1993).

Respons yang dihasilkan akan berbeda untuk penambahan dosis dari zat pencemar. Untuk waktu kontak yang sama penambahan dosis zat pencemar akan

menyebabkan meningkatnya jumlah penanggap (Connell & Miller 1995). Di samping itu, penambahan dosis zat pencemar juga akan menggeser pengaruh zat pencemar pada penanggap. Dengan kata lain jumlah pencemaran yang meningkat akan menyebabkan meningkatnya penduduk yang terkena dampak dan pengaruhnya juga akan meningkat misalnya dari yang subletal ke letal.

Fungsi dose-response yang digunakan untuk mengestimasi dampak pencemaran pada kesehatan akan dipengaruhi oleh kondisi iklim, sosial budaya dari suatu wilayah. Ostro (1994), dalam mengembangkan fungsi dose-response untuk pengukuran dampak kesehatan dan nilai ekonomi akibat polutan di Jakarta menyatakan bahwa fungsi dose-response atau fungsi dosis tanggapan dikembangkan di Amerika Serikat dan negara maju lainnya memiliki asumsi yang berbeda.

Dengan demikian untuk dapat digunakan di Indonesia beberapa penyesuaian harus dilakukan. Tidak tersedianya data menyebabkan beberapa asumsi tersebut di langgar. Sebagai contoh masyarakat di Amerika Serikat meluangkan sebagian besar waktunya di dalam ruangan (*in-door*), sedangkan di Indonesia atau pada umumnya negara tropis meluangkan lebih banyak waktunya di luar ruangan (*out-door*). Hal ini menyebabkan asumsi yang digunakan tidak sepenuhnya tepat, sehingga estimasi yang dilakukan lebih rendah (*under estimate*) dari yang seharusnya.

Sekalipun demikian, fungsi dosis tanggapan yang dikembangkan oleh Ostro (1994) merupakan rujukan dalam mengestimasi dampak kesehatan dan nilai ekonomi untuk negara tropis atau negara berkembang, karena penelitian untuk memperoleh fungsi dose-response yang sesuai dengan kondisi negara tersebut belum ada. Dengan estimasi yang lebih rendah dari yang seharusnya tersebut, hasil penelitian menyatakan bahwa secara sosial maupun ekonomi, masyarakat Jakarta mengalami kerugian yang sangat besar (Ostro 1994; Syahril *et al.* 2002).

Manfaat bersih merupakan selisih antara biaya degradasi dan manfaat ekonomi yang diperoleh dari peningkatan kendaraan bermotor. Selisih nilai ini merupakan nilai dari lingkungan tersebut (Fauzi, 2004). Karena itu, nilai manfaat bersih akan meningkat apabila terjadi penurunan biaya degradasi.

Nilai kerusakan lingkungan akibat degradasi kualitas udara merupakan nilai kerusakan yang terjadi dimasa mendatang. Karena itu, nilai ekonomi dari kerusakan lingkungan tersebut menyangkut nilai moneter dimasa mendatang. Untuk menentukan nilai dari lingkungan akibat kerusakan lingkungan tersebut maka nilai manfaat bersih diberikan dalam bentuk *present value* atau *present discounted value* dari manfaat bersih atau *present value* dari *net benefit* atau NPV (Sanim 2004; Fauzi 2004; Field & Field 2002). Formulasi *present value* tersebut diberikan sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=\infty} [B(Q(t)) - D(Z(t))]e^{-\delta t} \quad (2.5)$$

Di mana:

$Q(t)$	hasil proses produksi pada waktu $t$ ,
$Z(t)$	akumulasi pencemaran,
$B[Q(t)]$	manfaat ekonomi,
$D[Z(t)]$	nilai ekonomi kerusakan akibat pencemaran atau biaya degradasi lingkungan.
$\delta$	<i>discount rate</i> .

#### 2.4 Analisis Multi Kriteria

Analisis multi kriteria atau *multiple criteria decision analysis* (MCDA) atau *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) merupakan suatu terminologi payung untuk menjelaskan kumpulan dari pendekatan-pendekatan yang mencari solusi suatu permasalahan yang berkaitan dengan berbagai kriteria (Belton & Steward 2002). Karena melibatkan berbagai kriteria maka pembobotan menjadi sangat penting (Fauzi 2005). Pemberian bobot untuk kriteria-kriteria dengan MCDA dapat dilakukan secara transparan sehingga akan memperkecil tingkat subyektivitas dari peneliti.

2005). Pemberian bobot untuk kriteria-kriteria dengan MCDA dapat dilakukan secara transparan sehingga akan memperkecil tingkat subyektivitas dari peneliti.

Selain melibatkan kriteria, MCDM juga melibatkan pilihan alternatif terbaik dengan mempertimbangkan setiap kriteria dari alternatif tersebut, yang diberikan dalam bentuk Matrik Keputusan pada Tabel 2. Di mana  $W_i$  merupakan bobot untuk masing-masing kriteria.

Tabel 2 Matriks Keputusan

Alternatif	Kriteria-1 $W_1$	Kriteria-2 $W_2$	.....	Kriteria-n $W_n$
Alternatif-1	$a_{11}$	$a_{12}$	..	$a_{1n}$
Alternatif-2	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$
.....	...	...	...	...
Alternatif-m	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$

Proses analisis keputusan terdiri atas empat tahapan yang diberikan dalam bentuk *value tree analysis* (Dietrich & Hamalainen 2005).

1. Strukturisasi Permasalahan.  
Pada tahap ini dilakukan identifikasi dan strukturisasi permasalahan, menentukan objektif, membangun model dan menentukan atribut dari masing-masing alternatif.
2. Pemilihan preferensi (*Preference elicitation*).  
Tahapan ini bertujuan untuk mengukur dan mengestimasi preferensi dari pengambil keputusan terhadap kumpulan objektif.
3. Rekomendasi Keputusan.
4. Analisis sensitivitas dari keputusan.  
Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui sejauh mana perubahan yang dilakukan dalam model akan mengubah rekomendasi keputusan yang dibuat.

Penentuan alternatif dilakukan berdasarkan tiga pilar pembangunan berkelanjutan yaitu, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Dengan kondisi saat ini atau

untuk masing-masing kriteria didasarkan pada alasan politis (Hermanides & Nijkamp 1997).

Pada dasarnya analisis keputusan MCDM menggunakan Prime adalah menentukan keputusan terbaik menggunakan program linier dengan memberikan bobot terhadap kriteria atau atribut dari masing-masing tujuan yang akan dicapai. Beberapa pendekatan digunakan untuk menentukan prioritas alternatif yang dinyatakan dalam bentuk kriteria-kriteria yang diberikan, diantaranya metode *Weight Sum Model* (WSM), *Weighted Product Model* (WPM) dan *Preference ratios in Multiattribute Evaluation* (PRIME). Metode WSM menghitung nilai preferensi dari masing-masing alternatif dengan rumus berikut (Fauzi 2005; Triantaphyllou & Sanchez 1997):

$$P_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} W_j, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m \quad (2.6)$$

Di mana  $P_i$  adalah preferensi dari alternatif ke  $i$ .

Karena itu alternatif terbaik adalah alternatif dengan nilai preferensi tertinggi.

Metode WPM menggunakan rasio atau perbandingan antara alternatif untuk menentukan alternatif terbaik. Setiap alternatif dibandingkan dengan alternatif lainnya dengan mengalikan rasio dari kriteria tersebut, diberikan dalam bentuk rumus berikut (Fauzi 2005; Triantaphyllou & Sanchez 1997):

$$R \left( \frac{A_p}{A_q} \right) = \prod_{j=1}^n \left( \frac{a_{pj}}{a_{qj}} \right)^{w_j} \quad (2.7)$$

Jika rasio  $R(A_p/A_q)$  lebih besar dari satu maka alternatif  $A_p$  lebih baik dari  $A_q$ , untuk kasus maksimal. Alternatif terbaik adalah alternatif yang lebih baik atau paling tidak sama dengan alternatif lainnya.

Dalam metode PRIME preferensi diasumsikan sebagai nilai alternatif yang merupakan penjumlahan dari nilai masing-masing atributnya, yang diberikan dalam bentuk rumus berikut (Salo & Hamalainen 1997; Fauzi 2005; Gustafsson *et al.* 2005).

$$V(x) = \sum_{i=1}^N v_i(x_i) \quad (2.8)$$

Di mana  $x_i$  adalah tingkat pencapaian (*achievement level*) dari alternatif ke  $x_i$  dan  $v_i(x_i)$  adalah nilai atribut ke- $i$  yang berhubungan dengan tingkat pencapaian  $x_i$ . Karena itu, penentuan preferensi dalam PRIME terdiri atas dua tahap yaitu menentukan nilai pilihan dan bobot pilihan.

Untuk setiap atribut nilai informasi ditentukan melalui cara berikut;

1. Identifikasi tingkat pencapaian yang terendah dan yang tertinggi,  $x_i^0$  dan  $x_i^*$ .
2. Melakukan *ordinal ranking* dari tingkat pencapaian lainnya. Ordinal ranking dari tingkat pencapaian menentukan perbedaan nilai yang positif dari tingkat pencapaian tersebut. Misalnya, jika  $x_i^j$  lebih di pilih dibandingkan  $x_i^k$  maka ketidaksamaan berikut ini

$$v_i(x_i^j) - v_i(x_i^k) > 0 \quad (2.9)$$

harus terpenuhi.

3. Setelah melakukan ranking dari *achievement level*, nilai informasi diperoleh melalui rasio perbedaan nilai dengan menggunakan nilai interval (*interval value*). Misalnya dengan menentukan batas bawah dan batas atas (L,U) dari rasio perbedaan nilai seperti yang diberikan dalam persamaan berikut:

$$L \leq \frac{v_i(x_i^j) - v_i(x_i^0)}{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)} \leq U \quad (2.10)$$

Penentuan bobot preferensi diawali dengan menentukan preferensi atribut yang dianggap paling penting dan memberikan nilai 100 untuk atribut tersebut. Kemudian menentukan *range* (L,U) dari nilai atribut lainnya sesuai dengan tingkat kepentingan dari atribut tersebut. Jadi, untuk setiap atribut diperoleh ketidaksamaan berikut:

$$\frac{L}{100} \leq \frac{w_i}{w_{ref}} \leq \frac{U}{100} \Leftrightarrow \frac{L}{100} \leq \frac{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)}{v_{ref}(x_{ref}^*) - v_{ref}(x_{ref}^0)} \leq \frac{U}{100} \quad (2.11)$$

MCDM menggunakan PRIME, preferensi dinyatakan dalam bentuk interval, karena ketidak lengkapan informasi dan sulitnya memperoleh preferensi yang tetap (Salo & Hamalainen 1997; Fauzi 2005). Dengan menetapkan batas atas dan batas bawah interval tersebut, maka persamaan di atas membentuk permasalahan program linier, dengan syarat batas tertentu. Hasil analisis kebijakan yang dilakukan dengan metode MCDA digunakan sebagai dasar untuk analisis kebijakan pengendalian pencemaran lebih lanjut.

## 2.5 Kebijakan Pengendalian Pencemaran

Sebagian besar kerusakan lingkungan disebabkan oleh aktivitas manusia atau antropogenik. Di lain sisi udara merupakan sumberdaya yang termasuk barang publik, dan seperti halnya barang publik lainnya maka masyarakat cenderung untuk mengekstraksi sumberdaya tersebut secara berlebihan. Hardin pada tahun 1968 dalam '*tragedy of the common*' menggambarkan kerusakan yang lebih besar akibat aktivitas manusia yang berkaitan dengan pemanfaatan barang publik secara berlebihan. Pesan moral yang disampaikan Hardin dalam '*tragedy of the common*' adalah bahwa setiap orang memiliki tanggungjawab (*responsibility*) dalam memanfaatkan barang publik sehingga tidak menimbulkan kerusakan yang lebih besar (Roberts 2004).

Dengan demikian adalah kewajiban pemerintah untuk melakukan perlindungan terhadap kerusakan barang publik dalam bentuk berbagai kebijakan yang dapat mengendalikan kerusakan lingkungan (Sanim, 2004). Karena sebagian besar kerusakan lingkungan bersifat antropogenik, maka mengubah perilaku manusia adalah pendekatan yang fundamental untuk mengatasi kerusakan lingkungan (Roberts 2004). Karena itu, tujuan dari suatu kebijakan lingkungan adalah untuk mengubah perilaku manusia agar aktivitas yang dilakukan tidak merusak lingkungan atau memperkecil kerusakan lingkungan.

Faktor jumlah penduduk mempunyai pengaruh pada dua hal, pertama sebagai faktor pemicu terjadinya pertumbuhan ekonomi dan sebagai korban terjadinya

eksternalitas dari pencemaran udara yang disebabkan oleh penggunaan kendaraan bermotor. Meningkatnya pendapatan menyebabkan tingginya mobilitas masyarakat baik untuk mobilisasi barang dan jasa karena aktivitas ekonomi maupun karena meningkatnya kualitas hidup. Sementara itu, meningkatnya kebutuhan masyarakat akan transportasi tidak didukung oleh fasilitas transportasi publik yang memadai. Hal tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan kendaraan, yang berakibat pada degradasi kualitas udara Jakarta (JICA 2003).

Emisi polutan dari sektor transportasi dipengaruhi oleh konsumsi bahan bakar dan faktor emisi (Pirngadie 2001). Faktor emisi merupakan suatu nilai rata-rata statistik besarnya suatu zat pencemar yang terlepas ke atmosfer sebagai hasil suatu kegiatan. Faktor emisi bergantung pada jenis bahan bakar dan performa mesin. Sedangkan, konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh volume kendaraan, kecepatan rata-rata, jarak tempuh, dan kondisi kendaraan (Field & Field 2002; Pirngadie 2001). Karena itu, upaya untuk mereduksi emisi dari kendaraan bermotor dilakukan dengan melakukan pengendalian terhadap variabel-variabel yang mempengaruhi faktor emisi dan konsumsi bahan bakar.

Kebijakan pengendalian pencemaran pada umumnya menggunakan instrumen yang berbasis pasar (*market-based*) biasa digunakan juga instrumen insentif dan/atau berupa perintah dan pengendalian (*command and control/CAC*). CAC dilakukan menggunakan pengaturan administratif dan perundang-undangan yang terkait langsung dengan jumlah pencemaran yang diperbolehkan dan dengan teknologi yang digunakan oleh industri.

Dalam kebijakan pengendalian pencemaran dari kendaraan bermotor kebijakan CAC sangat digemari pemerintah disebabkan oleh mudah dan murah nya pelaksanaan dari kebijakan tersebut terutama jika kegiatan untuk memonitor emisi dari kendaraan tidak perlu dilakukan, sehingga secara politis mudah diterima. Di sisi lain penggunaan instrumen ekonomi dalam kebijakan lingkungan merupakan instrumen yang dapat mereduksi emisi kendaraan secara efektif dan menghasilkan revenue memiliki hambatan politis (Field & Field 2002).

Amerika Serikat dan negara-negara Eropa tidak menggunakan kebijakan pajak untuk tujuan pengurangan emisi, contoh pajak BBM, sekalipun dampak dari penggunaan pajak ini akan mengubah perilaku yang berakibat pada menurunnya emisi (Beltran 1996; Fullerton 2001). Untuk tujuan pengurangan emisi Amerika Serikat menggunakan kebijakan penetapan standar bagi produsen BBM dan standar emisi untuk produsen kendaraan.

Beberapa alasan yang menjadi dasar digunakan pajak lingkungan yaitu: instrumen ini paling efektif dalam menginternalisasi eksternalitas; dapat memberikan insentif untuk konsumen ataupun produsen untuk melakukan perubahan perilaku yang lebih efisien dalam menggunakan sumberdaya; dapat meningkatkan pendapatan yang dapat digunakan untuk biaya perbaikan lingkungan, sebagai alat yang efektif untuk mengatasi polusi dari sumber bergerak, dari sektor transportasi yang tidak dapat diatasi oleh kebijakan CAC (Beltran 1996; O'Connor 1996).

Pengendalian pencemaran melalui instrumen insentif terdiri dari penggunaan pajak polusi dan subsidi untuk abatemen, kebijakan ini disebut *Pigouvian Solution*. Pajak Pigouvian dikenakan pada polutan itu sendiri, yang besarnya sama dengan nilai marjinal kerusakan lingkungan atau *marginal environmental damage* = MED. Sedangkan, subsidi untuk abatemen adalah kebijakan di mana pemerintah memberikan subsidi untuk perusahaan misalnya agar dapat menurunkan tingkat polusi yang dihasilkan. Kedua jenis instrumen ini memiliki tingkat efisiensi yang terbaik dalam menangani polusi (Field & Field 2002; Fullerton 2001).

Tujuan dari instrumen pajak adalah untuk mengubah perilaku yang merusak lingkungan (Beltran 1996; Fullerton 2000; O'Connor 1996). Besarnya pajak ditentukan dari besarnya polutan, sehingga dibutuhkan alat yang dapat memonitor emisi dari suatu kegiatan. Pada sektor industri dapat dipasang alat yang memonitor emisi dari kegiatan industri tersebut, sehingga besarnya polusi dapat diduga. Cara lain yang ditempuh untuk mengukur polusi dari sektor industri adalah dengan mengestimasi besarnya polutan yang dihasilkan dari bahan bakar yang digunakan.

Dengan demikian, penggunaan pajak Pigouvian pada sektor industri dapat ditentukan (Field & Field 2002; Fullerton 2001).

Besarnya pajak polusi dapat ditentukan dengan mengestimasi biaya yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan perbaikan lingkungan (Beltran 1996). Contoh dari cara ini adalah pajak NO<sub>x</sub> di Swedia, pajak sampah beracun di Jerman, dan pajak BBM untuk *Oil Spill Liability Trust Fund and Superfund* di Amerika Serikat (Beltran 1996; Fullerton 2000).

Jenis pajak lainnya adalah pajak yang didisain untuk meningkatkan pendapatan negara contoh pajak CO<sub>2</sub> di Norwegia. Tujuan dari pajak ini tetap untuk mengubah perilaku yang merusak lingkungan, namun revenu dari pajak ini sebagian digunakan untuk hal lain misalnya menutupi defisit dari anggaran. Di samping itu, Swedia menggunakan pajak lingkungan dalam mengatasi hujan asam yang berdampak pada meningkatnya PDB dan tingkat pengangguran menurun, jika pajak diterapkan pada emisi SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan PM<sub>10</sub> dibandingkan dengan penggunaan BME (Menz & Seip. 2004).

Pada sektor transportasi besarnya polutan yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor sulit untuk ditentukan. Hal ini mengingat alat untuk memonitor besarnya emisi kendaraan belum tersedia ataupun jika telah tersedia maka biayanya akan mahal, sehingga tidak *cost-effective* (Fullerton & West 2002; Fullerton & Wolverton 2005). Namun demikian, apabila pajak emisi dapat diadakan maka besar pajak tersebut akan mempengaruhi masyarakat untuk memiliki kendaraan yang baru, yang lebih efisien dalam penggunaan BBM, menggunakan kualitas BBM yang lebih bersih, dan mengendarai kendaraan lebih sedikit (Feng *et al.* 2005). Tanpa kehadiran pajak emisi maka pajak pada BBM yang diterapkan pada pengguna kendaraan merupakan instrumen yang paling efektif untuk menurunkan emisi dari kendaraan (Fullerton & Gan 2005).

Amerika Serikat tidak menggunakan *Pigouvian-tax* dalam menentukan pajak BBM, tetapi kebijakan pajak ini tetap disebut sebagai kebijakan lingkungan bukan karena pajak ini menyebabkan menurunnya tingkat polusi tetapi karena dampak dari

penerapan pajak tersebut mengubah perilaku pengendara atau pemilik kendaraan yang berhasil menurunkan tingkat polusi dari kendaraan bermotor (Fullerton 2001). Penentuan besarnya pajak BBM untuk sektor transportasi tidak dapat diperhitungkan dari besarnya jumlah BBM yang dibutuhkan oleh kendaraan, karena emisi dari kendaraan juga bergantung pada umur kendaraan dan kondisi perawatan kendaraan (Pirngadie 2001; Fullerton & West 2002; Lvovsky *et al.* 2002).

Di samping itu, pencemaran udara dari kendaraan bermotor yang terjadi di wilayah perkotaan akan berbeda dibandingkan dengan di wilayah yang kurang jumlah penduduknya. Sedangkan, besarnya pajak BBM harus bersifat nasional untuk mempermudah pengadministrasian pajak tersebut. Oleh karena itu, besarnya pajak BBM juga harus memperhitungkan keadilan pada seluruh anggota masyarakat atau prinsip *equity* (Fullerton 2001; Field & Field 2002).

Untuk sektor transportasi pajak BBM menghasilkan tingkat efisien 62 persen dari tingkat efisiensi pajak Pigouvian, sedangkan kombinasi antara pajak BBM dan subsidi untuk mobil baru menghasilkan tingkat efisien 71 persen (Fullerton & West 2002). Pajak BBM yang hanya bergantung pada kualitas BBM, besarnya pajak yang seragam pada jenis ukuran kendaraan, dan subsidi untuk penggunaan alat pengontrol polusi (*pollution control equipment* = PCE) kombinasi instrumen insentif ini menghasil kebijakan lingkungan terbaik (Fullerton & West 2002).

Secara politis kebijakan CAC lebih mudah di terima dibandingkan kebijakan pajak atau subsidi. Hal ini, mungkin disebabkan oleh biaya yang dibebankan untuk pelaksanaan suatu kebijakan CAC tidak secara eksplisit ditetapkan. Sedangkan penggunaan kebijakan subsidi misalnya akan menggunakan revenue yang diperoleh dari pajak lain.

Ditinjau dari biaya abatement yang dibutuhkan menggunakan kebijakan standar antara 6 sampai 10 kali lebih besar dari biaya abatement yang dibutuhkan menggunakan pajak emisi (Feng *et al.* 2005; Fullerton 2001). Sekalipun demikian, apabila ditinjau dari segi kemudahan pengawasan dan penegakan kebijakan, CAC jauh lebih mudah dikelola dibandingkan dengan kebijakan *market-based*.

---

Pengendalian pencemaran melalui faktor emisi dilakukan melalui kebijakan standar emisi kendaraan dan kualitas bahan bakar, keduanya merupakan kebijakan nasional yang berupa *command and control*. Amerika Serikat misalnya, menetapkan kebijakan standar emisi bagi kendaraan diesel besar (*heavy-duty*), yang dapat mereduksi tingkat emisi PM sampai 90 persen, diberlakukan pada tahun 2007. Sedangkan untuk kendaraan penumpang, bus dan truk kecil standar emisi untuk kendaraan ini sama dengan standar emisi kendaraan yang menggunakan bensin, diberlakukan pada tahun 2004. Negara-negara Eropa, menggunakan kebijakan pengembangan teknologi pada bahan bakar minyak yang rendah sulfur (El-Fadel *et al.* 2004).

Negara maju seperti Amerika Serikat dan Eropa menggunakan kebijakan standar emisi baik untuk perbaikan performa mesin kendaraan ataupun perbaikan kualitas bahan bakar minyak. Untuk mengatasi pencemaran dari kendaraan diesel yang sedang beroperasi di Jepang, diusulkan penggunaan alat filter yang dipasang pada kendaraan tersebut. Dalam wilayah tertentu sejumlah 20,308 kendaraan yang harus dipasang alat pengontrol, sehingga 430 ton PM<sub>10</sub> diestimasi direduksi per tahun (Oka *et al.* 2005).

Pengendalian pencemaran dari kendaraan diesel, kota Beirut, Libanon, dilakukan dengan pelarangan impor kendaraan diesel untuk bus dan truk kecil, serta pelarangan penggunaan mesin diesel pada kendaraan penumpang yang mulai diberlakukan pada tahun 2002. Kebijakan pelarangan penggunaan kendaraan bermesin diesel di Beirut ini dapat mereduksi tingkat emisi rata-rata sebesar 49.7 persen dan diharapkan memperoleh benefit dari dampak sosial-ekonomi sebesar 1 persen dari PDB (El-Fadel *et al.* 2004).

Lvovsky *et al.* 2000, menawarkan beberapa opsi dalam penanggulangan pencemaran udara dari kendaraan bermesin diesel antara lain memperketat regulasi standar emisi pada pengusaha otomotif, sehingga dengan meningkatnya biaya produksi akan otomatis meningkatkan harga jual kendaraan tersebut. Berikutnya adalah pembebanan pajak yang lebih tinggi pada kendaraan diesel kecil dibandingkan

dengan kendaraan yang sama dengan bahan bakar bensin. Hal ini dapat dilakukan dengan langsung membebaskan pajak pada kendaraan yang bermesin diesel.

Pengendalian pencemaran udara melalui pembatasan volume kendaraan biasanya merupakan kebijakan lokal dalam suatu wilayah tertentu. Kebijakan tersebut dapat berbentuk kebijakan *command and control* ataupun dengan menggunakan instrumen ekonomi.

Cambridge, Inggris, menggunakan kebijakan pelarangan penggunaan kendaraan pribadi untuk memasuki pusat kota serta pelarang parkir pada wilayah pejalan-kaki (*pedestrian*). Pengelola kota Curitiba mengintegrasikan sistem transportasi publik dan pemanfaatan lahan (*land use*), sehingga akses terhadap pusat-pusat aktivitas dapat dijangkau oleh masyarakat yang berpenghasilan rendah yang berdomisili di pinggiran kota. Hal tersebut menyebabkan penggunaan bahan bakar untuk transportasi menurun sehingga polusi udara dapat dikendalikan (Smith & Raemaekers 1998). Menggunakan kombinasi tata ruang kota dan infrastruktur transportasi publik, memungkinkan kebijakan tersebut dapat terlaksana.

Singapore, menggunakan '*Electronic Road Pricing*' untuk memasuki wilayah tertentu di pusat kota, yang berhasil menurunkan tingkat kemacetan 75 persen (Field & Field 2002, Loukopoulos *et al.* 2005 ). Nigeria mengusulkan kombinasi kebijakan CAC dan instrumen ekonomi untuk mereduksi emisi kendaraan. Kebijakan CAC diarahkan untuk meningkatkan penggunaan transportasi publik, sedang kebijakan ekonomi dimaksudkan untuk menurunkan minat masyarakat dalam memiliki kendaraan pribadi antara lain melalui peningkatan pajak kepemilikan kendaraan berdasarkan jarak tempuh dalam setahun, umur kendaraan, dan jenis BBM yang digunakan (Orubu 2004).

Pada dasarnya masalah yang dihadapi oleh kota-kota besar yang berkaitan dengan penggunaan kendaraan bermotor menyangkut 2 hal, yaitu, tingkat polusi udara dan kemacetan lalu-lintas. Inggris menawarkan kombinasi kebijakan penurunan emisi kendaraan dengan berbagai kebijakan perbaikan teknologi serta kebijakan penurunan penggunaan kendaraan untuk mengatasi kemacetan lalu lintas. Penelitian

tentang kedua jenis kebijakan ini memberikan informasi bahwa *marginal-cost* atau *external-cost* yang dibeban pada masyarakat, dari kemacetan lalu lintas jauh lebih besar dari polusi udara dari kendaraan bermotor (Bregg & Gray 2004).

Penggunaan kendaraan bermotor menyangkut perilaku masyarakat, masyarakat di kota Gouthenburg, Swedia, lebih negatif pada kebijakan '*road pricing*' dibandingkan dengan kebijakan pelarangan penggunaan kendaraan lainnya (Loukopoulos *et al.* 2005). Kota Perth, Australia, menggunakan pendekatan pemberian informasi untuk penggunaan alternatif sarana transportasi yang dapat menurunkan penggunaan kendaraan pribadi. Diperoleh hasil bahwa masyarakat percaya bahwa perjalanan yang sama menggunakan transportasi alternatif akan meningkatkan waktu perjalanan 2 kali lebih lama dan meningkatkan biaya perjalanan (*travel cost*) 1/3 lebih banyak. Meningkatnya *travel-cost* ini ternyata tidak mempengaruhi perilaku masyarakat Swedia yang peduli terhadap lingkungan.

Negara-negara ASEAN seperti Malaysia dan Thailand, menetapkan regulasi lingkungan dengan menetapkan standar teknologi pada kendaraan. Dalam memproduksi mobil yang berasal dari teknologi negara lain standar emisi dari kendaraan tersebut lebih tinggi atau paling tidak sama dengan negara asalnya (Iwami 2001).

Indonesia memiliki Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 141 tahun 2003, tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi, yang menyatakan bahwa standar Euro2 akan diterapkan mulai Januari 2005 untuk kendaraan tipe baru dan Januari 2007 untuk kendaraan tipe produksi yang sudah beredar. Indonesia tidak mengembangkan sendiri standar emisi kendaraan, karena dalam pengembangan standar emisi membutuhkan waktu penelitian yang panjang dan pembiayaan yang besar. Karena itu diadopsi standar dan prosedur tes yang telah digunakan secara internasional (Tamin & Rachmatunisa 2007).

Standar emisi Euro2 telah digunakan oleh beberapa negara ASEAN seperti Malaysia, Singapore, dan Thailand sejak tahun 2000. Berkaitan dengan perdagangan

bebas, pemerintah menghimbau pengusaha otomotif untuk menggunakan standar emisi yang digunakan oleh negara lain untuk mendorong ekspor kendaraan yang diproduksi Indonesia (Tamin & Rachmatunisa 2007). Jadi untuk kendaraan produksi baru kebijakan BME Euro2 telah dapat dilaksanakan sehingga permasalahan meningkatnya meningkatnya polusi udara dari kendaraan bermotor karena BME Euro2 belum dapat dilaksanakan untuk kendaraan lama.

Di samping itu kebijakan BME seperti pada kebijakan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 141 tahun 2003 adalah kebijakan *command and control* (CAC). Efektivitas kebijakan CAC sangat ditentukan oleh sistem kontrol dan kemampuan teknik staf pelaksana (SDM) dalam melakukan monitor terhadap pelaksanaannya (Iwami 2001). Wirahadikusumah (2002) menambahkan bahwa selain kendala SDM tidak berjalannya regulasi pengendalian pencemaran di Jakarta dihadapkan pada kendala pendanaan dan peralatan. Dalam hal kebijakan CAC membutuhkan pendanaan tinggi untuk melakukan pengawasan emisi total dari kendaraan.

Indonesia telah memiliki rancang Undang-undang Nomor 34 Tahun 2000, yang mengatur tentang Pajak dan Restribusi Daerah. Pada rancangan Undang-undang tersebut telah diakomodasi adanya pajak bahan bakar kendaraan bermotor, yang merupakan pajak provinsi. Namun, penggunaan pajak pada negara berkembang pada umumnya adalah sebagai pendapatan daerah, bukan untuk perbaikan lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan bahan bakar (Lvovsky *et al.* 2000). Karena itu, tidak diperoleh biaya abatemen kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan bahan bakar tersebut.

Jakarta telah membangun sistem transportasi umum dengan menggunakan bis cepat (*bus way*) yang beroperasi sejak tahun 2004. Disamping itu, juga telah diterapkan penggunaan bahan bakar gas pada kendaraan bis 'trans-Jakarta' atau 'bus-way'. Namun, pengembangan sistem transportasi umum tersebut belum dapat mengubah perilaku masyarakat untuk beralih dari penggunaan kendaraan pribadi ke penggunaan kendaraan umum. Hal ini dapat disebabkan karena belum semua pusat-

pusat aktivitas ekonomi dapat diakses dengan sarana transportasi yang dibangun atau belum terintegrasinya sistem transportasi antara Jakarta dan wilayah sekitarnya sehingga masyarakat yang berdomisili di pinggir kota Jakarta lebih mudah dan murah menggunakan kendaraan pribadi.

Kebijakan lain yang telah ditetapkan adalah Peraturan Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 2 Tahun 2005 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, yang mewajibkan setiap kendaraan melakukan uji emisi yang menjadi persyaratan dalam pembayaran pajak kendaraan. Belum berjalannya kebijakan ini karena kebijakan CAC pada dasarnya sangat bergantung pada pengawasan yang ketat. Sedangkan pengawasan emisi kendaraan membutuhkan pendanaan yang tinggi. Tingginya biaya pengawasan dalam pengelolaan kebijakan standar emisi (CAC) untuk pengendalian pencemaran dari kendaraan bermotor menyebabkan penggunaan instrumen ekonomi dianggap lebih efisien.

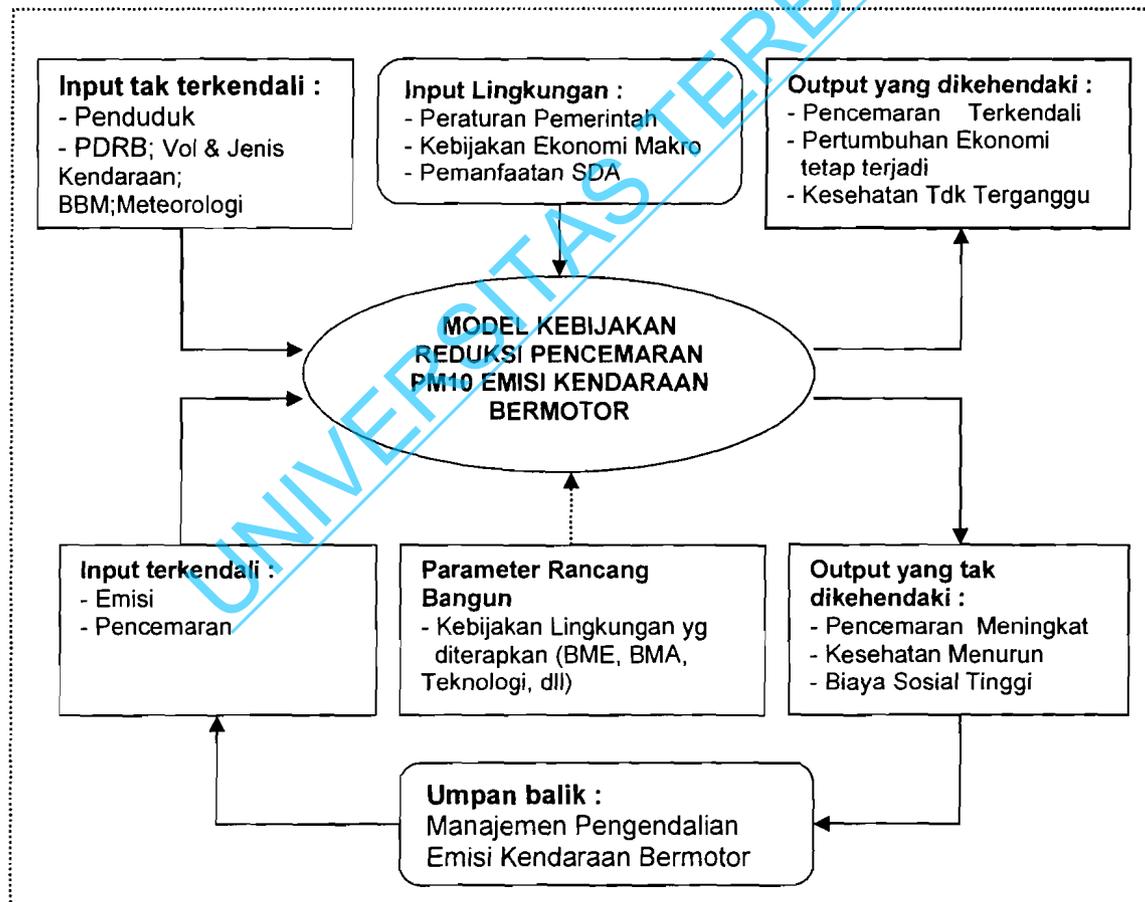
Jadi dapat disimpulkan bahwa berbagai jenis kebijakan lingkungan yang telah diterapkan di berbagai negara harus dapat mengubah perilaku masyarakat untuk dapat melakukan aktivitas yang tidak menambah kerusakan lingkungan. Mengubah perilaku tersebut dapat dilakukan melalui kebijakan CAC dengan memperketat pengawasan terhadap pelaksanaan kebijakan tersebut atau dengan menggunakan instrumen ekonomi di mana masyarakat akan mengubah perilakunya karena pertimbangan meningkatnya pengeluaran.

Namun perlu diperhatikan bahwa apabila pendapatan negara bukan menjadi masalah maka kebijakan standar emisi dapat mereduksi tingkat polusi sama dengan kebijakan instrumen ekonomi (Fullerton 2001). Sedangkan, Indonesia masih tergolong pada negara yang berpendapatan rendah, sehingga dibutuhkan instrumen kebijakan yang juga dapat meningkatkan pendapatan negara.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Kerangka Pemikiran Pelaksanaan Penelitian

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 (Eriyarno 2003). Variabel-variabel yang saling berinteraksi dalam sistem diberikan dalam kerangka pemikiran pelaksanaan penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1 Kerangka Pemikiran Penelitian

Gambar 1 memberikan hubungan antara variabel eksogen yang akan mempengaruhi pencemaran udara yang akan berdampak pada perubahan variabel endogen dari model yang dikembangkan. Pengendalian pencemaran udara yang dilakukan akan menurunkan pencemaran yang terjadi melalui berbagai kebijakan lingkungan yang akan mempengaruhi variabel eksogen.

Untuk mencapai tujuan penelitian, model kebijakan dampak pencemaran  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor terdiri atas beberapa model yang dikembangkan untuk mendukung kebijakan yang dirumuskan. Analisis dampak emisi kendaraan terhadap kualitas udara ambien, terdiri atas sub-model emisi untuk mengestimasi emisi dan model dispersi untuk mengestimasi konsentrasi ambien. Sub-model untuk menentukan kualitas udara ambien di wilayah perkotaan membutuhkan adanya inventori emisi, maka sub-model emisi menggunakan tiga sumber emisi, yaitu sumber emisi domestik, industri, dan kendaraan bermotor.

Estimasi dampak sosial-ekonomi dan kerusakan lingkungan terdiri atas sub-model dampak pencemaran untuk menentukan besarnya dampak  $PM_{10}$  terhadap kesehatan serta nilai ekonominya, sub-model degradasi lingkungan untuk menentukan besarnya nilai ekonomi dari kerusakan lingkungan, sub-model untuk menentukan manfaat bersih (*net benefit*), dan model untuk menentukan *net present value* dari *net benefit*.

Empat skenario didisain untuk menganalisis perubahan variabel endogen. Skenario tersebut adalah skenario BAU, skenario euro2, skenario diesel, dan skenario volume. Keempat skenario tersebut akan menjadi kriteria dalam pemodelan kebijakan lebih lanjut.

Model-model yang dikembangkan di atas menggunakan sistem dinamis. Hasil model dinamis tersebut digunakan untuk mengembangkan model untuk menganalisis kebijakan lingkungan menggunakan metode MCDA. Berdasarkan hasil analisis dari model dinamis, analisis kebijakan menggunakan MCDA, dan analisis literatur kebijakan lingkungan yang ada, dirumuskan kebijakan lingkungan untuk pengendalian pencemaran  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor. Hubungan antara variabel-variabel dalam model diberikan dalam bentuk diagram alir model pada Gambar 2.



### 3.2 Data yang Digunakan

Data penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber. Berikut ini adalah jenis dan sumber data yang digunakan dalam model, diberikan dalam bentuk Tabel 3.

Tabel 3 Data yang Digunakan

Model	Jenis Data	Sumber Data
Emisi Kendaraan	Populasi Kendaraan	BPS
	Matrik OD	AQ
	Faktor Emisi	Literatur
	Utilisasi Kendaraan	AQ
Emisi Domestik	Penduduk dan Luas Wilayah	BPS
	Faktor Emisi Domestik	AQ
Emisi Industri	PDRB	BPS
	Pemanfaatan Lahan Industri	BPS
	Dugaan Kandungan Industri	BPS
	Emisi Sumber Industri 1995	AQ
Konsentrasi	Baku Mutu Udara Ambien	Literatur
	Metereologi	BMG
Dampak Pencemaran	Biaya Kesehatan	AQ
	VSL	IIGHGER
	Tingkat Inflasi	BPS
	Upah Minimum Regional	Literatur
	Angka Kematian Kasar	BPS
	Tingkat Penderita Asma	BPS
	Statistik Penduduk	BPS
	Nilai Ekonomi	Dealer Toyota
	Interest rate	BPS

### 3.3 Metode Analisis

Secara garis besar metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### Metode back-of-the-envelope

Untuk melihat peran masing-masing faktor yang berpengaruh pada sistem yang dibangun digunakan metode *back-of-the-envelope*. Metode ini sebagian besar adalah analisis yang menggunakan statistika sederhana. Metode ini digunakan untuk menganalisis data penduduk, kendaraan, dan data meteorologi.

Metode statistika sederhana digunakan pula untuk menganalisis hubungan antara variabel endogen hasil model yang dikembangkan. Perangkat lunak yang digunakan adalah SPSS 13.0 for windows.

#### Sistem Dinamik

Penelitian ini menggunakan metode pemodelan sistem dinamik untuk menentukan interaksi antara variabel lingkungan, sosial dan ekonomi. Pemilihan model sistem dinamis didasarkan pada kebutuhan dari penelitian ini untuk menganalisis perubahan interaksi variabel-variabel tersebut terhadap waktu. Model sistem dinamis yang dikembangkan terdiri dari beberapa sub-model sebagai berikut:

1. Sub-model untuk menentukan pengaruh emisi terhadap degradasi kualitas udara disebut model emisi. Metode yang digunakan untuk menentukan besarnya estimasi emisi dari masing-masing sumber emisi adalah metode perbandingan dengan penelitian yang dilakukan oleh Syahril *et al.* 2002.
2. Sub-model kualitas udara untuk menentukan estimasi konsentrasi ambien  $PM_{10}$ . Metode yang digunakan adalah model Gaussian untuk wilayah perkotaan.
3. Sub-model dampak pencemaran menggunakan metode fungsi dose-response untuk mengestimasi dampak pencemaran pada kesehatan dan nilai kerusakan lingkungan akibat pencemaran  $PM_{10}$ .

Nilai-nilai yang diperoleh pada model sebelumnya digunakan untuk mengestimasi nilai-nilai kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan ekonomi untuk jangka waktu tertentu. Nilai estimasi tersebut diperlukan sebagai dasar untuk melakukan intervensi kebijakan agar kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan ekonomi dapat dikendalikan.

Sebagai alat untuk pemodelan sistem dinamik digunakan perangkat lunak VensimPLE32 Version 5.3. Perangkat lunak Vensim digunakan karena perangkat lunak ini lebih dapat mengakomodasi kebutuhan peneliti dalam mengembangkan model untuk penelitian ini.

#### Analisis Multi Kriteria

Penggunaan analisis multi kriteria dalam menentukan kebijakan lingkungan yang paling mungkin untuk diterapkan, karena alternatif kebijakan lingkungan memiliki berbagai kriteria dan pembobotan dari masing-masing kriteria dapat ditentukan lebih transparan. Penentuan bobot untuk masing-masing kriteria dengan cara tersebut bertujuan untuk memperkecil tingkat subjektivitas.

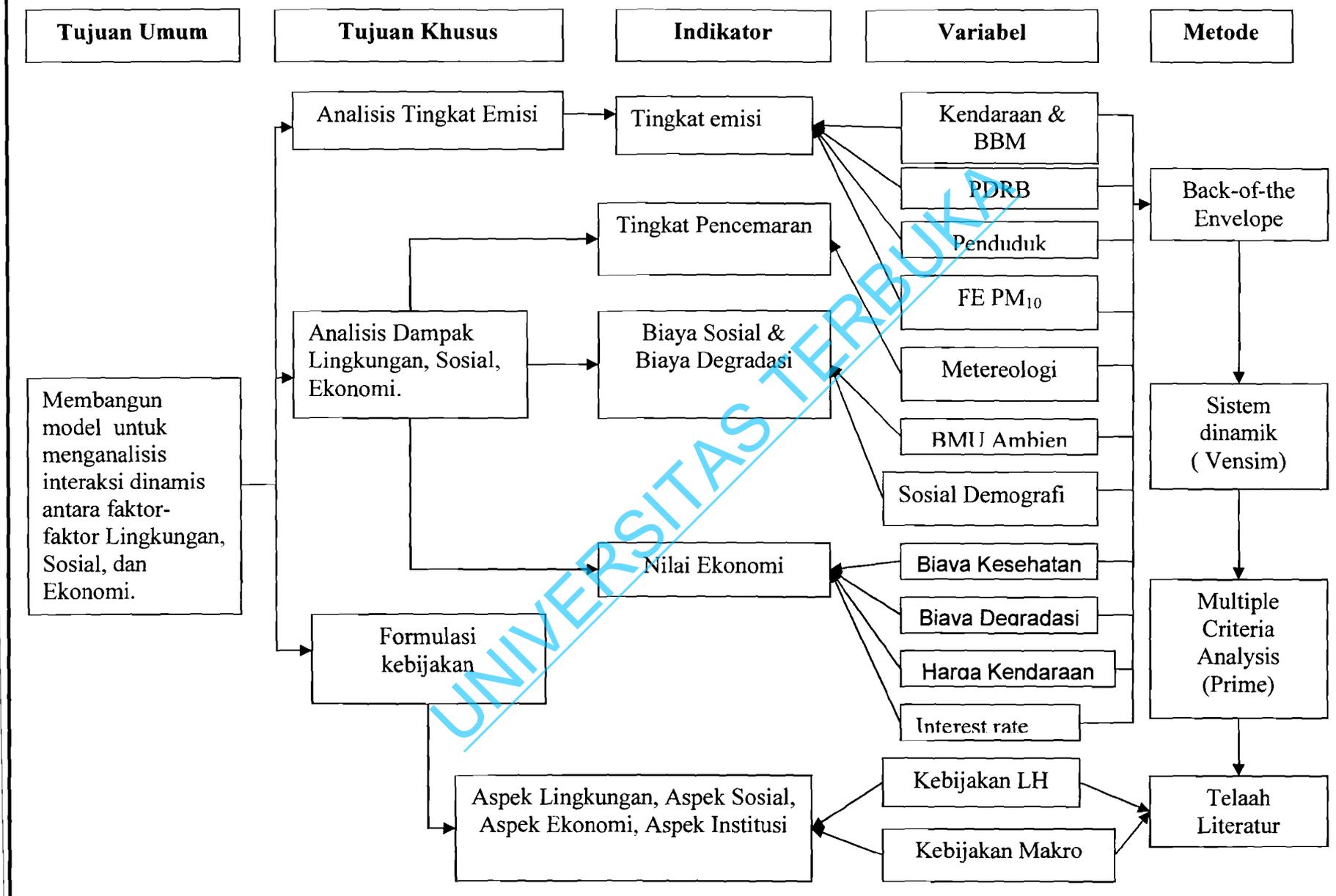
Kriteria yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kriteria yang bersifat kuantitatif dan kriteria yang bersifat kualitatif. Alat yang digunakan untuk menganalisis kebijakan lingkungan adalah perangkat lunak Prime Decision Version 1.03, karena perangkat lunak ini dapat mengakomodasi kriteria yang kuantitatif dan kriteria yang kualitatif.

Dalam penelitian ini kriteria institusi atau kelembagaan yang terdiri dari atribut pengelolaan dan pendanaan merupakan kriteria kualitatif. Penilaian atau pembobotan terhadap atribut dalam kriteria kualitatif tersebut didasarkan pada besarnya instansi atau unsur-unsur yang terlibat dalam pengelolaan kebijakan. Di samping itu, untuk membandingkan kebijakan *command and control* (CAC) dan instrumen ekonomi (IE) bobot atribut dari masing-masing kriteria didasarkan pada beberapa studi literatur.

#### Analisis Kebijakan

Berdasarkan hasil analisis dari sistem dinamik, MCDA dan studi literatur berbagai kebijakan lingkungan yang ada, dirumuskan kebijakan lingkungan. Variabel-variabel yang terkait dan metode analisis yang digunakan secara diagram diberikan pada Gambar 3. Peta penelitian ini merupakan panduan bagi peneliti dalam melakukan penelitian ini.

### Peta Penelitian



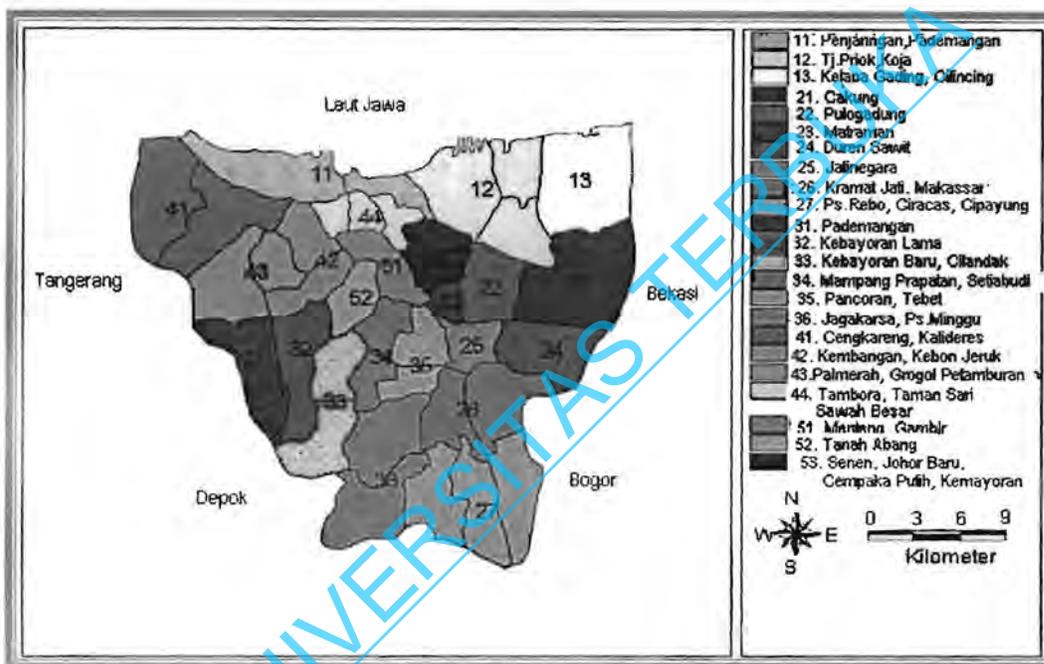
Gambar 3 Peta Penelitian

### 3.4 Pemodelan

#### 3.4.1 Estimasi Tingkat Emisi

##### Sistem Grid

Model kualitas udara wilayah perkotaan dilakukan dengan membagi wilayah perkotaan atas grid-grid. Pembagian grid wilayah Jakarta pada penelitian ini mengacu pada pembagian grid yang telah dikembangkan oleh Syahril *et al.* 2002.



Gambar 4 Peta Pembagian Grid Jakarta  
Sumber: Syahril *et al.* 2002

Wilayah Jakarta dibagi atas 23 grid dan pengkodean dari masing-masing grid untuk mempermudah pemodelan. Masing-masing grid akan mempunyai data emisi dari sumber emisi industri, domestik dan kendaraan bermotor. Informasi wilayah, luas dan jumlah penduduk pada masing-masing grid terlampir (Lampiran 1).

Untuk melakukan estimasi pencemaran  $PM_{10}$  pada masing-masing grid, maka semua sumber emisi diperhitungkan untuk setiap grid. Karena itu, secara menyeluruh sistem dinamis ini akan beroperasi berdasarkan grid.

Sumber emisi industri diestimasi berdasarkan besar emisi pada tahun 1995 dan perbandingan PDRB pada tahun  $t$  dan PDRB pada tahun 1995. Demikian pula dengan estimasi emisi dari sumber domestik pada tahun ke  $t$  mengacu pada emisi pada tahun 1995 dan jumlah penduduk pada tahun  $t$ .

Emisi kendaraan bermotor pada dasarnya dipengaruhi oleh jumlah kendaraan, rata-rata kilometer perjalanan dan faktor emisi (Field & Field, 2002; Purwanto, 2001). Volume kendaraan dalam hal ini menggunakan matrik OD yang telah dikembangkan oleh peneliti sebelumnya. Dalam penelitian sebelumnya (OD 1995) kategori kendaraan masih mengacu pada tiga jenis, yaitu kendaraan penumpang dan sepeda motor dijadikan dalam satu kelompok, kelompok truk dan kelompok bis (Lampiran 2). Dengan melakukan kalkulasi matematika sederhana, kelompok ini dijadikan menjadi 4 kelompok kategori kendaraan, yaitu kendaraan penumpang, truk, bis, dan sepeda motor, sesuai dengan kategori kendaraan yang ditetapkan oleh Ditlantas Polda Metro Jaya (Lampiran 7).

Masing-masing kelompok ini kemudian dibagi atas jenis kendaraan dan bahan bakar yang digunakan oleh masing-masing jenis kendaraan tersebut. Pembagian jenis kendaraan ini mengacu pada fraksi jenis kendaraan yang dilakukan pada penelitian sebelumnya (Lampiran 3).

Faktor emisi adalah suatu nilai rata-rata statistik besarnya suatu polutan yang terlepas ke atmosfer sebagai hasil suatu kegiatan, termasuk transportasi (Pirngadie 2001). Faktor emisi atau BME yang digunakan untuk menganalisis besarnya emisi adalah faktor emisi tidak terkontrol dan faktor emisi Euro2. Nilai faktor emisi untuk masing-masing kategori kendaraan diperoleh dari penelitian sebelumnya dan diberikan diberikan pada Lampiran 3.

### 3.4.2 Estimasi Tingkat Pencemaran

Model dispersi digunakan untuk menentukan konsentrasi polutan. Penelitian ini menggunakan model dispersi Gaussian untuk kasus khusus yang dikembangkan untuk wilayah perkotaan yaitu, sumber emisi pada permukaan ( $H = 0$ ), *receptor* pada level permukaan, dan konsentrasi pada titik pusat (*centerline concentrations*) atau  $y = 0$ . Konsentrasi polutan diestimasi untuk masing-masing grid menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{C} = \frac{(2/\pi)^{1/2} x^{(1-b)}}{a(1-b)\bar{u}} Q_a \quad (3.1)$$

di mana

$\bar{C}$  adalah estimasi konsentrasi ambien polutan PM<sub>10</sub> (μgr/m<sup>3</sup>).

$\bar{u}$  adalah kecepatan angin rata-rata (m/s).

$Q_a$  adalah emisi per satuan luas (ton/m<sup>2</sup>).

a dan b adalah parameter koefisien dispersi vertikal.

### 3.4.3 Estimasi Dampak Kesehatan

Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia dan nilai ekonomi dari kasus kesehatan diestimasi menggunakan fungsi dose-response yang dikembangkan untuk Jakarta oleh Ostro, 1994. Baku mutu udara ambien (BMA) PM<sub>10</sub> menggunakan BMA tahunan dari US-EPA. Data penduduk yang beresiko terkena serangan asma di olah dari data kependudukan BPS dan DepKes. Biaya kesehatan atau *cost of illness* (COI) diperoleh dengan menggunakan hasil survei Syahril *et al.* 2002, dengan penyesuaian tingkat inflasi.

Estimasi nilai ekonomi prematur mortalitas menggunakan *value of statistic Life* (VSL) hasil penelitian Susandi, 2004, dengan penyesuaian tingkat inflasi. Angka kematian kasar Jakarta diperoleh dari data proyeksi penduduk Jakarta.

Biaya non-kesehatan diestimasi dari total nilai kerusakan lingkungan dan biaya sosial, menggunakan perbandingan antara biaya sosial, keragaman non-kesehatan, dan total biaya kerusakan lingkungan yang dihasilkan dari penelitian oleh Lvovsky *et al.* 2000.

Fungsi dose-response dikembangkan oleh Ostro, 1994, untuk estimasi kasus kesehatan akibat polutan PM<sub>10</sub> diberikan sebagai berikut:

$$dHi = bi * Pi * dA \quad (3.2)$$

di mana:

$dHi$  jumlah kasus masalah kesehatan  $i$ ,

$bi$  kemiringan fungsi *dose-response*,

$Pi$  masyarakat yang memiliki resiko kesehatan dampak dari  $i$ ,

$dA$  perubahan level udara ambien untuk polutan tertentu di atas ketentuan WHO.

Sedangkan, untuk kasus prematur mortalitas akibat polutan  $PM_{10}$ , mengacu pada persamaan estimasi tingkat kasus kematian diberikan sebagai berikut:

$$dHi = bi * Pi * dA * CM \quad (3.3)$$

di mana,  $CM$  adalah *crude mortality rate* (angka kematian kasar) yang datanya diperoleh dari BPS. Kemiringan fungsi dose-response merupakan indikasi peningkatan masalah kesehatan yang disebabkan oleh meningkatnya satu unit dari polusi udara di atas ketentuan WHO atau BMA yang ada.

#### 3.4.4 Estimasi Biaya Sosial dan Biaya Degradasi

Estimasi nilai ekonomi untuk masalah kesehatan dihitung dengan rumus berikut:

$$TCi = Vi * dHi \quad (3.4)$$

Di mana:

$TCi$  adalah nilai ekonomi total dari masalah penyakit  $i$ , yang disebabkan oleh polutan  $PM_{10}$ .

$Vi$  adalah nilai masalah kesehatan  $i$  per unit kasus

$dHi$  adalah jumlah kasus masalah penyakit  $i$ .

Estimasi total biaya sosial:

$$dT = \sum Vi dHi \quad (3.5)$$

Biaya sosial akibat pencemaran mencakup 68 persen dari total biaya kerusakan, Lvovsky *et al.* 2000. Sedangkan nilai kerusakan non-kesehatan adalah 11 persen dari total biaya kerusakan. Estimasi biaya non-kesehatan diperoleh dari biaya sosial yang diperoleh dari persamaan sebelumnya.

Nilai ekonomi kerusakan lingkungan akibat polutan  $PM_{10}$  adalah:

$$\text{Biaya degradasi} = \text{Biaya Sosial} + \text{Biaya non-kesehatan} \quad (3.6)$$

Biaya dalam Juta Rupiah.

#### 3.4.5 Estimasi Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan

Kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh menurunnya kualitas lingkungan merupakan nilai kerusakan di masa mendatang, sehingga dihitung dengan nilai *present value* dari *net benefit* atau manfaat bersih (Sanim, 2004; Fauzi, 2004). Nilai *present value* dari manfaat bersih atau *net benefit present value*/NPV dihitung dengan persamaan berikut:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=\infty} [B(Q(t)) - D(Z(t))]e^{-\delta t} \quad (3.7)$$

di mana :

- $Q(t)$  hasil proses produksi pada waktu t (kendaraan),  
 $Z(t)$  akumulasi pencemaran ( $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ),  
 $B[Q(t)]$  manfaat ekonomi (juta rupiah),  
 $D[Z(t)]$  kerusakan akibat pencemaran (juta rupiah),  
 $\delta$  *discount rate*.

$B[Q(t)]$  diestimasi dengan mengkalkulasi jumlah pertumbuhan kendaraan di Jakarta pada tahun t \* harga kendaraan rata-rata.

$D[Z(t)]$  adalah total nilai ekonomi dari kerusakan lingkungan atau biaya degradasi pada tahun t.

#### 3.4.6 Skenario Analisis Kebijakan

Analisis kebijakan pengendalian pencemaran udara dilakukan dalam beberapa tahap yaitu :

1. Membangun skenario untuk menganalisis efektivitas kebijakan BME Euro2.

Skenario tersebut adalah :

- a. Tidak melakukan suatu usaha perbaikan atau sering disebut *status quo* atau *bussiness as usual* (skenario BAU).
- b. Mempertimbangkan lingkungan hidup dengan menggunakan faktor emisi Euro2 (skenario Euro2).
- c. Reduksi emisi melalui penggunaan BME kendaraan diesel sama dengan kendaraan bensin untuk kendaraan penumpang, truk dan bis kecil (skenario Diesel).

- d. Mengurangi volume kendaraan pribadi dan sepeda motor dengan melakukan substitusi peningkatan transportasi publik (skenario Volume).
2. Menggunakan MCDA untuk menganalisis efektivitas kebijakan dengan menambahkan variabel institusi sebagai salah satu kriteria keberhasilan suatu kebijakan. Kerangka dari model kebijakan tersebut diberikan dalam bentuk matrik keputusan (Tabel 4).

Tabel 4 Matriks Keputusan Penelitian

Kriteria	Alternatif			
	BAU	Euro2	Diesel	Volume
Lingkungan	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$
Sosial	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$
Ekonomi	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$
Institusi	$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$

Atribut dari masing-masing kriteria adalah sebagai berikut:

- Kriteria Lingkungan : Emisi, Konsentrasi.
- Kriteria Sosial : Morbiditas, Prematur Mortalitas, Biaya Degradasi.
- Kriteria Ekonomi: Manfaat bersih dan nilai NPV.
- Institusi: Pengelolaan dan pendanaan.

3. Menganalisis efektivitas antara kebijakan CAC dan kebijakan IE. Kerangka model sama dengan yang diberikan pada tabel 4, namun alternatif kebijakan yang akan dianalisis adalah, BAU, CAC, dan IE. Atribut dari masing-masing kriteria adalah sebagai berikut:

- Kriteria Lingkungan : Emisi dan Konsentrasi.
- Kriteria Sosial : Morbiditas dan Prematur Mortalitas.
- Kriteria Ekonomi: Biaya Degradasi dan Manfaat Bersih.
- Institusi: Pengelolaan dan pendanaan.

### 3.5 Asumsi yang digunakan

1. Komposisi kendaraan per kategori kendaraan dari Ditlantas Polda Metro Jaya, 2006, terdapat beberapa perubahan, terutama pada jenis sepeda motor. Selain itu, terjadi perubahan komposisi kendaraan taxi dengan bahan bakar diesel yang nilainya sangat kecil dan meningkatnya kendaraan diesel untuk truk dan bis kecil. Karena itu, komposisi kendaraan merupakan modifikasi dari komposisi yang dikembangkan Syahril *et al.* 2002.
2. Estimasi pertumbuhan kendaraan digunakan nilai pertumbuhan kendaraan pada tahun 2002, dengan nilai pertumbuhan bis adalah 0 (nol). Hal ini dilakukan mengingat data pertumbuhan kendaraan dari Ditlantas Polda Metro Jaya sangat tinggi.
3. Estimasi emisi dari sektor industri digunakan tingkat pertumbuhan PDRB  $r = 0.02$ , yang lebih rendah dari angka pertumbuhan antara tahun 2000 sampai tahun 2004 (BPS, 2005). Hal ini dilakukan, mengingat estimasi yang dilakukan merupakan estimasi jangka panjang.
4. Data kependudukan per kecamatan menggunakan data JDA, 2004. Estimasi emisi domestik menggunakan tingkat pertumbuhan penduduk dari proyeksi kependudukan yaitu 0.0083, BPS, 2005.
5. Dugaan kandungan polutan dari emisi sumber industri mengacu pada data penggunaan bahan bakar sektor industri dan dugaan kandungan debu dari masing-masing jenis industri (BPS Propinsi DKI Jakarta, 2003). Dugaan kandungan  $PM_{10}$  yang berasal dari industri di Jakarta adalah 55.42 persen.
6. Estimasi gangguan kesehatan menggunakan fungsi dose-response. Beberapa gangguan kesehatan hanya berpengaruh pada kelompok masyarakat yang sensitif terhadap gangguan tersebut, diantaranya:
  - a. 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 5 tahun. Persentase jumlah anak di Jakarta antara tahun 2000 sampai 2005 adalah 9.36 persen dari jumlah penduduk (BPS, 2005).
  - b. Jumlah Kasus Serangan Asma =  $0.0326 * (PM_{10} - BMA PM_{10}) * POP * AP$ .

- b. 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).
- c. Fungsi dose-response untuk prematur mortalitas (PM) dan *Restricted Activited Days* (RAD) menggunakan nilai angka kematian kasar dan persentase masyarakat pada usia kerja. Karena itu, fungsi dose-response untuk kedua kasus ini adalah:  
 $Jumlah\ Kematian = 0.00096 * (PM_{10} - BMA PM_{10}) * POP * AKK$   
 AKK: angka kematian kasar di Jakarta, 0.036 (BPS, 2005).
- d. 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 40 persen dari jumlah penduduk.
7. Biaya RAD menggunakan UMR/UMP untuk Jakarta, berkisar 22,500 rupiah.
8. Nilai *value of statistcal life* (VSL) menggunakan nilai VSL yang telah dikembangkan oleh Susandi, 2004, yaitu sebesar US\$ 144.000 pada tahun 2000 dengan penyesuaian nilai tukar dan tingkat inflasi Jakarta antara tahun 2001-2004. Nilai tukar USD pada tahun 2004 sebesar Rp. 9361, sehingga nilai *VSL* menjadi sekitar 1.8 milyar rupiah, atau terjadi kenaikan sebesar 35.9 persen dari nilai VSL yang diestimasi Susandi (2004). Sedangkan biaya kesehatan (*cost of illness*) menggunakan nilai yang telah dikembangkan Syahril, *et al.* (2002) dengan penyesuaian tingkat inflasi Jakarta tahun 2002-2004, sehingga terdapat perubahan nilai sebesar 22.2 persen dari nilai rata-rata yang digunakan oleh Syahril *et al.* 2002.
9. Biaya non-kesehatan diestimasi dari persentase biaya sosial dan biaya kerusakan total, hasil penelitian Lvovsky, *et al.* 2000. Menurut penelitian ini persentase biaya sosial atau *health cost* dan biaya non-kesehatan atau *non-health cost* masing-masing 68 persen dan 11 persen dari biaya kerusakan lingkungan (*damage cost*). Penelitian yang dilakukan oleh Lvovsky, *et al.* 2000, dilakukan 6 kota termasuk kota-kota negara berkembang di Asia seperti Manila, Shanghai, dan Bangkok. Dengan pertimbangan kondisi sosial-ekonomi pada negara-negara

tersebut sama dengan kondisi Jakarta, maka angka perbandingan tersebut dapat langsung diadopsi.

10. Estimasi manfaat kendaraan hanya kendaraan penumpang, sepeda motor, dan truk yang diperhitungkan, karena tingkat pertumbuhan bis dianggap terlalu kecil. Nilai manfaat kendaraan diestimasi dari jumlah pertumbuhan kendaraan dikalikan harga kendaraan. Harga kendaraan diasumsikan merupakan keuntungan dari kendaraan.
11. Perhitungan *present value* (PV) dari *net benefit* menggunakan discount rate sebesar 5 persen. Nilai interest rate yang diambil mempertimbangkan bahwa estimasi yang dilakukan merupakan estimasi jangka panjang dan bahwa untuk estimasi nilai ekonomi kerusakan lingkungan yang merupakan barang publik maka interest rate yang digunakan mengambil nilai interest rate yang rendah (Field & Field 2002).
12. Skenario BAU menggunakan FE tidak terkontrol, skenario euro2 menggunakan FE euro2, skenario diesel menggunakan FE diesel sama dengan FE bensin dalam kategori kendaraan yang sama. Skenario volume menggunakan asumsi tingkat pertumbuhan kendaraan penumpang dan sepeda motor 50 persen dari tingkat pertumbuhan pada skenario lainnya, dan kombinasi pembatasan volume truk dan bis.

### 3.6 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 dilapangan dengan data hasil simulasi model. Untuk memvalidasi model dispersi, data historis meteorologi untuk model sama dengan data meteorologi pada pemantauan (Lvovsky *et al.* 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.

### 3.6.1 Uji Teori

Data konsentrasi ambien tahunan untuk  $PM_{10}$  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 5.

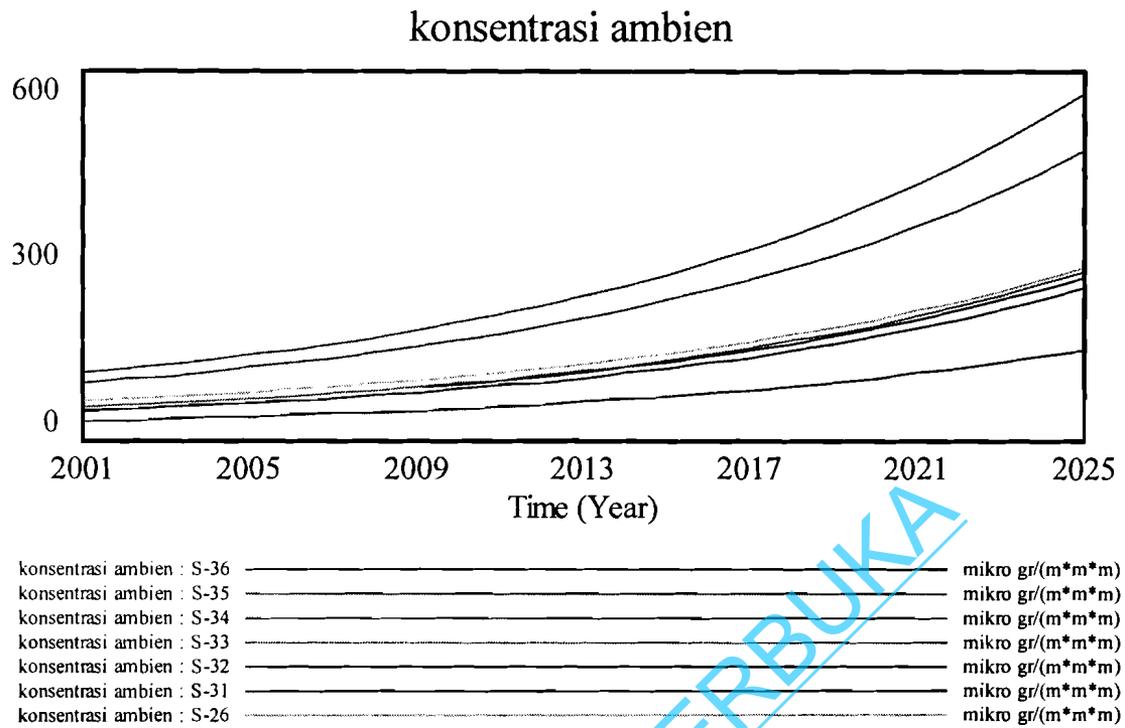
Tabel 5 Konsentrasi Hasil Pengamatan dan Model

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).

### 3.6.2 Uji Kestabilan Struktur Model

Uji kestabilan struktur model atau sensitivitas model dimaksudkan untuk melihat kekuatan (*robustness*) model dalam dimensi waktu (Muhammadi *et al.* 2001). Dengan demikian, uji sensitivitas model dilakukan dengan merubah variabel model dan haruslah memberikan kecenderungan atau tren yang sama jika model dikatakan *robust*. Hasil uji *robustness* model ini diberikan pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa perubahan variabel menghasilkan keseragaman perilaku model, sehingga model dapat dikatakan *robust*.



Gambar 5 Konsentrasi Udara Ambien PM<sub>10</sub> per Grid

## BAB IV

### ANALISIS KONDISI YANG MEMPENGARUHI PENCEMARAN UDARA DI JAKARTA

Variabel-variabel yang mempengaruhi pencemaran udara yang akan dianalisis merupakan variabel eksogen dari model dinamis yang dibangun. Untuk memformulasikan kebijakan lingkungan, maka kebijakan yang berkaitan dengan pengendalian pencemaran udara dari kendaraan bermotor yang ada juga dianalisis.

#### 4.1 Penduduk dan Laju Urbanisasi

Variabel jumlah penduduk memiliki dua peran dalam model pencemaran udara, sebagai pemicu meningkatnya emisi dan sebagai penerima dampak dari pencemaran yang terjadi (*receptor*).

##### 4.1.1 Penduduk Jakarta

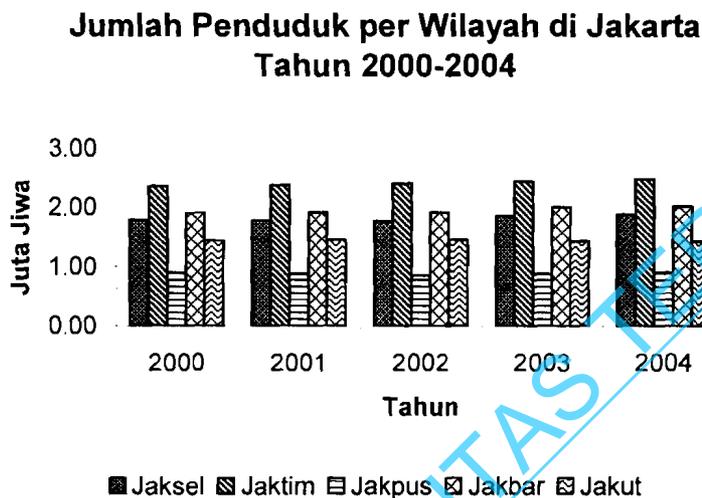
Secara geografis wilayah Jakarta memiliki batas sebelah utara dengan laut Jawa, sebelah timur dengan kabupaten dan kota Bekasi, sebelah selatan dengan kota Depok, dan sebelah barat dengan kabupaten dan kota Tangerang. Luas wilayah total termasuk Kepulauan Seribu adalah 66,152 hektar.

Secara administratif wilayah Jakarta dibagi atas lima wilayah kota madya yaitu: Jakarta Selatan, Jakarta Timur, Jakarta Pusat, Jakarta Barat dan Jakarta Utara. Masing-masing kota madya ini memiliki jumlah kecamatan yang berbeda, secara total wilayah administratif Jakarta memiliki 42 kecamatan. Wilayah Kepulauan Seribu termasuk dalam wilayah administrasi Jakarta Utara, sekalipun menurut undang-undang nomor 34 tahun 1999 tentang pemerintah propinsi Jakarta Kepulauan Seribu merupakan kabupaten tersendiri. Dalam analisis penelitian ini Kepulauan Seribu tidak diikutsertakan.

Jumlah penduduk per kota madya dalam propinsi Jakarta sejak tahun 2000 dapat dikatakan konstan, hanya sedikit terjadi penurunan di wilayah Jakarta Pusat (Gambar 6). Sekalipun jumlah penduduk di wilayah Jakarta Pusat sekitar 10 persen dari jumlah penduduk Jakarta, namun luas wilayah Jakarta Pusat hanya 7.4 persen dari luas wilayah Jakarta. Sebagian besar penduduk Jakarta terdapat di wilayah Jakarta Timur sekitar 28

persen. Sekitar 23 persen penduduk di wilayah Jakarta Barat, 21 persen di wilayah Jakarta Selatan dan 16 persen di Jakarta Utara. Sedangkan luas wilayah Jakarta Barat, Jakarta Timur, Jakarta Selatan, dan Jakarta Utara masing-masing sekitar 19, 30, 19, dan 22 persen dari luas wilayah Jakarta.

Dalam model yang dibangun, sebaran penduduk per wilayah akan mempengaruhi aktivitas penduduk pada wilayah tersebut yang berhubungan dengan penggunaan kendaraan bermotor. Sedangkan, luas wilayah akan mempengaruhi konsentrasi ambien.



Gambar 6 Penduduk per Kota Madya di Jakarta

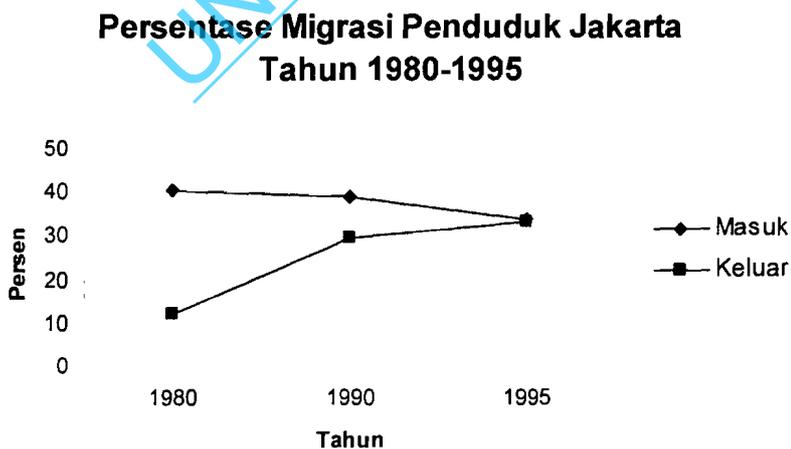
Dapat dipastikan bahwa dengan jumlah emisi yang sama dengan wilayah lainnya, konsentrasi ambien di wilayah Jakarta Pusat akan lebih tinggi, karena luas wilayahnya yang lebih kecil dibandingkan dengan wilayah lainnya. Hal ini menyebabkan dampak pencemaran pada gangguan kesehatan juga akan meningkat di wilayah ini. Namun demikian, layanan kesehatan dan kesadaran masyarakat tentang kesehatan di Jakarta cukup baik. Hal ini terbukti dengan angka kematian kasar (AKK) di Jakarta diproyeksikan antara tahun 2005-2010 sekitar 3.6 persen, jauh dibawah AKK nasional 6.6 persen. AKK ini digunakan dalam mengestimasi *premature mortality* (PM) akibat pencemaran  $PM_{10}$ .

#### 4.1.2 Laju Urbanisasi

Hasil proyeksi penduduk Jakarta menunjukkan terjadinya peningkatan penduduk dalam kurun waktu tahun 2000-2010, namun, data menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk Jakarta menurun (Gambar 7). Kemungkinan yang menyebabkan penurunan jumlah penduduk Jakarta tersebut adalah migrasi penduduk keluar Jakarta lebih besar dibandingkan migrasi penduduk yang masuk ke Jakarta. Meningkatnya penduduk keluar Jakarta tersebut dapat disebabkan oleh berkembangnya wilayah Bodetabek, sehingga masyarakat lebih memilih tinggal di wilayah tersebut dengan tetap bekerja di Jakarta (Gambar 8).

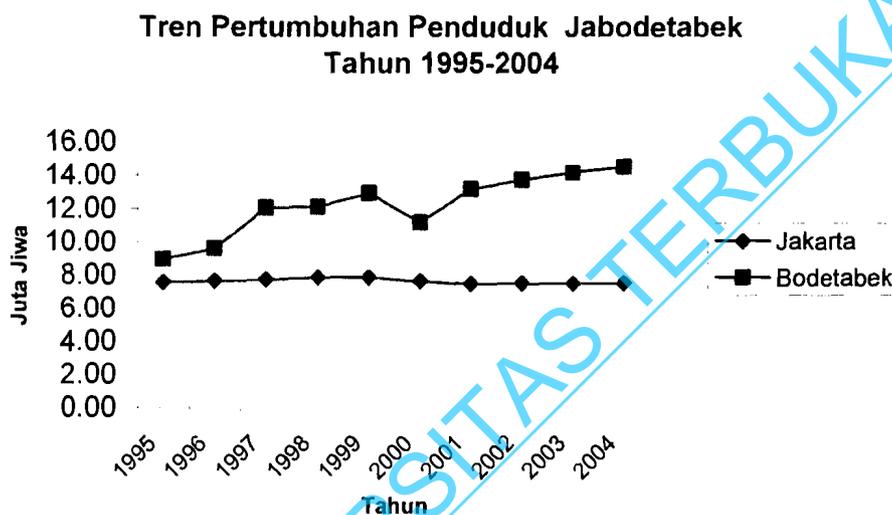


Gambar 7 Perkembangan Penduduk Jakarta 1995-2004



Gambar 8 Persentase Migrasi Penduduk

Pertumbuhan kota-kota sekitar Jakarta seperti Bogor, Bekasi, Tangerang, dan Depok menyebabkan arus urbanisasi ke wilayah tersebut meningkat. Gambar 9 memperlihatkan kecenderungan (tren) pertumbuhan penduduk Bodetabek dan Jakarta dalam beberapa tahun terakhir. Data ini menunjukkan bahwa secara rata-rata tingkat pertumbuhan penduduk Jakarta pada kurun waktu tersebut adalah 0.22 persen sedangkan Bodetabek sekitar 3.29 persen. Dampak dari migrasi penduduk ke wilayah sekitar Jakarta tersebut, menyebabkan meningkatnya penglaju, yang berakibat pada meningkatnya kemacetan dan polusi udara di Jakarta.



Gambar 9 Kecenderungan Pertumbuhan Penduduk Jabodetabek

Meningkatnya penglaju dari Bodetabek membutuhkan adanya sistem transportasi publik yang terintegrasi antara Jakarta dan wilayah Bodetabek, sehingga penggunaan kendaraan pribadi akan menurun. Pengembangan sistem transportasi publik yang terpadu membutuhkan adanya koordinasi dalam perencanaan pemanfaatan wilayah Jabodetabek.

#### 4.2 Kondisi Sosial Ekonomi

Data statistik menunjukkan antara tahun 1995-1998, lebih dari 42 persen penduduk usia kerja di Jakarta berstatus pekerja dan setelah resesi tahun 1999 menurun menjadi 30 persen. Dari jumlah masyarakat yang bekerja, 65 persen adalah berstatus

buruh. Data status pekerjaan penduduk pada beberapa tahun terakhir tidak diperoleh, karena itu asumsi yang diambil untuk model dinamis adalah 40 persen penduduk Jakarta memiliki pekerjaan.

Meningkatnya jumlah penduduk yang berstatus buruh menggambarkan bahwa pendapatan sebagian besar masyarakat adalah sebesar upah minimum regional (UMR) atau upah minimum provinsi (UMP) yang berlaku di Jakarta. Surat keputusan (SK) Gubernur No. 2515 tahun 2004 menetapkan bahwa UMP Jakarta tahun 2005 sekitar 700 ribu rupiah per bulan atau sekitar 22 ribu rupiah per harinya.

Dalam memperhitungkan nilai ekonomi dampak pencemaran  $PM_{10}$  pada kesehatan nilai UMP digunakan sebagai patokan nilai ekonomi dari keterbatasan hari kerja. Nilai ini mungkin terlalu rendah mengingat masih ada sebagian penduduk yang berpenghasilan di atas nilai UMP. Jadi dapat dikatakan bahwa nilai ekonomi dari dampak kesehatan seharusnya lebih besar dari estimasi yang dilakukan.

Ditinjau dari pengeluaran per kapita masyarakat Jakarta untuk makanan sekitar 40 persen dari penghasilannya dan persentase yang hampir sama dikeluarkan untuk kebutuhan non-makanan tidak termasuk kebutuhan untuk pendidikan<sup>1</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa hampir 80 persen dari penghasilan terpakai untuk kebutuhan hidup. Untuk masyarakat Jakarta dengan status buruh maka sisa penghasilan perbulannya sangat minim, yang mungkin harus digunakan untuk biaya kesehatan.

Di samping itu, untuk golongan masyarakat yang berstatus buruh terutama buruh harian, di mana jumlah hari kerja menentukan besarnya penghasilan, maka hilangnya hari kerja akibat gangguan kesehatan akan menurunkan penghasilan bulannya. Dengan demikian, maka gangguan kesehatan yang disebabkan oleh pencemaran  $PM_{10}$  dari emisi kendaraan bermotor terutama sangat mempengaruhi keadaan ekonomi golongan masyarakat ini.

Karena itu, salah satu pertimbangan dalam menentukan kebijakan lingkungan adalah besarnya biaya sosial yang harus dikeluarkan. Selain itu, konsep keadilan dalam penentuan kebijakan lingkungan harus diterapkan, karena sebagian masyarakat menerima *cost* dari kerusakan lingkungan yang dilakukan oleh sebagian masyarakat lainnya.

---

<sup>1</sup> Beberapa Indikator Penting Sosial-Ekonomi Indonesia, BPS 2006.

### 4.3 Pendapatan per Kapita

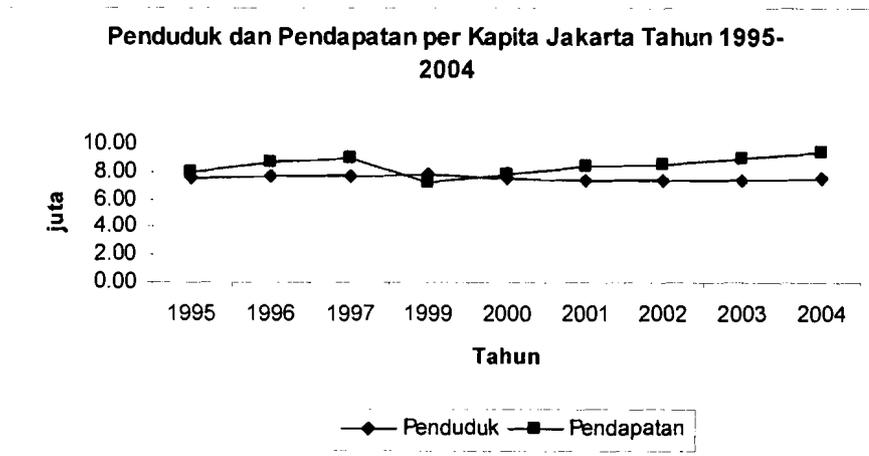
Data PDRB Jakarta dalam kurun waktu 10 tahun diberikan pada Gambar 10, kecuali tahun 1998 di mana terjadi pertumbuhan negatif.



Gambar 10 Pendapatan per Kapita Jakarta 1995-2004

Menurunnya PDRB pada tahun 1999 menyebabkan menurunnya pendapatan per kapita pada kondisi jumlah penduduk yang konstan. Padahal pada tahun 1999 jumlah penduduk Jakarta masih menunjukkan peningkatan, dan baru menurun pada tahun-tahun berikutnya (Gambar 11). Setelah tahun 2000 barulah terjadi peningkatan pendapatan per kapita di mana jumlah penduduk hampir mencapai jumlah yang konstan.

Meningkatnya pendapatan per kapita menunjukkan adanya perbaikan ekonomi yang berdampak pada meningkatnya aktivitas ekonomi dan meningkatnya kualitas hidup masyarakat. Hubungan antara meningkatnya pendapatan per kapita dan meningkatnya kendaraan bermotor diberikan pada Tabel 6.



Gambar 11 Penduduk dan Pendapatan per Kapita Jakarta 1995-2004

Tabel 6 Korelasi Pendapatan per Kapita dan Jumlah Kendaraan

**Correlations**

		pendapatan	kendaraan
pendapatan	Pearson Correlation	1	.952**
	Sig. (2-tailed)		.003
	N	6	6
kendaraan	Pearson Correlation	.952**	1
	Sig. (2-tailed)	.003	
	N	6	6

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Adanya korelasi antara meningkatnya pendapatan dan meningkatnya jumlah kendaraan ini merupakan peringatan bagi pemerintah daerah dalam melakukan perencanaan pembangunan di Jakarta. Permasalahan yang akan timbul adalah bagaimana mengatasi meningkatnya kemacetan dan pencemaran udara dengan meningkatnya jumlah kendaraan tersebut. Perbaiki sistem transportasi publik sebagai alternatif sarana transportasi dan penggunaan kebijakan lingkungan dalam bentuk CAC ataupun sistem insentif juga dilaksanakan, merupakan jalan keluar bagi permasalahan tersebut.

#### 4.4 Sumber Emisi

Menurunnya kualitas udara di perkotaan akibat dari kegiatan manusia berasal dari tiga sumber yaitu industri, domestik, dan kendaraan bermotor. Sekalipun penelitian ini memfokuskan pada pencemaran dari sumber emisi kendaraan bermotor, namun model

kualitas udara untuk wilayah urban mempersyaratkan bahwa emisi dari sumber lainnya juga untuk harus diperhitungkan.

#### 4.4.1 Sumber Industri

Menurut BPS, 2004, sebanyak 1918 industri besar dan sedang yang dikategorikan dalam 15 kategori industri yang terdapat di DKI Jakarta beserta penggunaan bahan bakarnya (Tabel 7). Industri terbanyak yang terdapat di Jakarta adalah industri tekstil dan pakaian, industri plastik dan industri kertas.

Penggunaan bahan bakar dari industri-industri tersebut mencapai 365 juta liter untuk bensin dan solar, dengan perbandingan 2.5 solar terhadap bensin pada tahun 2003 (BPS, 2004). Pengguna bahan bakar terbesar pada tahun 2003 adalah industri, barang galian bukan logam, industri tekstil dan pakaian, dan industri alat angkut.

Berdasarkan penggunaan bahan bakar tersebut dapat perkiraan gas buang yang diemisikan oleh industri tersebut. Tabel 8 memperlihatkan persentase jumlah debu yang dihasilkan oleh masing-masing sumber industri. Debu mengandung 55 persen  $PM_{10}$  (Ostro, 1994), secara persentase besarnya kandungan  $PM_{10}$  dalam gas buang dari sumber industri adalah tetap.

Tabel 7 Penggunaan Bahan Bakar Sektor Industri di Jakarta Tahun 2003

NO	Klasifikasi Industri	Jumlah (buah)	Bensin	Solar
			%	%
1	Makanan dan Minuman	212	2.4	14.8
2	Tekstil dan Pakaian	594	18.6	14.7
3	Kulit dan Barang dari kulit	70	0.8	0.4
4	Kayu dan barang dari kayu	45	0.2	0.5
5	Kertas dan barang dari kertas, Percetakan dan Penerbitan	206	2.5	1.5
6	Kimia, minyak bumi, batu bara, karet dan plastik	320	2.9	14.9
7	Barang Galian Bukan Logam	25	56.2	22.7
8	Logam dasar	27	0.6	6
9	Barang dari Logam	137	1.2	2.3
10	Mesin dan Perlengkapannya	79	9.3	3.9
11	Radio, TV, dan Peralatan Komunikasi	9	1.5	0.2
12	Peralatan Kedokteran, Alat Ukur dll	12	0	0.1
13	Kendaraan Bermotor dan Alat Angkut lainnya	75	3.3	17.4
14	Furnitur dan industri Pengolahan Lainnya	93	0.4	0.6
15	Daur Ulang	14	0	0.1
	Jumlah	1,918	100	100

Tabel 8 Persentase Emisi Debu Menurut Sumber Emisi

NO	SUMBER	DEBU (%)
1	Pembangkit Tenaga Listrik	1.56
2	Tungku industri	7.81
3	Industri Pengolahan	46.05
	Total	55.42

Sumber: BPS Propinsi DKI Jakarta, Profil Kesehatan, Bab IV, 2004

Untuk menduga dampak pencemaran udara pada kesehatan penduduk di masing-masing wilayah digunakan pendekatan persentase penggunaan lahan untuk industri di wilayah tersebut. Tabel 9 memberikan distribusi pemanfaatan lahan untuk industri di masing-masing wilayah dan persentase lahan industri tersebut terhadap total lahan industri di Jakarta.

Tabel 9 Pemanfaatan Lahan Industri per Wilayah di Jakarta Tahun 2004

Wilayah	Luas Lahan Industri (ha)	Persentase
Jakarta Selatan	236.1	5.7
Jakarta Timur	1130.1	27.3
Jakarta Pusat	92.9	2.2
Jakarta Barat	512.2	12.4
Jakarta Utara	2171.4	52.4

Sumber: JDA 2004

Tingginya persentase penggunaan lahan industri di wilayah Jakarta Utara dapat diduga bahwa pencemaran udara dari sektor industri pada wilayah ini lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah lainnya. Sekalipun kepadatan penduduk di wilayah ini terbilang paling rendah, namun sebagian besar wilayahnya adalah untuk industri atau tingkat kepadatan penduduk yang bermukim di wilayah tersebut jauh lebih tinggi.

Tingginya lahan industri di suatu wilayah menyebabkan penggunaan kendaraan untuk barang dan jasa akan meningkat, sehingga wilayah Jakarta Utara akan memperoleh 2 (dua) sumber pencemaran yang secara signifikan akan menurunkan kualitas udara di wilayah tersebut, yaitu dari sumber industri dan dari sumber kendaraan. Jika penduduk yang bermukim di wilayah tersebut termasuk pada golongan masyarakat yang

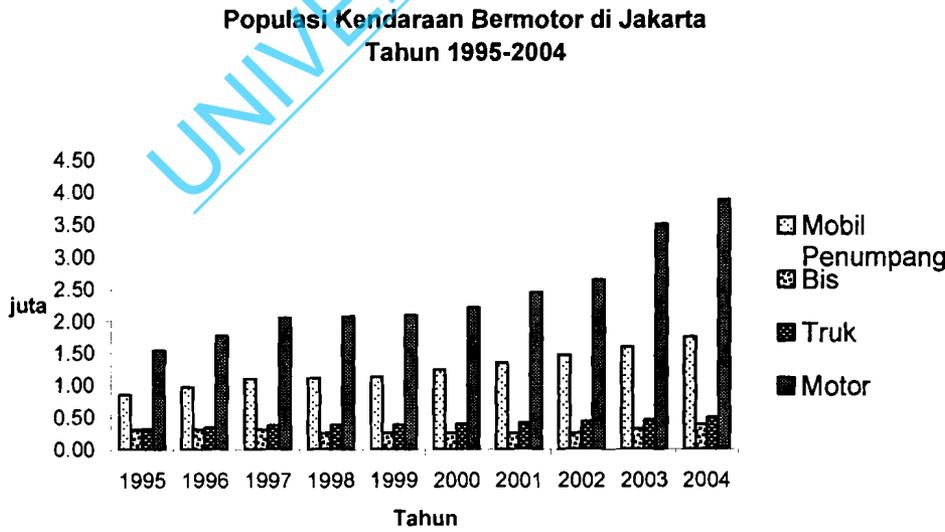
berpenghasilan rendah, maka dampak secara sosial-ekonomi paling banyak dirasakan oleh penduduk di wilayah tersebut.

**4.4.2 Sumber Domestik**

Emisi dari sumber domestik ditentukan oleh jumlah penduduk di suatu wilayah. Pada model yang dibangun emisi sumber domestik ditentukan oleh jumlah penduduk Jakarta. Sedangkan emisi domestik per gridnya dipengaruhi oleh luas wilayah (grid) tersebut terhadap luas total Jakarta. Dengan kata lain, meningkatnya emisi domestik lebih dipengaruhi oleh tingkat pertumbuhan penduduk Jakarta.

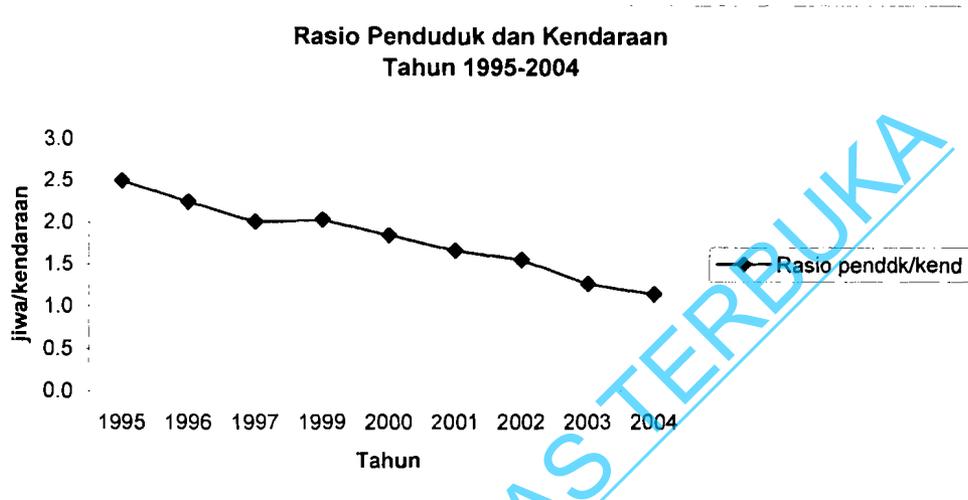
**4.4.3 Sumber Kendaraan Bermotor**

Emisi dari sumber kendaraan bermotor ditentukan oleh populasi kendaraan bermotor dan kegiatan masyarakat yang memanfaatkan kendaraan bermotor yang menentukan meningkatnya perjalanan (*vehicle kilometer travel* = VKT). Meningkatnya pertumbuhan kendaraan bermotor tersebut terutama karena meningkatnya kebutuhan sarana transportasi yang tidak dapat diakomodasi oleh transportasi publik yang ada. Gambar 12 memperlihatkan pertumbuhan kendaraan bermotor di Jakarta dalam kurun waktu 1995 sampai dengan 2004.



Gambar 12 Populasi Kendaraan Bermotor di Jakarta

Dengan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan kendaraan yang terjadi pada kurun waktu 1995-2004, maka rasio antara penduduk dan kendaraan di Jakarta akan mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Gambar 13 memberikan tren penurunan rasio tersebut yang cenderung akan menuju ke nilai 1 (satu). Jika hal tersebut terjadi, maka dapat dikatakan bahwa setiap penduduk Jakarta memiliki satu kendaraan bermotor.

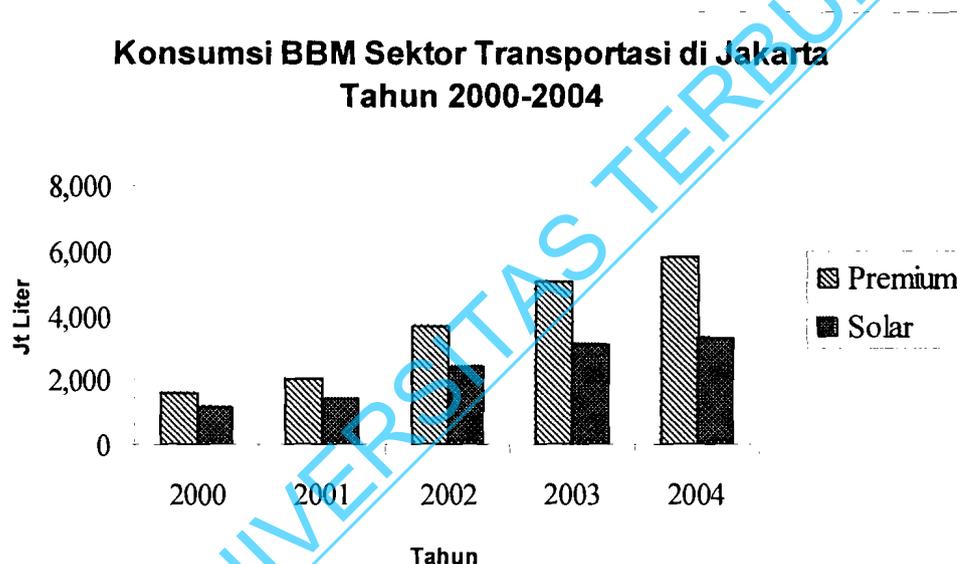


Gambar 13 Rasio Penduduk-Kendaraan

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor berhubungan erat dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar minyak (BBM) yang digunakan pada sektor transportasi. Gambar 14 memberikan pertumbuhan konsumsi BBM (premium dan solar) antara tahun 2000-2004. Konsumsi bahan bakar untuk sektor transportasi per kapita adalah 740 liter untuk bensin dan 440 liter solar per tahun. Perbandingan konsumsi bahan bakar per kapita yang sama telah diteliti di Bangkok pada tahun 1993, yang menghasilkan kerugian sosial dari penggunaan bahan bakar sebesar 68 persen dari total biaya kerusakan (Lvovsky *et al.* 2000).

Konsumsi BBM solar untuk sektor transportasi tahun 2004 sebesar 53.8 persen sedangkan sektor industri sebesar 32.78 persen dari total konsumsi solar di Jakarta. Data ini juga menunjukkan bahwa terjadi peningkatan penggunaan kendaraan bermesin diesel di Jakarta, yang akan berdampak pada tingginya emisi  $PM_{10}$  yang berasal dari sektor transportasi.

Berbagai negara telah membatasi penggunaan kendaraan bermesin diesel ini baik melalui pelarangan impor mobil bermesin diesel terutama bagi kendaraan kecil seperti di Beirut atau melalui kebijakan standar teknologi seperti Amerika Serikat (El-Fadel *et al.* 2004). Kebijakan standar yang diterapkan oleh Amerika Serikat adalah dengan menetapkan bahwa standar emisi kendaraan diesel sama dengan kendaraan bensin. Sedangkan, kebijakan standar emisi di Indonesia yang ada (standar emisi euro2) kendaraan penumpang diesel memiliki faktor emisi lebih besar sekitar 15 (lima belas) kali dibandingkan kendaraan penumpang bensin. Dengan demikian, pembatasan penggunaan kendaraan bermesin diesel perlu dilakukan melalui kebijakan lain, seperti penetapan pajak yang lebih yang lebih tinggi untuk jenis kendaraan ini.



Gambar 14 Konsumsi BBM Sektor Transportasi Tahun 2000-2004

## 4.5 Kualitas Udara

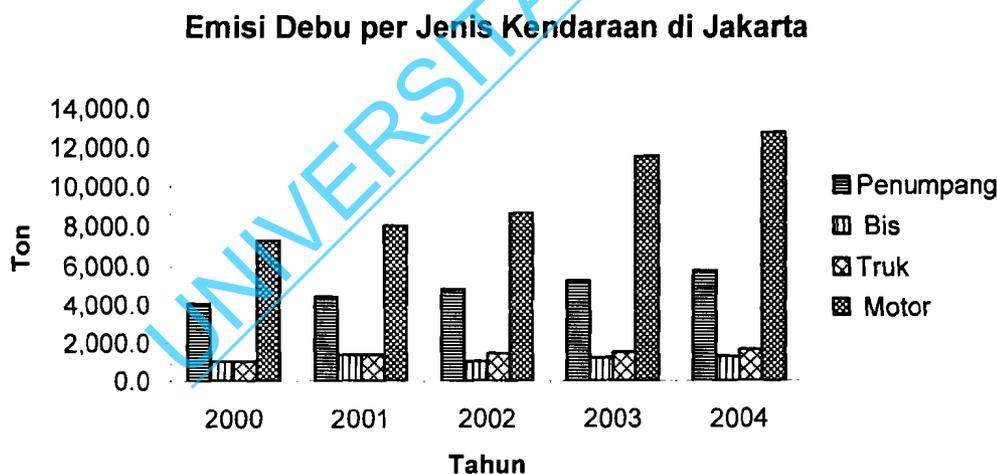
### 4.5.1 Emisi

Meningkatnya penggunaan BBM oleh kendaraan bermotor menyebabkan emisi gas buang kendaraan bermotorpun akan meningkat.  $PM_{10}$  adalah gas buang yang diemisi kendaraan, terutama kendaraan bermesin diesel. Kontribusi emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan bermotor lebih dari 70 persen dari total emisi polutan tersebut (Syahril *at al.* 2002).

Gambar 15 memberikan pertumbuhan emisi debu yang mengandung sekitar 55 persen polutan tersebut berdasarkan kategori kendaraan dalam kurun waktu 1999-2004.

Tingginya emisi dari sepeda motor disebabkan oleh dua hal yaitu, sekalipun sepeda motor menggunakan bahan bakar bensin faktor emisi (FE) sepeda motor lebih tinggi dari faktor emisi kendaraan penumpang dengan bahan bakar yang sama dan jumlah sepeda motor sekitar 100 persen lebih banyak dari kendaraan penumpang. FE untuk truk dan bis terutama yang berbahan bakar solar sekitar 2 (dua) kali lebih besar dari FE sepeda motor, namun karena jumlahnya lebih kecil maka emisi total dari kendaraan ini lebih kecil dari emisi sepeda motor.

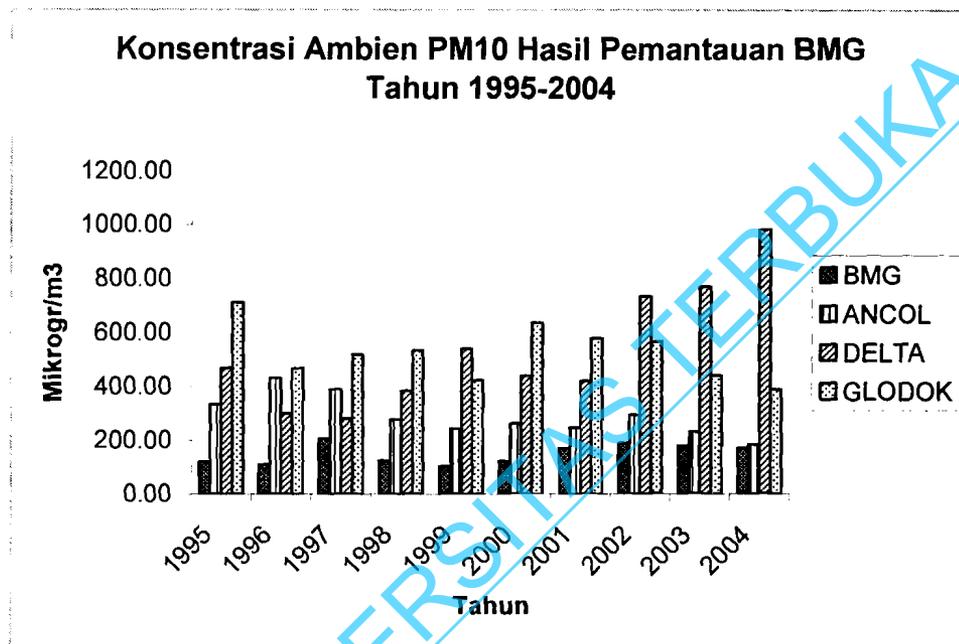
FE yang digunakan pada kebijakan euro2 menurun dengan sangat signifikan bagi kategori kendaraan penumpang, bis, dan truk untuk kedua jenis bahan bakar yang digunakan, sedangkan FE sepeda motor tetap. Jika jumlah sepeda motor terus meningkat, maka sekalipun kebijakan Euro2 diberlakukan emisi dari sepeda motor akan tetap tinggi. Dengan demikian, mungkin kebijakan untuk standar emisi kendaraan harus dibedakan menurut kategori kendaraan.



Gambar 15 Emisi Kendaraan Bermotor Tahun 2000-2004

#### 4.5.2 Konsentrasi Udara Ambien

Pemantauan udara ambien yang dilakukan oleh BMG pada lokasi pemantauan di wilayah Glodok (Jakarta Barat), Ancol (Jakarta Utara), Kemayoran (Jakarta Pusat) antara tahun 1995-2005, memperlihatkan bahwa konsentrasi SPM ( $PM_{10}$ ) bervariasi untuk setiap lokasi pada wilayah tersebut. Hasil pemantauan harian BMG ini memperlihatkan bahwa pada tahun 2004 di semua wilayah pemantauan konsentrasi  $PM_{10}$  telah melampaui BMA harian yaitu  $150 \mu\text{gr}/\text{m}^3$  (Gambar 16).



Gambar 16 Konsentrasi Ambien  $PM_{10}$  BMG

Lokasi-lokasi yang menjadi titik pemantauan BMG terdapat di wilayah Jakarta utara dan sekitarnya. Dari sisi pemanfaatan lahan, lebih dari 50 persen wilayah ini adalah untuk industri. Glodok adalah pusat perdagangan di Jakarta, jadi dapat disimpulkan bahwa pada wilayah-wilayah tersebut kegiatan ekonomi sangat tinggi. Karena itu, emisi  $PM_{10}$  baik dari sektor industri maupun kendaraan akan tinggi di wilayah tersebut.

Sementara itu, hasil pemantauan udara ambien yang dilakukan Bapelda Jakarta di beberapa stasiun pemantauan, Jakarta Timur, Jakarta Barat, Kemayoran, Pondok Indah, dan Senayan pada tahun 2001- 2004 memberikan hasil rata-rata konsentrasi  $PM_{10}$  yang

diberikan pada Gambar 17. Lokasi pemantauan dari Bapelda tersebar di lima wilayah Jakarta, termasuk wilayah permukiman penduduk.

Hasil pemantauan Bapelda tersebut, memperlihatkan terjadinya peningkatan konsentrasi dan mencapai nilai maksimum pada bulan tertentu, kemudian menurun kembali. Rata-rata konsentrasi tahunan dari hasil pemantauan ini menunjukkan bahwa konsentrasi  $PM_{10}$  di udara ambien Jakarta telah melampaui baku mutu udara ambien tahunan yaitu  $50 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ . Hasil pemantauan tersebut juga memperlihatkan tidak adanya upaya penanggulangan pencemaran yang dilakukan, sehingga peningkatan konsentrasi mempunyai pola yang hampir sama dari tahun ke tahun.



Gambar 17 Konsentrasi Ambien  $PM_{10}$  Bapelda-Jakarta

Hasil pemantauan kedua instansi tersebut menyimpulkan bahwa BMA telah dilampaui, baik untuk satuan ukuran 24 jam ataupun rata-rata tahunan. Dampak sosial dari menurunnya kualitas udara tersebut yang utama adalah pada kesehatan penduduk Jakarta. Sedangkan secara ekonomi menurunnya kualitas udara menyebabkan meningkatnya biaya sosial. Dampak sosial dan ekonomi pada masyarakat ini, menjadi dasar utama pertimbangan kebijakan lingkungan.

#### 4.6 Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara

Dalam rangka pengendalian pencemaran udara beberapa kebijakan telah dibuat, baik berupa undang-undang, Peraturan Pemerintah, Keputusan Menteri, ataupun Peraturan Pemerintah Daerah (Perda) Jakarta. Aturan tersebut diberikan dalam bentuk Tabel 10.

Tabel 10 Peraturan Perundang-undangan Tentang Kualitas Udara

NO	Jenis Aturan	Tentang
1.	UU-RI Nomor 23 tahun 1997	Pengelolaan Lingkungan Hidup
2.	Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 tahun 1999	Pengendalian Pencemaran Udara
3.	Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 141 tahun 2003	Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dan Kendaraan Bermotor yang Sedang Diproduksi
4.	Peraturan Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 2 Tahun 2005	Pengendalian Pencemaran Udara.
5.	Keputusan Gubernur Propinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 587/1980	Penetapan Kriteria Ambien Kualitas Udara dan ambien Bising dalam wilayah DKI Jakarta
6.	Keputusan Gubernur Propinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 587/1990	Penetapan Baku Mutu Udara Emisi Kendaraan Bermotor di wilayah DKI Jakarta
7.	Keputusan Gubernur Propinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 551/2001	Penetapan Baku Mutu Udara Ambien dan Baku Tingkat Kebisingan di Propinsi DKI Jakarta

UU-RI Nomor 23 tahun 1997, merupakan payung bagi peraturan mengenai pengelolaan dan pelestarian lingkungan hidup. Dalam aturan ini dinyatakan batasan pengelolaan lingkungan hidup serta pembagian wewenang pengelolaan lingkungan hidup antara pemerintah dan pemerintah daerah.

Pemberian wewenang pengelolaan lingkungan hidup pada pemerintah daerah (Pemda) yang dinyatakan dalam UU-RI Nomor 23 tahun 1997 tersebut kemudian diperkuat pada undang-undang nomor 32 tahun 2004 tentang pemerintahan daerah atau undang-undang yang mengatur otonomi daerah. Dalam kebijakan tersebut pengendalian lingkungan hidup merupakan wewenang dan pelestarian lingkungan hidup merupakan

kewajiban pemerintah daerah. Khusus untuk Jakarta sebagai Ibukota negara dengan kewajiban dan tanggungjawab tertentu yang lebih lanjut diatur dalam undang-undang tersendiri (Undang-undang Nomor 34 tahun 1999 tentang Pemerintahan Daerah Khusus Jakarta).

Dalam undang-undang nomor 32 tahun 2004 (tentang Otonomi Daerah) dinyatakan bahwa Jakarta sebagai Ibukota negara mempunyai beberapa fungsi lain seperti yang diberikan pada pasal 227 undang-undang tersebut. Dalam kaitannya dengan lingkungan hidup, peraturan tersebut menegaskan bahwa harus adanya keterpaduan dalam rencana tata-ruang Jakarta dan tata ruang daerah sekitarnya, yang pengkoordinasiannya diatur secara tersendiri. Koordinasi antara wilayah Jabodetabek dalam tata ruang merupakan hal penting dalam pengembangan sistem transportasi di wilayah tersebut.

Jakarta sebagai wilayah perkotaan memegang peranan penting dalam perkembangan budaya, ekonomi, dan politik. Dalam kedudukannya sebagai ibukota negara maka perkembangan budaya, ekonomi, dan politik, menjadi barometer bagi Indonesia. Hal tersebut menyebabkan campur tangan pemerintah pusat baik dalam kaitannya dengan ekonomi, politik, dan pengelolaan lingkungan hidup tidak dapat dihindari. Dengan demikian, pengelolaan lingkungan hidup di Jakarta seharusnya lebih mudah dilakukan.

Secara nasional perangkat hukum yang mengaturnya pencemaran udara dituangkan dalam bentuk Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Dalam PP tersebut telah diatur penanggulangan pencemaran udara yang meliputi pengawasan terhadap penataan ambang batas emisi gas buang, pemeriksaan emisi gas buang baik untuk kendaraan baru maupun lama, dan pengadaan bensin bebas timah hitam serta solar berkadar belerang rendah sesuai dengan standar internasional.

Untuk operasionalisasi dari PP tersebut dikeluarkan beberapa keputusan diantaranya:

1. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 141 tahun 2003 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi, menyatakan bahwa standar Euro 2 akan diterapkan mulai

Januari 2005 untuk kendaraan tipe baru dan Januari 2007 untuk kendaraan tipe produksi yang sudah beredar.

2. Pemeriksaan emisi gas buang kendaraan bermotor baik untuk tipe baru maupun lama, dilaksanakan dibawah koordinasi Gubernur. Pelaksanaan dari aturan tersebut telah ditindaklanjuti dalam bentuk Peraturan Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 2 Tahun 2005 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Namun, lampiran dari aturan tersebut yang berupa standar baku mutu udara ambien tidak terdapat dalam peraturan ini. Dengan demikian, diasumsikan bahwa baku mutu udara ambien untuk Jakarta masih mengacu pada baku mutu udara ambien yang ditetapkan oleh keputusan Gubernur Nomor 551/2001.
3. Pengadaan bahan bakar bebas timah hitam dan rendah sulfur, merupakan tanggung jawab Pemerintah Pusat yang dilaksanakan oleh instansi lain. Dalam melaksanakan Peraturan ini Pemerintah Daerah Khusus Ibukota Jakarta merealisasikan dalam dalam Peraturan Pemerintah Daerah pada pasal 18 dengan mengadakan bahan bakar yang ramah lingkungan. Di samping itu, pada pasal 20 dinyatakan bahwa angkutan umum dan kendaraan operasional Pemerintah Daerah wajib menggunakan bahan bakar gas.

Dalam pelaksanaan peraturan bahan bakar bebas timbel dan rendah sulfur, Jakarta merupakan salah satu wilayah yang menjadi prioritas pemerintah untuk mendistribusikan bahan bakar seperti yang dimaksud dalam peraturan pemerintah tersebut. Perubahan spesifikasi bahan bakar tersebut merupakan kebijakan CAC standar teknologi yang membutuhkan pendanaan yang tidak sedikit bagi pemerintah Indonesia, sehingga dibutuhkan prioritas pelaksanaan untuk wilayah-wilayah tertentu.

Berdasarkan keputusan Gubernur yang telah dibuat oleh beberapa Gubernur terdahulu mengenai pengendalian pencemaran udara dari kendaraan bermotor, dapat disimpulkan bahwa kelengkapan perangkat hukum dalam pengendalian pencemaran udara telah tersedia semenjak tahun 1980-an. Pengaturan mengenai baku mutu emisi kendaraan bermotor telah diatur sejak tahun 1990. Meningkatnya pencemaran udara di Jakarta membuktikan bahwa aturan tersebut tidak dapat dilaksanakan.

Tidak berjalannya peraturan standar emisi kendaraan terutama disebabkan oleh sulitnya melakukan kontrol terhadap emisi dari masing-masing kendaraan. Sekalipun, dilakukan uji emisi terhadap kendaraan di jalan, tidak akan mempengaruhi total emisi kendaraan. Di samping itu, emisi kendaraan bermotor tidak hanya dipengaruhi oleh masalah teknis kendaraan, tetapi juga dipengaruhi oleh perilaku masyarakat dalam membeli dan menggunakan kendaraan.

Untuk mengatasi perilaku masyarakat tersebut beberapa negara menerapkan kebijakan lingkungan dalam bentuk kebijakan instrumen insentif berupa pajak dan subsidi. Kebijakan pajak BBM misalnya mempengaruhi jumlah perjalanan yang dilakukan di Amerika Serikat dan negara-negara Eropa (Fullerton *et al.* 2005; Beltran 1996). Pajak BBM juga mempengaruhi masyarakat untuk memiliki kendaraan yang lebih kecil yang lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar. Pajak kendaraan yang memperhitungkan umur kendaraan akan mempengaruhi konsumen untuk memiliki kendaraan yang baru dengan teknologi kontrol emisi yang lebih baik.

Pajak BBM di Amerika Serikat ataupun di negara-negara Eropa tidak bertujuan untuk menurunkan tingkat emisi namun untuk mengubah perilaku yang merusak lingkungan, karena itu masih disebut pajak lingkungan. Pajak BBM di Eropa disebut instrumen fiskal lingkungan yang didesain untuk meningkatkan pendapatan. Revenu dari pajak ini digunakan untuk perbaikan lingkungan dan sebagian digunakan untuk hal lain misalnya menutupi defisit dari anggaran (Beltran 1996).

Permasalahan pelaksanaan kebijakan standar emisi kendaraan di Jakarta adalah emisi dari kendaraan lama. Karena itu, penggunaan alat kontrol polusi (*pollution control equipment* = PCE) seperti katalik konverter atau filter diesel harus dilaksanakan dengan melakukan subsidi. Kombinasi antara beberapa instrumen insentif seperti pajak pada kendaraan tahunan dengan memperhitungkan umur kendaraan dan subsidi untuk penggunaan PCE merupakan kombinasi instrumen insentif yang dapat mereduksi emisi dari kendaraan dengan efektif (Fullerton & West 2000).

---

## BAB V PROSES PEMODELAN

### 5.1 Identifikasi Model

Model sistem dinamik yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Sub-model Emisi.

Untuk menentukan emisi yang mempengaruhi kualitas udara penelitian ini, menghitung emisi dari tiga sumber emisi yaitu:

- a. Emisi dari sumber Industri.
- b. Emisi dari sumber Domestik.
- c. Emisi dari sumber kendaraan bermotor.

2. Sub-model Dispersi.

Sub-model dispersi adalah model yang digunakan untuk menentukan konsentrasi polutan dari suatu wilayah pemantauan tertentu. Penelitian ini menggunakan model dispersi Gaussian untuk wilayah perkotaan.

3. Sub-model Dampak Pencemaran.

Sub-model dampak pencemaran terdiri atas:

- a. Dampak pencemaran pada kesehatan manusia pada suatu wilayah tertentu.
- b. Degradasi lingkungan akibat pencemaran.
- c. Biaya sosial dan nilai ekonomi degradasi lingkungan.

Model kebijakan yang dikembangkan menggunakan MCDA terdiri dari:

1. Model kebijakan reduksi emisi  $PM_{10}$ .
2. Model kebijakan lingkungan.

## 5.2 Konstruksi Sub-model Emisi

Estimasi emisi yang disebabkan oleh kegiatan antropogenik terdiri atas 3 sumber emisi yaitu sumber dari industri, sumber domestik, dan sumber dari kendaraan bermotor.

### 1. Estimasi Emisi dari sumber Industri

Estimasi emisi total dari sumber industri adalah sebagai berikut:

$$E_{i,p,y,total} = E_{i,p,1995,total} * \frac{PDRB_y}{PDRB_{1995}} \quad (5.1)$$

$E_{i,p,y,total}$	(ton/tahun)	: Total emisi polutan p dari sumber industri, tahun y.
$E_{i,p,1995,total}$	(ton/tahun)	: Total emisi polutan p dari sumber industri, tahun 1995.
$PDRB_y$	(juta rupiah)	: Produk Domestik Regional Bruto Jakarta tahun y.
$PDRB_{1995}$	(juta rupiah)	: Produk Domestik Regional Bruto Jakarta thn 1995.
$p$		: Indeks polutan
$y$		: Indeks tahun estimasi.

$$PDRB_y = PDRB_{1995} * (1 + r)^{y-1995} \quad (5.2)$$

$PDRB_y$	(juta rupiah)	: Produk Domestik Regional Bruto Jakarta tahun y.
$PDRB_{1995}$	(juta rupiah)	: Produk Domestik Regional Bruto Jakarta tahun 1995.
$y$		: Indeks tahun estimasi.
$r$		: Pertumbuhan ekonomi.

Total emisi PM<sub>10</sub> dan PDRB tahun 1995 diberikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Emisi Total dari Sumber Industri

Tahun	PDRB (jt rp)	PM10 (ton/tahun)
1995	60,648,690	2,336

Sumber: Syahril *et al.* 2002.

Besarnya emisi dari sumber industri per grid diestimasi dengan persamaan 5.3.

$$E_{i,p,y,x} = E_{i,p,y,total} * F_k * \frac{A_{k,x} * D_i}{\sum_{x=1}^{x=n} [A_{k,x} * D_i]} \quad (5.3)$$

$E_{i,p,y,x}$  (ton/tahun) : Emisi polutan p dari sumber industri, tahun y, di grid x.

- $E_{i,p,y,total}$ (ton/tahun) : Total emisi polutan p dari sumber industri, tahun y.  
 $F_k$  : Fraksi penggunaan lahan industri di wilayah k  
 $A_x$  (km<sup>2</sup>) : Luas grid x di wilayah k.  
 $D_i$  : dugaan kandungan PM<sub>10</sub> dari sumber industri  
p : indeks polutan  
y : indeks tahun estimasi  
k : indeks wilayah(utara,timur,selatan,barat,pusat).  
x : indeks grid (x=1 sampai x=23).

## 2. Estimasi Emisi dari sumber Domestik

Estimasi emisi total dari sumber domestik adalah sebagai berikut:

$$E_{d,p,y} = P_y * EF_{d,p} \quad (5.4)$$

- $E_{d,p,y}$  (ton/tahun) :Emisi polutan p dari sumber domestik, tahun y.  
 $P_y$  : Populasi tahun ke y  
 $EF_{d,p}$  (ton/tahun) : Faktor emisi polutan p dari sumber domestik  
p : indeks polutan  
y : indeks tahun estimasi

Faktor emisi untuk sumber emisi domestik tahun 1995 diberikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Faktor Emisi Sumber Domestik

Parameter	PM10
Satuan:ton/kap/thn	3.17E-05

Sumber: Syahril *et al.* 2002.

Estimasi emisi per grid menggunakan persamaan berikut:

$$E_{d,p,y,x} = E_{d,p,y,total} * \frac{A_x}{\sum_{x=1}^{x=n} [A_x]} \quad (5.5)$$

$E_{d,p,y,x}$  (ton/tahun):Emisi total polutan p dari sumber domestik, thn y, di grid x.

$E_{d,p,y,total}$  (ton/tahun): Total emisi polutan p dari sumber domestik, tahun y.

- $Ax$  (km<sup>2</sup>) : Luas grid x.  
 $p$  : indeks polutan  
 $y$  : indeks tahun estimasi  
 $x$  : indeks grid ( $x = 1$  sampai  $x = 23$ ).

### 3. Estimasi Emisi dari Sumber Kendaraan Bermotor

Emisi total polutan per kategori kendaraan pada tahun ke  $y$ , diberikan dalam bentuk persamaan 5.6.

$$E_{v(c),p,y} = VKT_{c,y} * \frac{EF_{v(c),p}}{10^6} \quad (5.6)$$

$E_{v(c),p,y}$  : Emisi total polutan  $p$  dari kategori kendaraan  $c$  pada tahun ke  $y$  (ton/tahun)

$VKT_{c,y}$  : Perjalanan kendaraan kategori  $c$  pada tahun ke  $y$  (km/tahun)

$EF_{v(c),p}$  : Faktor Emisi kategori kendaraan  $c$  untuk polutan  $p$  (gram/km)

$p$  : Indeks polutan

$y$  : Tahun estimasi

$c$  : Kategori kendaraan

Matrik OD-1995 membagi kendaraan atas tiga kelompok, untuk itu dilakukan konversi pada bentuk kelompok data Ditlantas Polda-Metro Jaya dan perhitungan pertumbuhan diberikan pada Lampiran 2.

Estimasi emisi kendaraan per grid menggunakan rumus berikut:

$$E_{v(c),p,y,x} = E_{v(c),p,y,total} * \frac{COD_{c,y,x}}{\sum_{x=1}^{x=n} COD_{c,y,x}} \quad (5.7)$$

$E_{v(c),p,y,x}$  : Emisi polutan  $p$  dari kategori kendaraan  $c$  pada tahun ke  $y$  pada grid  $x$  (ton/tahun).

$E_{v(c),p,y}$  : Emisi total polutan  $p$  dari kategori kendaraan  $c$  pada tahun ke  $y$  (ton/tahun).

$COD_{c,y,x}$  : Matrik OD-konversi kategori kendaraan  $c$  pada tahun ke  $y$  pada grid  $x$  (kendaraan).

#### 4. Estimasi Emisi Total per Grid

Emisi total  $x = \text{Emisi (industri, } x) + \text{Emisi (domestik, } x) + \text{Emisi (kendaraan, } x)$   
Emisi (ton/tahun).

$x$  : grid ( $x = 1, \dots, 23$ ).

#### 5.3 Konstruksi Sub-model Dispersi

Model dispersi Gaussian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut (Schnelle & Dey 1999):

$$\bar{C} = \frac{(2/\pi)^{1/2} x^{(1-b)}}{a(1-b)\bar{u}} Q_a \quad (5.8)$$

di mana,

$\bar{C}$  adalah estimasi konsentrasi ambien polutan PM10 ( $\mu\text{gram}/\text{m}^3$ ).

$\bar{u}$  adalah kecepatan angin rata-rata (m/s).

$Q_a$  adalah emisi per satuan luas ( $\text{m}^2$ ).

$a$  dan  $b$  adalah parameter koefisien dispersi vertikal diberikan pada Tabel 13 di mana kondisi meteorologi Jakarta dalam klasifikasi Pasquill ditetapkan pada kondisi netral.

Tabel 13 Parameter Koefisien Dispersi Vertikal

Parameter a dan b untuk koefisien dispersi vertikal $\sigma_z$		
Kondisi Meteorologi	Parameter a	Parameter 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, dalam penelitian ini diambil 8 arah angin, sehingga nilai estimasi konsentrasi menjadi:

$$\bar{C} = \frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 f_{wd} C_{wd} \quad (5.9)$$

di mana,

$\bar{C}$  estimasi konsentrasi ambien ( $\mu\text{gram}/\text{m}^3$ ).

$f_{wd}$  frekuensi arah angin.

$C_{wd}$  konsentrasi polutan untuk masing-masing arah angin ( $\mu\text{gram}/\text{m}^3$ ).

Meningkatnya konsentrasi dibatasi oleh nilai *concentration decay* secara alami dari partikel tersebut. Menurunnya konsentrasi partikel untuk penelitian ini, ditentukan dari besaran curah hujan yang menghapus partikel tersebut, untuk partikel  $\text{PM}_{10}$  tingkat efisiensi dari penghapusan atau penurunan konsentrasi mencapai 55% (Colls 2002). Perhitungan untuk menentukan penurunan konsentrasi akibat curah hujan adalah sebagai berikut.

$$\text{Penurunan konsentrasi} = \text{Exp}(-\lambda t) \quad (5.10)$$

Nilai  $\lambda$  adalah konstanta untuk *concentration decay*, dalam penelitian ini  $\lambda = 0.825$ .

#### 5.4 Konstruksi Sub-model Dampak Pencemaran

Jumlah kasus gangguan kesehatan yang disebabkan oleh polutan diestimasi menggunakan fungsi dose-response. Kemiringan atau *slope* fungsi dose-response atau fungsi dosis-tanggapan yang digunakan diberikan pada Lampiran 5.

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

$$dHi = bi * \text{POPi} * dA \quad (3.11)$$

Di mana:

$dHi$  = jumlah kasus kesehatan  $i$

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

$\text{POPi}$  = penduduk di wilayah yang terpolusi

$dA$  = selisih konsentrasi ambien dan BMA.

Baku mutu udara ambien rata-rata tahunan untuk  $\text{PM}_{10}$  baik secara nasional maupun Jakarta tidak diperoleh, karena itu digunakan baku mutu udara ambien dari US-EPA, yaitu  $50 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ <sup>1</sup>.

$$\text{Jumlah Kasus Serangan Asma} = 0.0326 * (\text{PM}_{10} - \text{BMA}_{\text{PM}_{10}}) * \text{POP} * \text{AP}$$

<sup>1</sup> EPA, Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, 2007.

AP adalah persentase penduduk yang menderita asma, persentase rata-rata penduduk Jakarta yang menderita asma adalah 1.675 persen (BPS, 2003).

$$\text{Jumlah Kasus LRI} = 0.00169 * (\text{PM}_{10} - \text{BMA PM}_{10}) * \text{POP} * \text{PA}$$

LRI = Lower Respiratory Illness among Children; gangguan pernapasan pada anak-anak.

PA adalah persentase jumlah anak dibawah 5 tahun. Persentase jumlah anak di DKI Jakarta antara tahun 2000 sampai 2005 adalah 9.36 persen (BPS,2005).

$$\text{Jumlah Kasus RAD} = 0.0575 * (\text{PM}_{10} - \text{BMA PM}_{10}) * \text{POP} * \text{PK}$$

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

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

$$\text{TBi} = \text{Vi} * \text{dHi} \quad (5.11)$$

Di mana:

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 diberikan pada Lampiran 6.

Estimasi biaya sosial dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Biaya Sosial} = \sum \text{Nilai ekonomi kasus kesehatan} \quad (5.12)$$

Nilai ekonomi kasus kesehatan (juta rupiah).

Biaya sosial adalah jumlah nilai ekonomi dari gangguan kesehatan (juta rupiah).

Estimasi biaya amenity atau biaya non-kesehatan menggunakan hasil penelitian Lvovsky *et al.* (2000), di mana nilai biaya sosial adalah 68 persen dari total biaya kerusakan dan biaya amenity adalah 11 persen dari total nilai kerusakan.

Biaya degradasi adalah jumlah nilai ekonomi kasus kesehatan dan biaya kerusakan lingkungan non-kesehatan.

$$\text{Biaya degradasi} = \text{Biaya Sosial} + \text{Biaya-non-kesehatan} \quad (5.13)$$

Biaya dalam juta rupiah.

Manfaat kendaraan dalam grid x, adalah:

fraksi jumlah kendaraan pada grid  $x$  \* jumlah kendaraan pada \* harga rata-rata kendaraan. Asumsi yang digunakan adalah bahwa harga jual kendaraan merupakan komponen dari manfaat kendaraan.

Manfaat bersih merupakan selisih dari manfaat kendaraan dan biaya degradasi.

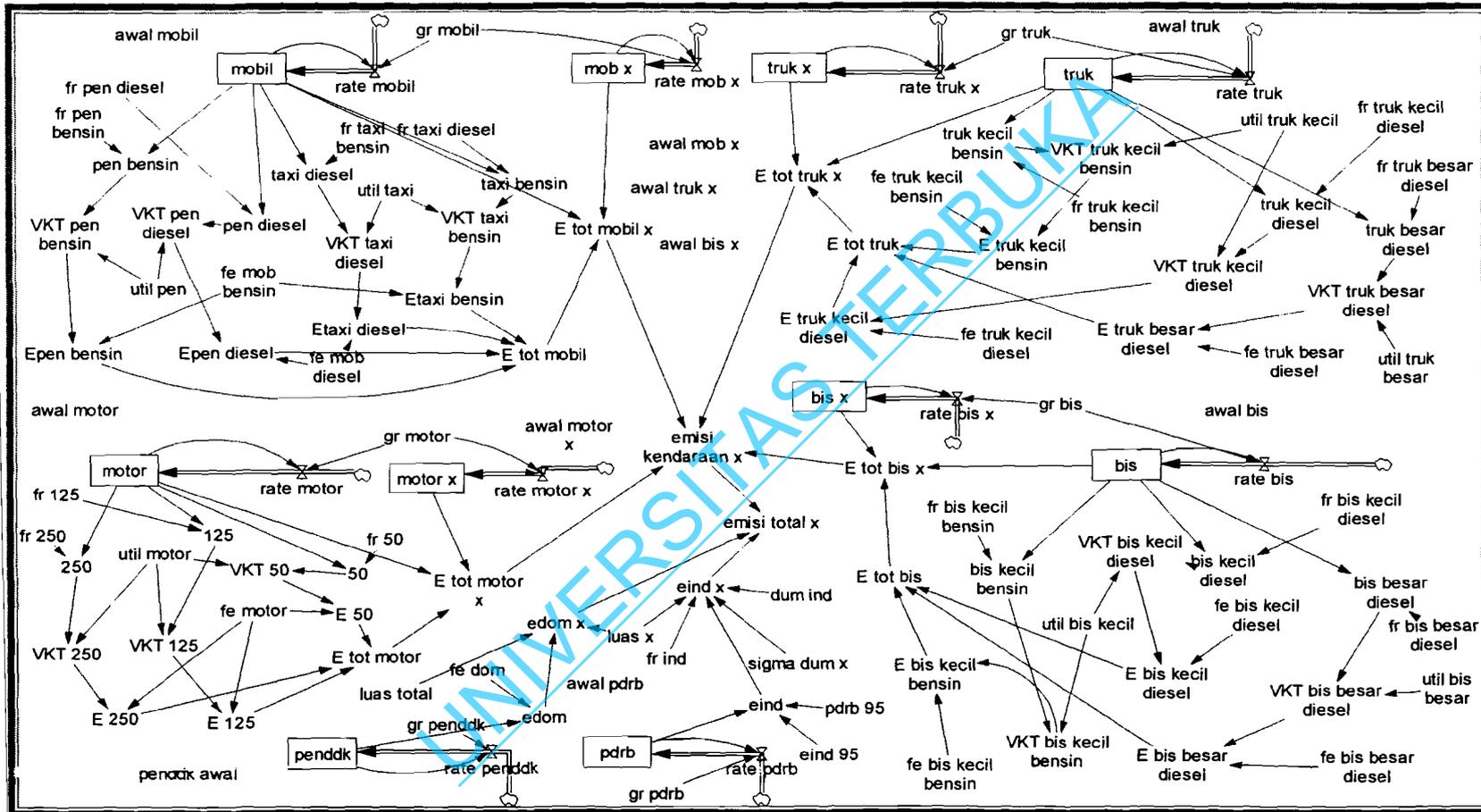
Manfaat Bersih = Manfaat Kendaraan - Biaya Degradasi

Nilai *net present value* (NPV) diestimasi dengan persamaan berikut:

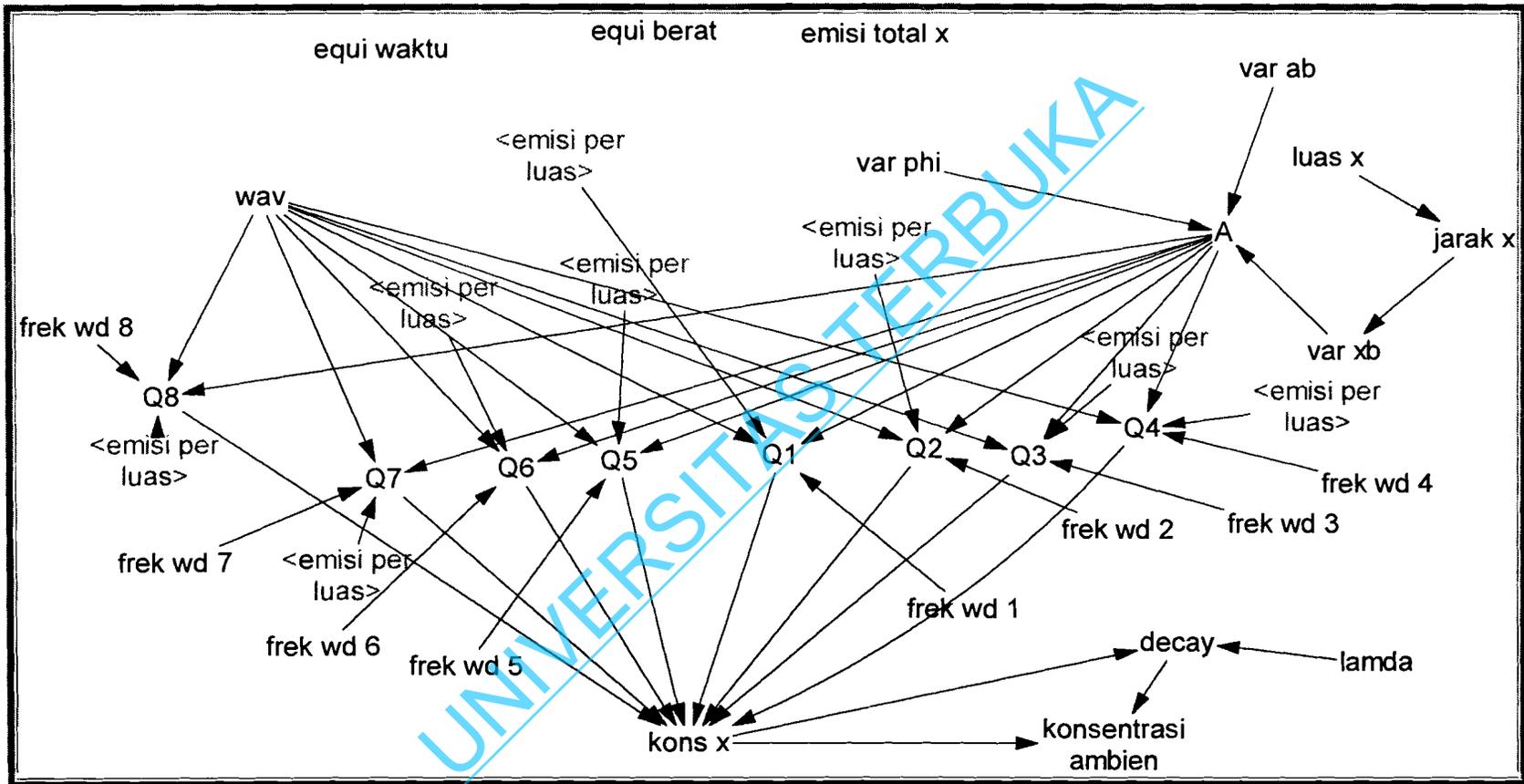
$$\text{Nilai NPV}(t) = \text{Manfaat Bersih}(t) * \text{EXP}(-\text{interest rate}) + \text{Nilai NPV}(t-1) \quad (5.14)$$

### 5.5 Template Model

Template model atau *stock flow diagram* (SFD) model memperlihatkan interaksi dari masing-masing variabel dalam model. Untuk kepentingan penulisan hasil penelitian ini, SFD dibagi atas 3 bagian yaitu sub-model emisi, sub-model dispersi, dan sub-model dampak pencemaran, masing-masing diberikan pada Gambar 18, Gambar 19 dan Gambar 20.



Gambar 18 Sub-model Emisi PM<sub>10</sub>



Gambar 19 Sub-model Dispersi PM<sub>10</sub>



## 5.6 Konstruksi Model Kebijakan

Pengembangan model kebijakan dimaksudkan untuk menentukan kebijakan terbaik yang dapat mereduksi emisi kendaraan bermotor. Agar diperoleh kebijakan terbaik analisis kebijakan dibagi atas 3 (tiga) tahap. Tahap pertama, ditujukan untuk menentukan efektivitas kebijakan untuk mereduksi variabel-variabel lingkungan, sosial dan ekonomi, melalui beberapa skenario kebijakan. Nilai variabel endogen yang diperoleh dari hasil simulasi model dinamis merupakan indikator efektivitas masing-masing skenario. Tahap kedua, menganalisis kebijakan yang diberikan dalam skenario tersebut dengan memasukan variabel institusi. Tahap ini dilakukan menggunakan MCDA untuk dapat memasukan variabel yang kualitatif, sehingga dapat dihasilkan kebijakan yang terbaik dalam mereduksi kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan ekonomi. Tahap ketiga, menganalisis kebijakan CAC dan IE, menggunakan MCDA.

Skenario kebijakan yang dibangun adalah sebagai berikut:

1. *Business as Usual* (BAU), estimasi terhadap pencemaran, keraguan sosial dan ekonomi dimasa mendatang tanpa melakukan suatu perbaikan. Untuk menentukan besarnya emisi, maka digunakan faktor emisi dengan teknologi yang tidak terkontrol.
2. Perubahan kebijakan dapat dilakukan melalui perbaikan teknologi kendaraan dengan memberlakukan baku mutu emisi yang lebih rendah. Kondisi ini dibangun untuk mengakomodasi kebijakan BME kendaraan bermotor seperti yang telah ditetapkan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 141 tahun 2003 mengenai Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dan Kendaraan Bermotor yang Sedang Diproduksi, yang menetapkan faktor emisi Euro2 sebagai standar emisi kendaraan.
3. Strategi reduksi emisi melalui kebijakan penggunaan BME kendaraan diesel disamakan dengan BME kendaraan bensin untuk kendaraan penumpang, bis dan truk kecil. Kebijakan ini telah diterapkan di Amerika Serikat mulai tahun 2004.
4. Strategi penurunan emisi dari kendaraan bermotor dengan membatasi penggunaan kendaraan penumpang dan sepeda motor, dengan melakukan substitusi melalui perbaikan peningkatan penggunaan transportasi publik (bis). Asumsi yang diambil pada kondisi ini adalah bahwa tingkat pertumbuhan

kendaraan penumpang dan sepeda motor, 50% dari tingkat pertumbuhan yang diterapkan untuk skenario lainnya. Sedangkan tingkat pertumbuhan bis, yang menjadi 1 (satu) persen, pada skenario lainnya tingkat pertumbuhan bis adalah 0 persen.

Skenario Euro2, Diesel, dan pembatasan volume kendaraan masing-masing disimulasikan untuk 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi di mana kebijakan diasumsikan dapat dilaksanakan sepenuhnya dan simulasi di mana kebijakan harus dilaksanakan secara bertahap. Hal tersebut dilakukan untuk membandingkan hasil dari kedua kondisi tersebut untuk digunakan sebagai dasar analisis kebijakan lebih lanjut.

Untuk menentukan alternatif kebijakan terbaik menggunakan Prime maka dibuat *value tree* dari permasalahan. *Value tree* merupakan gambaran dari struktur permasalahan yang memuat berbagai alternatif kebijakan beserta kriteria atau atributnya. Struktur *value tree* untuk reduksi emisi kendaraan diberikan dalam bentuk Tabel 14, yang memberikan gambaran permasalahan reduksi emisi dari kendaraan bermotor. Sedangkan *value tree* untuk kebijakan lingkungan diberikan pada Tabel 15.

Alternatif kebijakan untuk reduksi emisi kendaraan yang dikembangkan adalah kondisi kebijakan pada kondisi Euro2, Diesel dan Volume. Ketiga alternatif kebijakan tersebut akan dinilai dengan 4 kriteria/atribut, yaitu lingkungan, sosial, ekonomi, dan institusi. Masing-masing atribut ini memiliki sub-atribut, yang masing-masingnya memiliki nilai (skor) untuk setiap skenario atau alternatif kebijakan. Sedangkan untuk kebijakan lingkungan alternatif kebijakan yang dikembangkan adalah kebijakan CAC dan kebijakan instrumen ekonomi (IE).

Variabel-variabel endogen yang dihasilkan dari skenario model sistem dinamis pada kondisi BAU, standar emisi Euro2, BME diesel (Diesel), dan pembatasan penggunaan kendaraan penumpang dan sepeda motor (Volume), merupakan masukan atau nilai dari masing-masing atribut untuk model kebijakan menggunakan *Preference Ratios in Multiattribute Evaluati*. Menggunakan fasilitas *elicitation tour* digunakan untuk menentukan *Preference Ratios* yang ada, melalui pembobotan. Simulasi referensi

kendaraan penumpang dan sepeda motor, 50% dari tingkat pertumbuhan yang diterapkan untuk skenario lainnya. Sedangkan tingkat pertumbuhan bis, yang menjadi 1 (satu) persen, pada skenario lainnya tingkat pertumbuhan bis adalah 0 persen.

Skenario Euro2, Diesel, dan pembatasan volume kendaraan masing-masing disimulasikan untuk 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi di mana kebijakan diasumsikan dapat dilaksanakan sepenuhnya dan simulasi di mana kebijakan harus dilaksanakan secara bertahap. Hal tersebut dilakukan untuk membandingkan hasil dari kedua kondisi tersebut untuk digunakan sebagai dasar analisis kebijakan lebih lanjut.

Untuk menentukan alternatif kebijakan terbaik menggunakan Prime maka dibuat *value tree* dari permasalahan. *Value tree* merupakan gambaran dari struktur permasalahan yang memuat berbagai alternatif kebijakan beserta kriteria atau atributnya. Struktur *value tree* untuk reduksi emisi kendaraan diberikan dalam bentuk Tabel 14, yang memberikan gambaran permasalahan reduksi emisi dari kendaraan bermotor. Sedangkan *value tree* untuk kebijakan lingkungan diberikan pada Tabel 15.

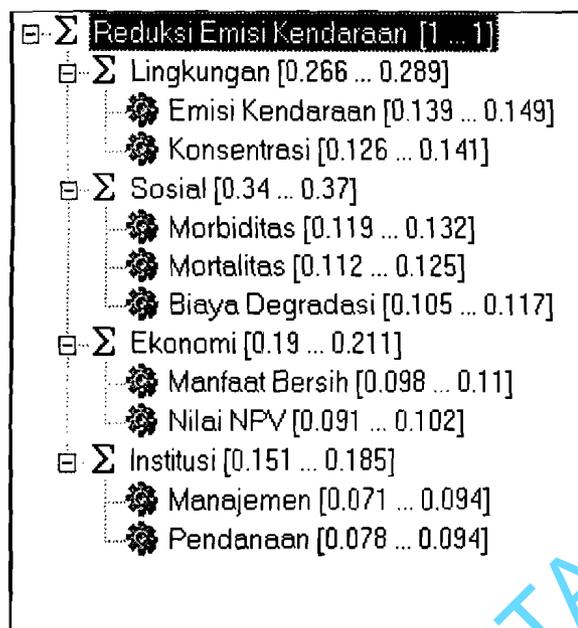
Alternatif kebijakan untuk reduksi emisi kendaraan yang dikembangkan adalah kondisi kebijakan pada kondisi Euro2, Diesel dan Volume. Ketiga alternatif kebijakan tersebut akan dinilai dengan 4 kriteria/atribut, yaitu lingkungan, sosial, ekonomi, dan institusi. Masing-masing atribut ini memiliki sub-atribut, yang masing-masingnya memiliki nilai (skor) untuk setiap skenario atau alternatif kebijakan. Sedangkan untuk kebijakan lingkungan alternatif kebijakan yang dikembangkan adalah kebijakan CAC dan kebijakan instrumen ekonomi (IE).

Variabel-variabel endogen yang dihasilkan dari skenario model sistem dinamis pada kondisi BAU, standar emisi Euro2, BME diesel (Diesel), dan pembatasan penggunaan kendaraan penumpang dan sepeda motor (Volume), merupakan masukan atau nilai dari masing-masing atribut untuk model kebijakan menggunakan Prime (*Preference Ratios in Multiattribute Evaluation*).

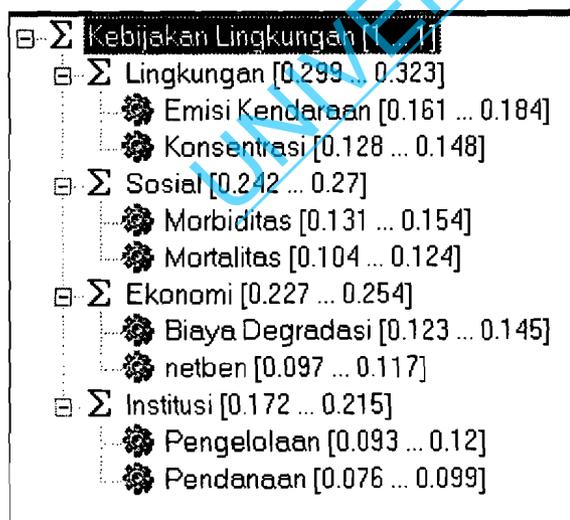
Menggunakan fasilitas *alternatives* dimasukkan nilai-nilai dari model dinamis. Fasilitas *elicitation tour* digunakan untuk menentukan preferensi terhadap pilihan kebijakan yang ada, melalui pembobotan. Sintesis preferensi dengan Prime menghasilkan 3 keluaran:

1. *Value interval* untuk semua alternatif.
2. *Weight interval* untuk atribut.
3. *Dominance structures* dan *decision rules*, untuk perbandingan antara alternatif.

Tabel 14 Value Tree Reduksi Emisi Kendaraan



Tabel 15 Value Tree Kebijakan Lingkungan



## BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN

### 6.1 Analisis Hasil Model Dinamis

Pencemaran udara pada kondisi BAU (*Bussiness as Usual*) menggunakan asumsi bahwa tingkat pertumbuhan PDRB adalah konstan sebesar 2 persen, tingkat pertumbuhan penduduk menggunakan pertumbuhan penduduk proyeksi penduduk tahun 2005-2025 dan faktor emisi adalah faktor emisi tidak terkontrol. Pertumbuhan tiap kelompok kendaraan menggunakan tingkat pertumbuhan tahun 2000.

#### 6.1.1 Estimasi Emisi

Model emisi menghasilkan emisi per sumber emisi dan total emisi. Emisi dan persentase emisi dari masing-masing sumber emisi diberikan pada Tabel 16. Tabel 16 menunjukkan bahwa meningkatnya emisi dari kendaraan menyebabkan kontribusi emisi kendaraan terhadap emisi total  $PM_{10}$  tetap meningkat, sedangkan kontribusi emisi dari sumber industri dan domestik terhadap emisi total  $PM_{10}$  menurun.

Tabel 16 Estimasi Emisi dari sumber Kendaraan, Domestik, dan Industri

Tahun	Emisi (ton/tahun)				Persentase Terhadap Emisi Total		
	Kendaraan	Domestik	Industri	Total	Kendaraan	Domestik	Industri
2005	8,812	264	2,749	11,826	74.5	2.2	23.2
2006	9,400	266	2,804	12,470	75.4	2.1	22.5
2007	10,036	268	2,861	13,165	76.2	2	21.7
2008	10,725	271	2,918	13,913	77.1	1.9	21
2009	11,471	273	2,976	14,720	77.9	1.9	20.2
2010	12,281	275	3,036	15,592	78.8	1.8	19.5
2011	13,160	277	3,096	16,534	79.6	1.7	18.7
2012	14,114	280	3,158	17,552	80.4	1.6	18
2013	15,149	282	3,221	18,653	81.2	1.5	17.3
2014	16,275	284	3,286	19,845	82	1.4	16.6
2015	17,498	287	3,352	21,136	82.8	1.4	15.9
2016	18,827	289	3,419	22,535	83.5	1.3	15.2
2017	20,274	292	3,487	24,052	84.3	1.2	14.5
2018	21,847	294	3,557	25,698	85	1.1	13.8
2019	23,561	296	3,628	27,485	85.7	1.1	13.2
2020	25,426	299	3,700	29,426	86.4	1	12.6
2021	27,459	301	3,774	31,535	87.1	1	12
2022	29,674	304	3,850	33,827	87.7	0.9	11.4
2023	32,088	306	3,927	36,321	88.3	0.8	10.8
2024	34,721	309	4,005	39,036	88.9	0.8	10.3
2025	37,593	311	4,086	41,990	89.5	0.7	9.7

Estimasi emisi dari kendaraan pada tahun 2005 sekitar 8812 ton/tahun dan terus meningkat sehingga estimasi emisi dari kendaraan pada tahun 2025 sebesar 37593 ton/tahun. Meningkatnya emisi dari kendaraan tersebut menyebabkan kontribusi emisi dari kendaraan pada emisi total di Jakarta meningkat dari 74.5 persen pada tahun 2005 dan mencapai 89.5 persen pada 2025.

Hasil penelitian Syahril *et al.* (2002) menyimpulkan bahwa pada tahun 1998 kontribusi emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan lebih dari 70 persen terhadap emisi total. Sedangkan hasil penelitian Ostro (1994) menyimpulkan bahwa kontribusi emisi dari kendaraan pada tahun 1994 sebesar 30 persen dari emisi total. Hal ini memberikan gambaran bahwa meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor menyebabkan meningkatkan emisi  $PM_{10}$ .

Tabel 17 Persentase Emisi per Kategori Kendaraan

Persentase Emisi per Kategori Kendaraan		
Penumpang	Pribadi	36.1
	Taxi	7.5
Truk		28.8
Bis		9.9
Motor		17.7
Total		100.0

Tabel 17 memperlihatkan persentase emisi dari kendaraan berdasarkan kategori kendaraan terhadap emisi total dari kendaraan. Tabel 17 menunjukkan bahwa kontribusi emisi terbesar berasal dari kendaraan penumpang. Kendaraan penumpang pribadi menyumbangkan sebesar 36.1 persen dan taxi sebesar 7.5 persen pada total emisi dari kendaraan. Kontribusi emisi dari sepeda motor 17.7 persen, truk 28.8 dan bis 9.9 persen terhadap emisi total dari kendaraan.

Tabel 18 Emisi per Jenis Bahan Bakar

	Emisi Kendaraan (ton/tahun)		
	Bensin	Diesel	Total
Penumpang	1419	2422	
Truk	143	2395	
Bis	78	795	
Motor	1560		
Total	3200	5612	8812
Persentase	36.3	63.7	100.0

Kontribusi emisi dari kendaraan berdasarkan bahan bakar yang digunakan, diperoleh bahwa kendaraan berbahan bakar bensin berkontribusi 36.3 persen dan kendaraan diesel 63.7 persen dari total emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan. Tingginya kontribusi emisi dari kendaraan berbahan bakar bensin pada total emisi dari kendaraan disebabkan oleh tingginya jumlah kendaraan berbahan bakar bensin.

Dari total kendaraan penumpang, sekitar 77 persen adalah kendaraan penumpang berbahan bakar bensin. Pada Lampiran 3 diberikan faktor emisi  $PM_{10}$  dari masing-masing kategori kendaraan, di mana faktor emisi kendaraan berbahan bakar bensin lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar solar. Tingginya jumlah kendaraan berbahan bakar bensin dan kilometer perjalanan per tahun merupakan penyebab tingginya emisi dari kendaraan berbahan bakar bensin secara total.

Kecenderungan meningkatnya emisi dari kendaraan dapat diperlihatkan dari hasil estimasi kurva meningkatnya emisi dari kendaraan per tahun. Hasil estimasi kurva menunjukkan bahwa R-kuadrat dari fungsi eksponensial memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan nilai R-kuadrat dari fungsi lainnya (Tabel 19). Dengan demikian, maka emisi dari kendaraan meningkat secara eksponensial.

Tabel 19 Kurva Estimasi Emisi Kendaraan

**Model Summary and Parameter Estimates**

Dependent Variable: emisi

Equation	Model Summary						Parameter Estimates		
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	
Linear	.952	376.915	1	19	.000	-2764863	1381.839		
Quadratic	.953	381.624	1	19	.000	-1373084	.000	.343	
Exponential	.999	22094.727	1	19	.000	4.79E-060	.073		

The independent variable is tahun.

Meningkatnya emisi dari kendaraan per tahun mengikuti fungsi eksponensial mengakibatkan kecepatan pertumbuhan dari emisi kendaraan per tahun juga akan mengikuti fungsi eksponensial. Hal tersebut menyatakan bahwa besarnya peningkatan per tahun akan bertambah dengan cepat.

Model dinamis yang didisain per grid memberikan bahwa tingkat emisi per wilayah akan berbeda sesuai dengan jumlah kendaraan yang menuju dan meninggalkan wilayah tersebut. Data matrik-OD memberikan bahwa wilayah Jakarta Barat merupakan wilayah dengan jumlah kendaraan tertinggi, diikuti oleh Jakarta Timur, Jakarta Selatan,

Jakarta Utara dan Jakarta Pusat. Hasil estimasi emisi kendaraan yang diperoleh dari model dinamis menunjukkan hal yang sama (Tabel 20).

Dari Tabel 20 diperoleh informasi bahwa wilayah yang berbatasan dengan wilayah Bodetabek memiliki tingkat emisi yang tinggi. Hal tersebut dapat dimengerti karena meningkatnya proses sub-urbanisasi di wilayah Bodetabek (Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi) menyebabkan meningkatnya pola penglaju (*commuting*) dari wilayah tersebut ke Jakarta. Karena itu, perkembangan jumlah penduduk di wilayah Bodetabek sangat menentukan tingkat pencemaran dan kemacetan di Jakarta.

Analisis pertumbuhan penduduk di wilayah Bodetabek dalam kurun waktu 1995-2004 menyimpulkan bahwa rata-rata pertumbuhan penduduk di wilayah tersebut meningkat sebesar 3.29 persen per tahun. Apabila pertumbuhan tersebut tetap terjadi atau bahkan meningkat, maka dapat diprediksi bahwa tingkat pencemaran udara dan tingkat kemacetan di Jakarta akan semakin meningkat.

Tabel 20 Emisi Kendaraan per Wilayah

Tahun	Emisi Kendaraan per Wilayah (ton/tahun)				
	Jakut	Jaktim	Jaksel	Jakbar	Jakpus
2005	1,611	1,953	1,926	2,100	1,223
2006	1,715	2,083	2,053	2,241	1,308
2007	1,827	2,225	2,190	2,393	1,400
2008	1,948	2,378	2,339	2,559	1,501
2009	2,078	2,545	2,501	2,738	1,610
2010	2,219	2,725	2,676	2,932	1,728
2011	2,372	2,921	2,865	3,144	1,857
2012	2,538	3,134	3,071	3,373	1,997
2013	2,717	3,366	3,295	3,622	2,150
2014	2,911	3,617	3,538	3,893	2,316
2015	3,122	3,890	3,801	4,187	2,497
2016	3,350	4,188	4,088	4,507	2,694
2017	3,598	4,511	4,400	4,856	2,908
2018	3,868	4,864	4,739	5,235	3,142
2019	4,160	5,247	5,107	5,648	3,397
2020	4,478	5,665	5,509	6,098	3,676
2021	4,824	6,121	5,946	6,589	3,979
2022	5,200	6,617	6,423	7,123	4,311
2023	5,609	7,159	6,950	7,706	4,672
2024	6,054	7,750	7,508	8,342	5,068
2025	6,539	8,394	8,126	9,036	5,499

Tabel 20 memperlihatkan bahwa emisi dari kendaraan per wilayah meningkat antara 6-8 persen per tahunnya. Peningkatan emisi dari kendaraan per tahun tertinggi terdapat di wilayah Jakarta Pusat.

Estimasi emisi total per wilayah menunjukkan bahwa emisi total tertinggi terdapat di wilayah Jakarta Utara (Jakut), diikuti oleh Jakarta Timur (Jaktim), Jakarta Barat (Jakbar), Jakarta Selatan (Jaksel), dan Jakarta Pusat (Gambar 21). Analisis pada tahun 2004 dari data matrik-OD memberikan bahwa jumlah kendaraan yang melalui wilayah Jakut adalah sekitar 13.9 persen dari total kendaraan yang melalui Jakarta. Jadi, tingginya emisi total di wilayah Jakarta Utara disebabkan oleh tingginya emisi dari sumber industri di wilayah tersebut. Hal tersebut terlihat dari persentase penggunaan lahan industri di Jakarta di mana 52.4 persen lahan industri di Jakarta terdapat di wilayah Jakarta Utara.

Ditinjau dari lahan industri, 27.3 persen dari lahan industri di Jakarta terdapat di wilayah Jakarta Timur. Emisi dari sumber industri pada wilayah Jakarta Timur menyebabkan tingginya emisi total pada wilayah ini. Selain emisi dari sumber industri, emisi dari kendaraan di wilayah ini juga tinggi, sehingga setelah tahun 2016 estimasi emisi total di wilayah Jakarta Timur lebih tinggi dari emisi total di wilayah Jakarta Utara.

Wilayah Jakarta Barat memiliki 12.4 persen dari total lahan industri di Jakarta dan emisi kendaraan tertinggi terletak di wilayah ini. Dengan demikian emisi total pada wilayah ini juga akan meningkat dan setelah tahun 2018 emisi total di Jakarta Barat akan melampaui emisi total di wilayah Jakarta Utara.

Wilayah Jakarta Selatan dan Jakarta Pusat memiliki lahan industri masing-masing 5.7 dan 2.2 persen dari total lahan industri di Jakarta. Jadi, tingginya emisi total di wilayah tersebut sebagian besar berasal dari sumber kendaraan bermotor.

Sekalipun emisi dari sumber domestik merupakan bagian dari emisi total, namun karena rendahnya kontribusi emisi dari sumber domestik dibandingkan dengan emisi dari kedua sumber emisi lainnya maka emisi dari sumber domestik tidak dianalisis secara khusus. Kontribusi emisi dari sumber domestik terhadap emisi total yang diperoleh pada penelitian ini berbeda dengan yang diperoleh Ostro (1994), di mana 35 persen emisi berasal dari pembakaran BBM termasuk dari sumber domestik. Perbedaan ini mungkin disebabkan jumlah rumah tangga yang menggunakan bahan bakar minyak berkurang dan beralih ke bahan bakar gas.

Perbedaan kontribusi emisi dari kendaraan, industri, dan domestik yang diperoleh Ostro (1994) disebabkan sumber emisi yang diperhitungkan oleh Ostro (1994) termasuk

dari sumber incenerator (8 persen) dan sumber lainnya 8 persen. Dengan demikian, kontribusi emisi dari masing-masing sumber terhadap total emisi akan lebih kecil.

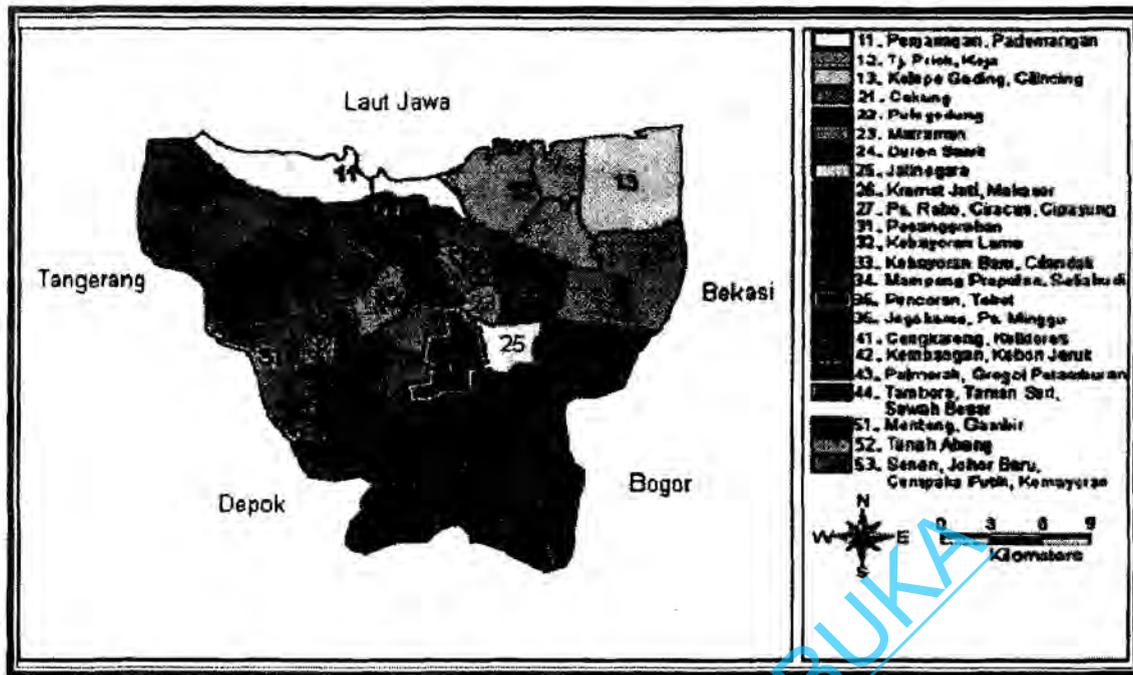


Gambar 21 Emisi Total per Wilayah di Jakarta

### 6.1.2 Estimasi Konsentrasi Ambien $PM_{10}$

Analisis mengenai emisi total dibutuhkan karena emisi total merupakan masukan bagi model dispersi yang digunakan untuk mengestimasi konsentrasi ambien  $PM_{10}$ . Hasil model dinamis untuk estimasi konsentrasi ambien  $PM_{10}$  pada masing-masing grid diberikan pada Lampiran 9. Estimasi konsentrasi ambien  $PM_{10}$  di Jakarta bervariasi untuk setiap wilayahnya, dengan nilai minimum terdapat di wilayah Pasar Minggu dan Jagakarsa (grid 36) dan nilai maksimum pada wilayah Tambora, Taman Sari dan Sawah Besar (grid 44).

Ditinjau dari konsentrasi ambien  $PM_{10}$  per grid yang terdapat di masing-masing wilayah maka pada grid 36 (Pasar Minggu dan Jagakarsa) di wilayah Jakarta Selatan sampai dengan tahun 2010 konsentrasi ambien  $PM_{10}$  masih berada di bawah BMA untuk kesehatan. Grid 21 (Cakung) pada tahun 2005 memiliki konsentrasi ambien  $50.16 \mu\text{gram}/\text{m}^3$  atau sedikit di atas BMA. Grid 27 (Pasar Rebo, Cipayung, dan Ciracas) pada tahun 2005 memiliki konsentrasi ambien  $48.64 \mu\text{gram}/\text{m}^3$  dan pada tahun 2006 konsentrasi ambien menjadi  $50.79 \mu\text{gram}/\text{m}^3$  atau pada batas BMA untuk kesehatan. Di luar ketiga grid tersebut konsentrasi ambien  $PM_{10}$  mulai tahun 2005 telah melampaui BMA untuk kesehatan, sebaran konsentrasi ambien  $PM_{10}$  diberikan pada Gambar 22.



Gambar 22 Sebaran Konsentrasi Ambien  $PM_{10}$

Sebaran konsentrasi  $PM_{10}$  untuk seluruh wilayah Jakarta dapat dibagi dalam beberapa kategori:

1. Wilayah yang masih berada pada ambang batas, yaitu grid 36 (Pasar Minggu dan Jagakarsa); grid 27 (Ps Rebo, Ciracas, dan Cipayung) dan grid 21 (Cakung).
2. Wilayah dengan konsentrasi ambien di atas ambang batas sampai dengan  $100 \mu\text{gram}/\text{m}^3$ . Wilayah ini terdiri dari grid 13 (Cilincing); grid 24 (Duren Sawit); grid 26 (Kramat Jati dan Makassar); grid 31 (Pasangrahan); grid 32 (Kebayoran Lama); grid 33 (Kebayoran Baru dan Cilandak); grid 41 (Cengkareng dan Kalideres); dan grid 42 (Kembangan dan Kebon Jeruk).
3. Wilayah dengan konsentrasi ambien antara  $100$  sampai dengan  $120 \mu\text{gram}/\text{m}^3$  yaitu grid 11 (Penjaringan dan Pademangan); grid 23 (Matraman); grid 25 (Jatinegara); grid 34 (Mampang Prapatan dan Setia Budi); dan grid 52 (Tanah Abang).
4. Wilayah dengan konsentrasi ambien antara  $120$  sampai dengan  $140 \mu\text{gram}/\text{m}^3$  yaitu grid 43 (Palmerah dan Grogol Petamburan); 35 (Pancoran dan Tebet); 12 (Tanjung Priok, Koja, dan Kelapa Gading); 53 (Senen, Johar Baru, Cempaka Putih, dan Kemayoran); 51 (Menteng dan Gambir), 22 (Pulo Gadung).

5. Wilayah dengan konsentrasi ambien  $PM_{10}$  tertinggi yaitu grid 44 (Tambora, Taman Sari, dan Sawah Besar).

Konsentrasi ambien  $PM_{10}$  hasil model memperlihatkan bahwa wilayah Jakarta Pusat secara rata-rata memiliki konsentrasi ambien  $PM_{10}$  yang tinggi sekalipun wilayah ini memiliki emisi total paling rendah dibandingkan dengan wilayah lainnya. Jadi, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi ambien tidak hanya bergantung pada emisi.

Hubungan antara emisi dari kendaraan dan konsentrasi ambien  $PM_{10}$  dapat dianalisis menggunakan kurva estimasi yang diberikan pada Tabel 21. Tabel 21 memberikan bahwa kedua estimasi kurva (linier dan kuadratik) memberikan nilai R-kuadrat yang sama. Namun fungsi kuadratik menggambarkan adanya penurunan konsentrasi untuk peningkatan emisi dari kendaraan, dengan tanda negatif pada konstanta  $b_2$ . Hal ini secara intuitif dan teoritis tidak dapat dibenarkan, sehingga hubungan yang paling mungkin adalah fungsi linier.

Tabel 21 Kurva Estimasi Konsentrasi dan Emisi Kendaraan

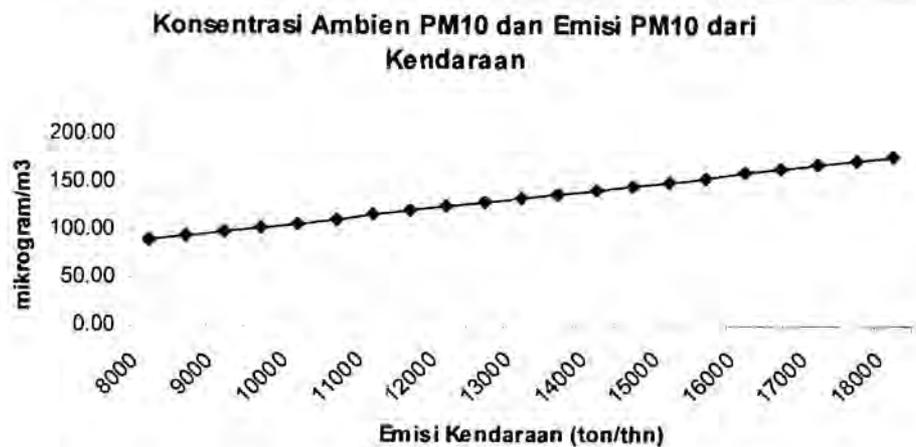
**Model Summary and Parameter Estimates**

Dependent Variable: konsentrasi

Equation	Model Summary					Parameter Estimates		
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
Linear	1.000	247128.7	1	19	.000	19.526	.009	
Quadratic	1.000	2383426	2	18	.000	15.619	.009	-9.6E-009
Exponential	.968	569.073	1	19	.000	73.263	4.49E-005	

The independent variable is emisikendaraan.

Hubungan yang diperoleh dari estimasi kurva tersebut dapat digunakan untuk memetakan hubungan antara emisi dari kendaraan dan konsentrasi ambien  $PM_{10}$  yang diberikan pada Gambar 23. Gambar 23 memperlihatkan bahwa dengan estimasi emisi dari kendaraan yang dihasilkan dari sistem dinamis, diperoleh bahwa konsentrasi ambien  $PM_{10}$  di Jakarta telah melampaui BMA untuk kesehatan.



Gambar 23 Hubungan antara Konsentrasi Ambien PM<sub>10</sub> dan Emisi Kendaraan

Berdasarkan hubungan linier antara konsentrasi ambien PM<sub>10</sub> dan emisi PM<sub>10</sub> dari kendaraan diperoleh bahwa setiap kenaikan emisi PM<sub>10</sub> kendaraan sebesar 500 ton/tahun, akan meningkatkan konsentrasi ambien PM<sub>10</sub> sebesar 4.37  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ . Dengan demikian, untuk mencapai BMA yang memenuhi syarat kesehatan maka maksimal emisi dari kendaraan haruslah sebesar 3500 ton/tahun. Hal ini menyimpulkan bahwa harus ada upaya penurunan emisi kendaraan lebih dari 60 persen dari emisi kendaraan pada tahun 2005.

Meningkatnya konsentrasi ambien sejalan dengan meningkatnya emisi kendaraan disebabkan karena daya tampung lingkungan telah terlewati. Daya tampung lingkungan merupakan kemampuan lingkungan untuk dapat menampung limbah dan mengasimilasikan limbah tersebut sehingga tidak ada atau belum terjadi pencemaran (Soemarwoto 2001, Suparmoko & Suparmoko 2000). Dengan kata lain terdapat ambang batas lingkungan di mana suatu zat pencemar masih dapat ditenggang keberadaannya.

Udara merupakan suatu sumberdaya karena manusia membutuhkan udara untuk konsumsi atau produksi untuk memenuhi kebutuhan dasarnya. Sebagai salah satu unsur ekosistem udara mempunyai baku mutu di mana pada kondisi tersebut, udara masih dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Karena itu salah satu cara menetapkan baku mutu udara adalah dengan mengaitkan interaksi antara manusia dan kualitas udara, di mana pada ambang batas tersebut manusia masih dapat memanfaatkan sumberdaya tersebut untuk memenuhi kebutuhan dasarnya (Soemarwoto 2001).

Hasil yang diperoleh dari model dinamis memperlihatkan bahwa secara rata-rata konsentrasi ambien  $PM_{10}$  di Jakarta telah melampaui BMA, artinya emisi kendaraan yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi ambien tersebut telah melampaui kemampuan lingkungan untuk mengadaptasi terhadap gangguan. Terlewatinya konsentrasi polutan di atas ambang batas lingkungan tersebut menyebabkan konsentrasi polutan akan meningkat secara tajam, seperti yang diperlihatkan pada hubungan antara emisi kendaraan dan konsentrasi ambien.

### 6.1.3 Estimasi Gangguan Kesehatan

Untuk menentukan dampak dari menurunnya kualitas udara pada kesehatan digunakan kurva dosis tanggapan atau kurva dose response yang merupakan relasi atau hubungan antara tingkat kualitas udara dan dampak kesehatan yang disebabkan. Secara definisi kurva dosis tanggapan atau (kurva dose response) menyatakan hubungan antara setiap rangsangan yang dapat diukur misalnya dalam konsentrasi dan tanggapan (response) makhluk hidup dalam bentuk reaksi yang dihasilkan terhadap ranah kuantitatif yang sama (Connel & Miller 1995).

Suatu zat dikatakan pencemar apabila kepekatan zat tersebut telah berada di atas ambang batas keselamatan bagi makhluk hidup. Keadaan zat pencemar di atas ambang batas zat tersebut akan mempengaruhi penerima yang akan meningkatkan kerusakan baik yang terpulihkan maupun yang tidak terpulihkan dan bahkan menyebabkan kematian.

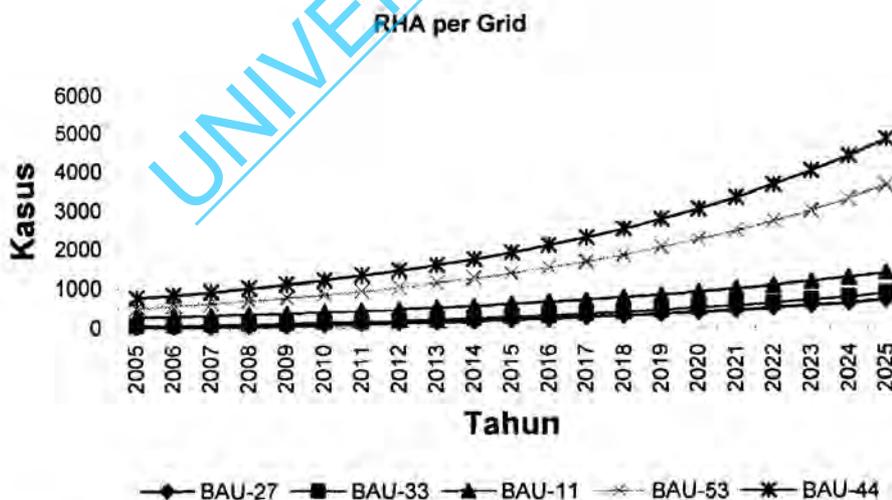
Secara konsep fungsi dosis tanggapan atau dose response adalah karena tanggapan atau respons yang ditimbulkan oleh pencemaran akan berbeda berkaitan dengan dosis dari zat pencemar. Karena itu, sangat penting dalam fungsi dose-response adalah adanya ambang batas dan bentuk kurva. Prinsip dasar toksikologi adalah bahwa semua zat pencemar memiliki ambang batas, yang didasarkan pada pemikiran bahwa alam memiliki mekanisme pemulihan sebelum menyebabkan efek pencemaran, kecuali bagi zat pencemar yang menyebabkan terjadinya kanker dan mutasi gen (Dickie dalam Spash & McNally 2001).

Ostro, 1994, menentukan fungsi dosis tanggapan (dose-response) Jakarta untuk mengestimasi dampak perubahan kesehatan dengan berubahnya konsentrasi ambien. Dampak kesehatan akibat dari pencemaran  $PM_{10}$  terdiri dari kasus kematian lebih awal

(PM), keterbatasan aktivitas harian atau hari kerja (RAD), gangguan penafasan harian (RSD), gangguan pernapasan pada anak-anak (LRI), serangan asma (AA), bronchitis kronis (BC), perawatan rumah sakit akibat gangguan pernapasan (RAD), dan kunjungan unit gawat darurat karena gangguan pernapasan (ERV). Fungsi dose response yang dikembangkan oleh Ostro (1994) diberikan pada Lampiran 5.

Berdasarkan fungsi dose response yang dikembangkan Ostro (1994) dan BMA yang digunakan, model dinamis menghasilkan dampak kesehatan yang disebabkan oleh pencemaran  $PM_{10}$  untuk setiap grid diberikan pada Lampiran 10. Dampak gangguan kesehatan untuk wilayah Jakarta yang merupakan agregat dari gangguan kesehatan per grid diberikan pada Tabel 22.

Tingginya nilai gangguan kesehatan yang diberikan pada Tabel 22 dapat dijelaskan dari hubungan antara meningkatnya dosis toksikan dan jumlah atau proporsi dari penanggap atau respons dari makhluk hidup. Connel & Miller (1995) menyatakan bahwa peran waktu sangat penting dalam memahami pengaruh racun pada makhluk hidup. Untuk waktu kontak yang sama terhadap zat toksikan dengan pemberian dosis yang berbeda menyebabkan jumlah proporsi yang menanggapi akan berbeda. Semakin tinggi dosis yang diberikan semakin curam kurva gangguan kesehatan yang disebabkan oleh zat toksikan (Gambar 24).



Gambar 24 Peningkatan Dosis Pencemaran dan Gangguan Kesehatan

Tabel 22 Gangguan Kesehatan Dampak Pencemaran PM10 di Jakarta

Gangguan Kesehatan Akibat Polutan PM10 DKI Jakarta (Kasus)								
Skenario : BAU								
Tahun	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	4,554	89,324	69,440,879	8,727,543	60,024	207,203	23,223	1,311
2006	5,111	100,270	77,948,929	9,796,968	67,379	232,593	26,068	1,472
2007	5,729	112,382	87,363,806	10,980,370	75,518	260,688	29,217	1,650
2008	6,402	125,590	97,630,896	12,270,886	84,394	291,327	32,651	1,844
2009	7,137	140,000	108,832,531	13,678,863	94,077	324,754	36,398	2,055
2010	7,939	155,729	121,059,481	15,215,710	104,647	361,241	40,487	2,286
2011	8,823	173,072	134,540,571	16,910,185	116,301	401,470	44,996	2,541
2012	9,799	192,217	149,423,056	18,780,798	129,166	445,881	49,973	2,822
2013	10,866	213,147	165,692,607	20,825,747	143,230	494,430	55,415	3,129
2014	12,032	236,037	183,486,431	23,062,275	158,612	547,528	61,366	3,465
2015	13,309	261,083	202,955,717	25,509,387	175,442	605,626	67,877	3,833
2016	14,707	288,499	224,267,570	28,188,085	193,865	669,222	75,005	4,236
2017	16,237	318,522	247,606,269	31,121,526	214,040	738,866	82,810	4,676
2018	17,914	351,414	273,175,249	34,335,285	236,143	815,164	91,362	5,159
2019	19,752	387,464	301,199,262	37,857,603	260,368	898,789	100,734	5,689
2020	21,767	426,992	331,926,389	41,719,664	286,930	990,479	111,011	6,269
2021	23,977	470,349	365,630,788	45,955,924	316,065	1,091,054	122,283	6,905
2022	26,402	517,925	402,615,246	50,604,437	348,035	1,201,415	134,652	7,604
2023	29,065	570,152	443,214,482	55,707,277	383,130	1,322,563	148,230	8,371
2024	31,988	627,504	487,798,154	61,310,895	421,670	1,455,601	163,140	9,213
2025	35,200	690,507	536,775,157	67,466,689	464,007	1,601,747	179,520	10,138

Secara teoritis pengaruh zat toksikan terhadap makhluk hidup terdiri dari letal dan subletal. Pengaruh suatu zat toksikan disebut letal (kematian) apabila pengaruh toksikan tersebut mengganggu proses sel atau subsel dalam makhluk hidup sampai suatu batas di mana kematian akan mengikuti secara langsung. Sedangkan pengaruh subletal (morbiditas) adalah pengaruh yang merusak kegiatan fisiologis atau perilaku tetapi tidak menyebabkan kematian secara langsung. Berdasarkan teori tentang pengaruh zat toksikan tersebut dan hasil dari model dinamis yang diberikan pada Tabel 22 disimpulkan bahwa pengaruh zat toksikan yang bersifat letal maupun subletal meningkat per tahunnya. Peningkatan kasus masing-masing gangguan kesehatan akibat zat pencemar tersebut sesuai dengan meningkatnya konsentrasi zat pencemar.

Asumsi yang digunakan pada model ini adalah penduduk bertambah secara konstan dengan tingkat pertumbuhan  $r = 0.0083$ , dengan asumsi tersebut maka jumlah penduduk Jakarta berkisar 8 sampai 9 juta jiwa selama masa estimasi. Angka kematian kasar untuk Jakarta adalah 0.036. Tabel 22 memberikan informasi bahwa pengaruhi

pencemaran  $PM_{10}$  pada penduduk Jakarta yang mengalami kematian lebih awal atau PM pada tahun 2005 lebih dari 1300 kasus dan meningkat menjadi 3833 kasus pada tahun 2015.

Ostro (1994) menggunakan angka kematian kasar Jakarta sebesar 0.085 dan standar udara ambien kota California sebesar  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , diperoleh hasil kasus kematian lebih awal (PM) sebesar 1700 kasus. Jika penelitian Ostro (1994) mengambil nilai BMA sebesar  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  maka nilai PM yang diestimasikan akan lebih besar.

Perbedaan yang sangat signifikan antara penelitian yang dilakukan Ostro (1994) dengan penelitian ini adalah pada kontribusi emisi kendaraan pada emisi total  $PM_{10}$ . Pada tahun 1994 emisi kendaraan sekitar 30 persen terhadap emisi total  $PM_{10}$ , emisi dari sumber industri sebesar 15 persen, 35 persen emisi dari pembakaran BBM termasuk dari sumber domestik, sisanya dari sumber lain. Jadi dapat disimpulkan bahwa kematian yang lebih awal pada tahun 1994 akibat pencemaran  $PM_{10}$  dapat disebabkan oleh berbagai sumber emisi. Sedangkan pada penelitian ini, emisi kendaraan merupakan penyebab utama menurunnya kualitas udara yang berdampak pada kematian yang lebih awal.

Sementara itu, penelitian oleh Syahril *et al.* 2002, untuk estimasi nilai kematian yang lebih awal (PM) pada tahun 2015 diperoleh nilai sebesar 7893 kasus. Syahril *et al.* 2002, menggunakan angka kematian kasar Jakarta sebesar 0.07 dan BMA tahunan sebesar  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sama seperti yang digunakan pada penelitian ini. Perbedaan nilai PM disebabkan karena nilai kematian kasar yang digunakan Syahril *et al.* (2002) hampir 2 (dua) kali lebih besar dari yang digunakan pada penelitian ini. Di samping itu, metode estimasi konsentrasi ambien Syahril *et al.* (2002) menggunakan model box sehingga besarnya konsentrasi pada setiap grid akan berbeda dengan yang digunakan pada penelitian ini. Sekalipun penelitian ini mengadopsi pembagian grid yang dilakukan Syahril *et al.* (2002) namun perbedaan besarnya konsentrasi menyebabkan dampak pencemaran pada grid tersebut akan berbeda.

Estimasi kasus bronchitis kronis dari Tabel 22 memberikan bahwa 0.3 persen dari total penduduk akan terkena bronchitis kronis pada tahun 2005. Dengan kata lain 0.3 persen dari penduduk Jakarta yang telah berada pada kondisi kronis akibat gangguan saluran pernapasan yang disebabkan oleh  $PM_{10}$ . Persentase penduduk yang mengalami

bronchitis kronis akan meningkat dan mencapai 1.8 persen dari jumlah penduduk pada tahun 2025.

Penduduk yang berpotensi terkena serangan asma adalah 1.675 persen dari jumlah penduduk Jakarta. Kasus serangan asma (AA) akibat dari pencemaran  $PM_{10}$  pada Tabel 22 menghasilkan bahwa jika setiap penduduk yang berpotensi asma mendapat serangan asma maka secara rata-rata pada tahun 2005 setiap orang akan mengalami 1.48 serangan asma. Jumlah serangan asma per tahun akan meningkat dan mencapai 9.7 kali serangan asma per orang pada tahun 2025.

Data kependudukan menunjukkan bahwa anak-anak dibawah 5 tahun di Jakarta sekitar 9.36 persen dari jumlah penduduk. Angka ini menunjukkan penduduk yang berpotensi terkena gangguan pernapasan pada anak-anak (LRI). Dari Tabel 22 dapat disimpulkan bahwa gangguan kesehatan dampak pencemaran lingkungan pada anak-anak pada tahun 2005 sekitar 7.7 persen dari jumlah anak-anak di Jakarta. Jumlah anak-anak yang mengalami gangguan kesehatan tersebut akan meningkat dan mencapai 50 persen dari jumlah anak-anak pada tahun 2025.

Keterbatasan aktivitas harian (RAD) diperoleh dengan menggunakan data kependudukan yang telah bekerja, atau sekitar 40 persen dari penduduk Jakarta. Tabel 22 memberikan bahwa lebih dari 78 juta kasus pada tahun 2005 dan diestimasi akan mencapai lebih dari 224 juta kasus pada tahun 2015. Menggunakan standar ambien  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Ostro (1994) mengestimasi kasus RAD untuk Jakarta sekitar 7 juta kasus. Sedangkan RAD hasil penelitian oleh Syahril *et al.* (2002) menggunakan BMA  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sama dengan yang digunakan pada penelitian ini untuk tahun 2015 diestimasi nilai RAD sebesar 43 juta kasus. Perbedaan hasil ini dapat terjadi karena perbedaan dalam persentase penduduk yang potensi terkena dampak RAD dan perbedaan pada besarnya konsentrasi per grid. Perbedaan estimasi konsentrasi  $PM_{10}$  antara beberapa penelitian tersebut menyebabkan perbedaan pada dampak kesehatan.

Gangguan pernapasan harian (RSD) diestimasi dari jumlah penduduk per grid dan diperoleh hasil bahwa pada tahun 2005 total kasus RSD sebesar 57 juta kasus lebih dan akan meningkat menjadi lebih dari 170 juta kasus. Estimasi kunjungan UGD (ERV) akibat gangguan pernapasan memberikan nilai sebesar lebih dari 78 ribu kasus pada tahun 2005 dan meningkat menjadi lebih dari 230 ribu kasus pada tahun 2015. Estimasi

perawatan rumah sakit akibat gangguan pernapasan memberikan hasil sebesar 5785 kasus RHA dan meningkat menjadi lebih dari 13 ribu kasus pada tahun 2015.

Hubungan antara meningkatnya konsentrasi ambien  $PM_{10}$  dengan tingkat kematian lebih awal serta hubungan antara konsentrasi dan tingkat morbiditas diestimasi dengan menggunakan kurva estimasi yang diberikan pada Tabel 23 dan Tabel 24. Kedua tabel tersebut memberikan nilai R-kuadrat untuk fungsi kuadratik lebih tinggi dibandingkan dengan fungsi linier.

Korelasi antara konsentrasi ambien dan tingkat kematian lebih awal maupun hubungan antara konsentrasi ambien dan tingkat morbiditas adalah secara fungsi kuadratik. Meningkatnya jumlah penduduk yang mengalami gangguan kesehatan akibat pencemaran  $PM_{10}$  secara kuadratik sesuai dengan teori penambahan zat pencemar dan pengaruhnya terhadap manusia seperti yang dijelaskan Connel & Miller (1995).

Tabel 23 Korelasi antara Prematur Mortalitas dan Konsentrasi Ambien  $PM_{10}$

**Model Summary and Parameter Estimates**

Dependent Variable: mortalitas

Equation	Model Summary					Parameter Estimates		
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
Linear	.999	24961.692	1	19	.000	-2159.881	35.029	
Quadratic	1.000	368963.6	2	18	.000	-1619.724	29.129	.014

The independent variable is konsentrasi.

Tabel 24 Korelasi antara Tingkat Morbiditas dan Konsentrasi Ambien  $PM_{10}$

**Model Summary and Parameter Estimates**

Dependent Variable: morbiditas

Equation	Model Summary					Parameter Estimates		
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
Linear	.999	25196.199	1	19	.000	-129.243	2.097	
Quadratic	1.000	302061.6	2	18	.000	-97.176	1.747	.001

The independent variable is konsentrasi.

Dalam penjelasan mengenai kemampuan daya dukung lingkungan telah diberikan bahwa untuk tingkat pencemaran yang telah melampaui ambang batas maka lingkungan tidak dapat melakukan adaptasi terhadap masuknya suatu zat. Pada kondisi homeostatis manusia sebagai salah satu unsur ekosistem akan bereaksi atau merespon secara normal untuk penambahan suatu zat ke dalam tubuhnya misalnya ke dalam sistem pernapasannya. Di atas ambang batas zat yang masuk disebut pencemar (toksikan) maka reaksi atau respons dari manusia terhadap penambahan sejumlah zat tersebut

mengakibatkan reaksi tidak normal lagi atau telah terjadi kerusakan. Reaksi tidak normal di atas ambang batas ini menyebabkan meningkatnya gangguan kesehatan secara cepat (Gambar 24).

Keadaan ambang batas bagi kesehatan manusiapun dapat dibagi lagi menjadi dalam batas ambang batas di mana bertambahnya kerusakan atau meningkatnya konsentrasi kerusakan kesehatan masih dapat dipulihkan atau dikembalikan. Di atas ambang batas di mana gangguan kesehatan masih dapat dipulihkan, penambahan konsentrasi zat pencemar menyebabkan kerusakan yang tidak dapat dipulihkan atau permanen dan bahkan menyebabkan kematian (Connell & Miller 1995).

Jadi dengan pertambahan konsentrasi  $PM_{10}$  secara cepat bukan hanya jumlah penduduk yang terkena dampak semakin meningkat namun kualitas kerusakan kesehatan juga meningkat. Artinya kerusakan lingkungan yang terjadi dapat menimbulkan kerusakan kesehatan secara permanen atau tidak dapat dipulihkan lagi atau bahkan kematian lebih awal.

Estimasi konsentrasi ambien  $PM_{10}$  menghasilkan bahwa tingkat konsentrasi ambien  $PM_{10}$  berbeda pada masing-masing grid, karena itu dampak kerusakan kesehatan akibat pencemaran  $PM_{10}$  akan berbeda untuk masing-masing wilayah. Tabel 25 memberikan distribusi kasus gangguan kesehatan akibat pencemaran  $PM_{10}$  per wilayah administratif di Jakarta pada tahun 2005.

Tabel 25 menyimpulkan bahwa wilayah yang paling banyak menerima gangguan kesehatan adalah wilayah Jakarta Barat, di mana 24.1 persen penduduk Jakarta bermukim di wilayah tersebut. Sedangkan wilayah Jakarta Selatan dengan penduduk 21.4 persen dari penduduk Jakarta, menerima dampak kesehatan terkecil. Wilayah Jakarta Pusat sekalipun jumlah penduduk hanya 9.1 persen dari penduduk Jakarta, namun dampak kesehatan pada penduduk di wilayah tersebut di atas 50 persen dari jumlah kasus yang terjadi di Jakarta Barat.

Wilayah Jakarta Utara di mana 17.0 persen penduduk Jakarta bermukim di wilayah tersebut, menerima dampak kesehatan terburuk setelah Jakarta Barat. Sementara itu, sebagian besar penduduk Jakarta bermukim di wilayah Jakarta Timur sekitar 28.2 persen, dan dampak kesehatan pada wilayah ini lebih rendah dibandingkan dengan wilayah lainnya, kecuali Jakarta Selatan.

Estimasi gangguan pada kesehatan akibat pencemaran  $PM_{10}$  pada tahun 2025 memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan sebesar 7.7 persen untuk masing-masing gangguan pada kesehatan. Dengan demikian, total kasus kesehatan akibat pencemaran  $PM_{10}$  pada tahun 2025 mencapai 607 juta kasus.

Tabel 25 Jumlah Kasus Kesehatan Akibat Pencemaran  $PM_{10}$  di Jakarta

	Jumlah Kasus Gangguan Kesehatan						
	Tahun 2005						Tahun 2025
	Jakut	Jaktim	Jaksel	Jakbar	Jakpus	Total	Total
RHA	1,109	757	597	1,316	774	4,554	35,200
ERV	21,750	14,855	11,716	25,824	15,179	89,324	690,507
RSD	16,908,740	11,548,544	9,107,804	20,075,567	11,800,224	69,440,879	536,775,157
RAD	2,125,142	1,451,456	1,144,697	2,523,159	1,483,088	8,727,543	67,466,689
LRI	14,616	9,982	7,873	17,353	10,200	60,024	464,007
AA	50,454	34,459	27,177	59,903	35,210	207,203	1,601,747
BC	5,655	3,862	3,046	6,714	3,946	23,223	179,520
PM	319	218	172	379	223	1,311	10,138
<b>TOTAL</b>	<b>19,127,785</b>	<b>13,064,136</b>	<b>10,303,080</b>	<b>22,710,215</b>	<b>13,348,845</b>	<b>78,554,061</b>	<b>607,222,963</b>

Hasil analisis di atas menyimpulkan bahwa belum tentu penduduk yang terkena dampak kesehatan terparah atau wilayah dengan jumlah penduduk terbanyak yang menerima dampak pencemaran adalah penduduk yang memiliki kendaraan. Dengan kata lain, dampak kesehatan yang diterima oleh penduduk misalnya di wilayah Jakarta Barat atau Jakarta Utara, dapat saja berasal dari kendaraan penduduk dari wilayah Jakarta Selatan atau wilayah lainnya.

Di samping itu jumlah penduduk yang merespons terhadap pencemaran yang terjadi meningkat baik secara kuantitas maupun kualitas. Karena itu, adanya upaya penanggulangan pencemaran udara di Jakarta harus segera ditangani.

#### 6.1.4 Estimasi Nilai Ekonomi Gangguan Kesehatan

Dampak pencemaran pada lingkungan dapat terjadi dalam bentuk gangguan kesehatan pada manusia ataupun kerusakan lingkungan abiotik, di mana kedua kerusakan tersebut memiliki satuan yang berbeda. Untuk menggambarkan fungsi kerugian atau kerusakan yang disebabkan oleh meningkatnya pencemaran dibutuhkan satuan yang sama untuk itu dilakukan penilaian secara ekonomi (valuasi ekonomi) terhadap kerusakan yang terjadi.

Menurunnya kesehatan akibat pencemaran akan menimbulkan kerugian finansial yang berupa a) hilangnya penghasilan karena kematian yang lebih awal (prematurn mortalitas); b) meningkatnya pengeluaran untuk pengobatan; c) biaya psikologis (Suparmoko & Suparmoko 2000). Untuk menilai biaya kerusakan atau gangguan kesehatan akibat pencemaran dapat digunakan pendekatan modal manusia atau penghasilan yang hilang di mana manusia dipandang sebagai salah satu sumberdaya kapital. Pada prinsipnya pendekatan ini mencoba menilai dampak lingkungan terhadap produktivitas manusia sebagai hilangnya penghasilan, akibat timbulnya biaya pengobatan, dan hilangnya nilai manusia karena meninggal lebih awal atau tidak mampu bekerja lagi (Suparmoko & Suparmoko 2000).

Sekalipun Ostro (1994) tidak melaporkan estimasi nilai ekonomi dari kerusakan lingkungan namun dikatakan bahwa 2 cara valuasi ekonomi dari dampak kesehatan pencemaran udara yaitu: menggunakan metode survei untuk memperoleh WTP (*willingness to pay*) untuk menurunkan resiko yang berhubungan dengan nilai ekonomi dari kematian lebih awal (prematurn mortalitas) atau menggunakan pendekatan biaya perawatan (COI) untuk mengestimasi nilai morbiditas.

Metode survei untuk menilai biaya kerusakan lingkungan memiliki beberapa kelemahan seperti: a) responden tidak memberikan jawaban yang sebesarnya (*strategic bias*); b) informasi yang diberikan pada responden kurang benar (*information bias*); c) kelemahan dalam macam pertanyaan yang diajukan atau cara mengusulkan untuk pengumpulan pembayaran (*instrument bias*); d) masalah yang dibicarakan tidak riil dan hanya hipotesis sifatnya (*hypothetical bias*). Karena itu pendekatan penilaian kerusakan melalui metode hilangnya penghasilan karena kematian lebih awal, lebih mudah dilakukan.

Dalam hal kematian lebih awal, penghasilan seorang tenaga kerja dapat dihitung dengan memperkirakan besarnya penghasilan tenaga kerja tersebut yang dinyatakan dalam nilai sekarang (*present value*) dengan memasukan variabel umur dan angka harapan hidup untuk menentukan rata-rata lama periode kerja, rata-rata pendapatan per tahun, dan *discount rate*. Metode penilaian kematian lebih awal yang berhubungan dengan hilangnya penghasilan ini disebut *value of statistical life* (VSL).

Estimasi nilai ekonomi gangguan kesehatan akibat pencemaran  $PM_{10}$  pada penelitian ini menggunakan biaya perawatan kesehatan (COI) yang dikembangkan oleh Syahril *et al.* (2002) dan nilai VSL untuk mengestimasi kematian lebih awal atau PM menggunakan nilai VSL pada tahun 2000 yang dikembangkan oleh Susandi (2004). Nilai COI dan VSL untuk tahun 2004 diperoleh dengan penyesuaian tingkat inflasi Jakarta antara tahun tersebut (Lampiran 6). Estimasi nilai ekonomi kesehatan untuk masing-masing wilayah diberikan pada Lampiran 11.

Nilai ekonomi masing-masing gangguan kesehatan untuk wilayah Jakarta diberikan pada Tabel 26. Nilai-nilai yang diberikan pada Tabel 26 dapat diartikan sebagai kerugian ekonomi yang dialami masyarakat akibat terjadinya pencemaran  $PM_{10}$ . Kerugian yang dialami oleh masyarakat tersebut merupakan salah satu bentuk kerugian sosial (*social cost*) akibat pencemaran yang terjadi. Nilai tersebut dapat juga diartikan sebagai keuntungan (*benefit*) yang diperoleh apabila dilakukan pengendalian pencemaran udara sehingga tidak terjadi kerusakan lingkungan. Dari kedua makna nilai ekonomi kerusakan lingkungan tersebut hal yang sama adalah adanya biaya yang dibutuhkan baik untuk perawatan kesehatan maupun biaya untuk yang dikeluarkan untuk memperbaiki lingkungan sehingga tidak terjadi pencemaran.

Tabel 26 dan Tabel 22 memberikan informasi bahwa dengan jumlah kematian yang lebih awal sebesar 1311 orang pada tahun 2005 nilai ekonomi dari kematian yang lebih awal tersebut sebesar 2,4 triliun rupiah. Nilai kematian yang lebih awal ini dibandingkan dengan PDRB Jakarta tahun 2004 sebesar 3,4 persen dari PDRB Jakarta pada tahun 2004. Dengan kata lain, dibutuhkan biaya sebesar 3,4 persen dari PDRB Jakarta tahun 2004 untuk memperbaiki lingkungan sehingga tidak terjadi kematian yang lebih awal sebesar nilai ekonomi kematian lebih awal pada tahun 2005.

Nilai ekonomi dari kasus gangguan pernapasan lainnya secara total diberikan dalam nilai ekonomi kasus morbiditas. Tabel 26 memberikan bahwa pada tahun 2005 nilai ekonomi dari kasus morbiditas lebih dari 2,5 triliun rupiah atau sekitar 3,6 persen dari PDRB Jakarta tahun 2004. Dari sudut pandang pengendalian pencemaran udara dapat dikatakan bahwa benefit yang diperoleh dari menurunkan emisi sehingga BMA kesehatan terpenuhi adalah sebesar 3,6 persen dari PDRB.

---

Membandingkan nilai ekonomi kesehatan yang diberikan untuk tahun 2005 tersebut dengan PDRB memberikan gambaran besarnya kerugian ekonomi yang dialami penduduk Jakarta, sekalipun pertumbuhan ekonomi tetap terjadi. Pertumbuhan ekonomi antara tahun 2003-2004 sebesar 6.14 persen, tingginya persentase biaya kesehatan terhadap PDRB 2004 menyebabkan nilai pertumbuhan tersebut tidak bermakna bagi masyarakat yang terkena dampak. Karena meningkatnya pendapatan yang disebabkan oleh meningkatnya PDRB, digunakan untuk biaya perawatan kesehatan. Pendapatan atau penghasilan sekelompok masyarakat Jakarta masih ditentukan oleh UMR/UMP, besarnya biaya perawatan kesehatan menyebabkan sebagian besar dari penghasilannya digunakan untuk biaya perawatan kesehatan.

Tabel 26 Nilai Ekonomi Kesehatan Akibat Pencemaran PM10 di Jakarta

Tahun	Nilai Ekonomi Gangguan Kesehatan Wilayah DKI Jakarta (Juta Rp.)								
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	Morbiditas	PM
2005	4,980	41,012	2,262,037	196,370	1,955	9,935	2,109	2,518,397	2,092,626
2006	5,590	46,037	2,539,214	220,432	2,195	11,152	2,367	2,826,987	2,339,098
2007	6,265	51,598	2,845,933	247,058	2,460	12,499	2,653	3,168,467	2,612,496
2008	7,002	57,662	3,180,414	276,095	2,749	13,968	2,965	3,540,854	2,910,490
2009	7,805	64,278	3,545,338	307,774	3,065	15,571	3,305	3,947,137	3,235,452
2010	8,682	71,500	3,943,664	342,353	3,409	17,320	3,676	4,390,605	3,589,998
2011	9,649	79,463	4,382,844	380,479	3,789	19,249	4,086	4,879,558	3,977,017
2012	10,716	88,253	4,867,676	422,568	4,208	21,379	4,538	5,419,337	4,399,687
2013	11,883	97,862	5,397,694	468,579	4,666	23,706	5,032	6,009,422	4,861,511
2014	13,159	108,372	5,977,366	518,901	5,167	26,252	5,572	6,654,789	5,366,359
2015	14,555	119,871	6,611,617	573,961	5,715	29,038	6,164	7,360,921	5,918,493
2016	16,084	132,459	7,305,892	634,232	6,315	32,087	6,811	8,133,879	6,522,627
2017	17,757	146,243	8,066,192	700,234	6,972	35,426	7,520	8,980,345	7,183,958
2018	19,591	161,345	8,899,145	772,544	7,692	39,085	8,296	9,907,699	7,908,221
2019	21,601	177,897	9,812,073	851,796	8,481	43,094	9,147	10,924,090	8,701,756
2020	23,805	196,045	10,813,056	938,692	9,347	47,491	10,080	12,038,516	9,571,560
2021	26,222	215,952	11,911,026	1,034,008	10,296	52,313	11,104	13,260,920	10,525,364
2022	28,874	237,796	13,115,845	1,138,600	11,337	57,604	12,227	14,602,283	11,571,707
2023	31,786	261,774	14,438,417	1,253,414	12,480	63,413	13,460	16,074,744	12,720,030
2024	34,983	288,106	15,890,784	1,379,495	13,736	69,792	14,814	17,691,710	13,980,759
2025	38,495	317,033	17,486,265	1,518,001	15,115	76,799	16,301	19,468,009	15,365,425

Tabel 26 memberikan bahwa nilai ekonomi morbiditas dan nilai ekonomi kematian lebih awal akan meningkat sesuai dengan meningkatnya pencemaran. Hubungan antara meningkatnya pencemaran dan meningkatnya nilai ekonomi kasus kesehatan tersebut diperoleh melalui kurva estimasi yang diberikan pada Tabel 27.

Tabel 27 Korelasi Biaya Kesehatan dan Konsentrasi Ambien PM10

**Model Summary and Parameter Estimates**

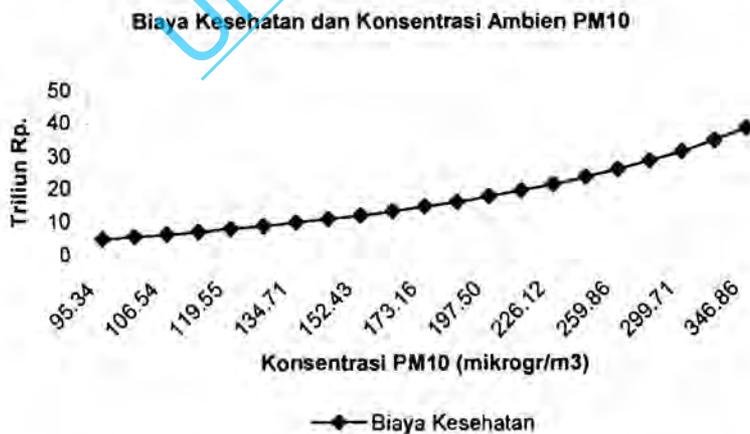
Dependent Variable: biyakesehatan

Equation	Model Summary					Parameter Estimates		
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
Linear	.999	24988.126	1	19	.000	-8118591	131686.8	
Quadratic	1.000	368461.2	2	18	.000	-6089127	109518.3	52.333

The independent variable is konsentrasi.

Hasil estimasi kurva korelasi antara konsentrasi ambien dan nilai ekonomi kesehatan menyatakan bahwa korelasi antara meningkatnya konsentrasi dan nilai ekonomi dari gangguan kesehatan berbentuk fungsi kuadratik, karena nilai R-kuadrat dari fungsi kuadratik lebih besar dibandingkan R-kuadrat dari fungsi linier. Meningkatnya biaya kesehatan secara kuadratik tersebut sesuai dengan meningkatnya gangguan kesehatan akibat meningkatnya pencemaran seperti yang diberikan pada penjelasan mengenai gangguan kesehatan. Berdasarkan hubungan kuadratik ini dapat dikatakan bahwa meningkatnya konsentrasi ambien PM<sub>10</sub> akan meningkatkan biaya kesehatan dengan cepat (Gambar 25).

Sama halnya seperti pada pembahasan gangguan kesehatan per wilayah, maka kerugian secara ekonomipun akan dialami oleh penduduk dengan jumlah penduduk yang terbanyak menerima dampak pencemaran. Jadi dapat disimpulkan bahwa dampak pencemaran PM<sub>10</sub> terkena pada sebagian penduduk baik secara sosial maupun ekonomi, di mana penduduk tersebut belum tentu memperoleh manfaat (benefit) dari kendaraan.

Gambar 25 Biaya Kesehatan dan Konsentrasi Ambien PM<sub>10</sub>

### 6.1.5 Analisis Manfaat dan Biaya

Biaya sosial lainnya adalah biaya kerusakan yang bukan biaya kesehatan, dalam penelitian ini disebut biaya non-kesehatan. Biaya non-kesehatan diestimasi dari persentase kesehatan dan biaya kerusakan total, hasil penelitian Lvovsky, *et al.* 2000. Menurut penelitian ini persentase biaya kesehatan atau *health cost* dan biaya non-kesehatan atau *non-health cost* masing-masing 68 persen dan 11 persen dari biaya kerusakan lingkungan (*damage cost*). Penelitian Lvovsky, *et al.* (2000) dilakukan di beberapa kota di negara berkembang termasuk beberapa negara di Asia Tenggara seperti Manila dan Bangkok. Dengan pertimbangan bahwa kondisi sosial dan ekonomi masyarakat di kota-kota tersebut tidak jauh berbeda dengan Jakarta maka hasil perbandingan tersebut dapat di gunakan untuk kasus Jakarta.

Dalam penelitian Lvovsky, *et al.* (2000) biaya kerusakan total atau *damage cost* termasuk biaya perubahan iklim akibat pencemaran udara dari bahan bakar minyak. Penelitian ini tidak mengestimasi biaya perubahan iklim, namun jumlah dari biaya kesehatan dan non-kesehatan didefinisikan sebagai biaya degradasi lingkungan akibat pencemaran  $PM_{10}$ . Estimasi biaya non-kesehatan dan estimasi biaya degradasi lingkungan diberikan pada Tabel 28.

Dalam penelitian ini manfaat bersih ditentukan dari selisih antara manfaat kendaraan dan biaya degradasi. Manfaat kendaraan diperoleh dari besarnya jumlah pertumbuhan kendaraan per tahun pada suatu grid di kalikan dengan harga rata-rata kendaraan menurut kategori kendaraan. Asumsi yang diambil adalah harga kendaraan tersebut telah merupakan keuntungan. Dengan pertumbuhan bis adalah nol maka manfaat kendaraan hanya dihitung untuk kendaraan penumpang, sepeda motor dan truk. Hasil estimasi manfaat bersih diberikan pada Tabel 28.

Dari Tabel 28 dapat dipetakan hubungan antara meningkatnya konsentrasi dengan biaya degradasi, atau fungsi kerusakan. Kurva estimasi antara variabel konsentrasi ambien  $PM_{10}$  dan biaya degradasi diberikan pada Tabel 29. Kurva estimasi pada Tabel 29 memberikan bahwa hubungan antara konsentrasi ambien  $PM_{10}$  dan biaya degradasi merupakan fungsi kuadrat karena nilai R-kuadrat dari fungsi kuadrat lebih besar dari

R-kuadrat fungsi linier. Berdasarkan korelasi tersebut dibuat fungsi kerusakan lingkungan akibat pencemaran  $PM_{10}$  dan diberikan pada Gambar 26.

Tabel 28 Biaya Kerusakan dan Manfaat

Nilai Ekonomi Dampak Pencemaran PM10 di DKI Jakarta (Juta Rp.)				
Tahun	Biaya Non-Kesehatan	Biaya Degradasi	Manfaat bersih	nilai NPV
2005	796,954	5,723,581	88,033,700	83,740,248
2006	894,609	6,424,847	94,826,698	173,942,196
2007	1,002,671	7,200,857	102,209,957	271,167,317
2008	1,120,514	8,047,110	110,250,671	376,041,002
2009	1,249,083	8,970,391	119,010,849	489,247,627
2010	1,389,420	9,978,183	128,558,484	611,536,243
2011	1,544,151	11,089,345	138,957,561	743,716,769
2012	1,714,966	12,316,016	150,286,875	886,674,071
2013	1,901,700	13,657,015	162,647,425	1,041,389,094
2014	2,105,928	15,123,649	176,137,477	1,208,936,248
2015	2,329,386	16,728,382	190,864,889	1,390,492,552
2016	2,573,991	18,484,986	206,947,979	1,587,347,565
2017	2,841,858	20,408,650	224,516,654	1,800,914,420
2018	3,135,322	22,516,143	243,713,456	2,032,741,836
2019	3,456,962	24,825,989	264,694,808	2,284,527,333
2020	3,809,625	27,358,635	287,632,496	2,558,131,832
2021	4,196,459	30,136,680	312,714,979	2,855,595,530
2022	4,620,937	33,185,079	340,149,278	3,179,155,541
2023	5,086,902	36,531,423	370,162,547	3,531,265,056
2024	5,598,596	40,206,179	403,004,237	3,914,614,553
2025	6,160,711	44,243,049	438,948,237	4,332,155,045

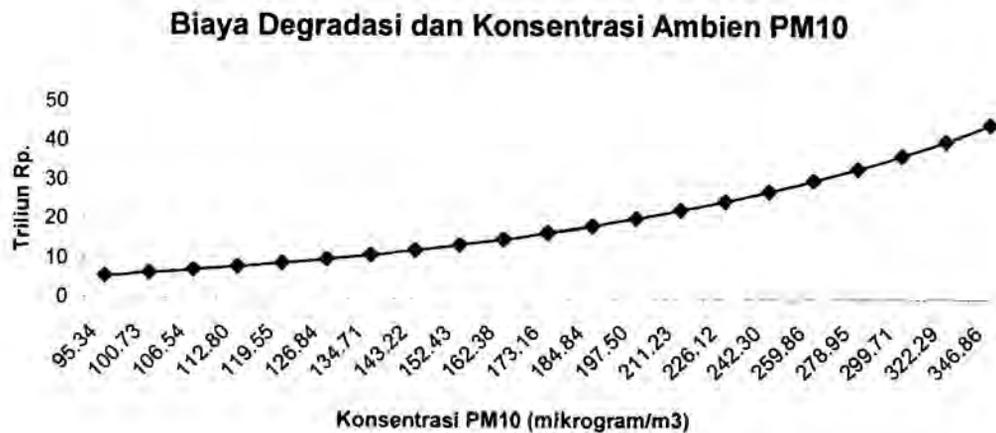
Tabel 29 Korelasi antara Biaya Degradasi dan Konsentrasi Ambien PM10

**Model Summary and Parameter Estimates**

Dependent Variable: biyadegradasi

Equation	Model Summary					Parameter Estimates		
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
Linear	.999	24988.129	1	19	.000	-9431893	152989.1	
Quadratic	1.000	368460.8	2	18	.000	-7074133	127234.6	60.799

The independent variable is konsentrasi.



Gambar 26 Fungsi Kerusakan Lingkungan Pencemaran PM<sub>10</sub>

Dalam penelitian ini tidak diestimasi biaya perbaikan lingkungan (*abatement cost*) sehingga tidak dapat ditentukan penurunan konsentrasi atau emisi kendaraan yang paling efisien. Namun demikian, estimasi besarnya biaya kerusakan lingkungan tersebut dapat memperlihatkan kerugian ekonomi yang harus di tanggung jika tidak dilakukan intervensi kebijakan untuk perbaikan lingkungan.

Udara merupakan barang publik yang tidak dapat didefinisikan kepemilikannya secara tepat atau merupakan milik bersama. Di samping itu, udara merupakan sumberdaya dan pencemaran dapat diinterpretasikan sebagai ekstraksi sumberdaya (Smulders dalam Former & Gabel 2000). Karena itu, seperti halnya barang publik lainnya kecenderungan untuk mengekstraksi secara berlebihan sangat besar.

Jadi, pencemaran udara karena meningkatnya emisi dari kendaraan bermotor dalam jumlah yang besar merupakan ekstraksi dari sumberdaya secara berlebihan yang menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan. Rusaknya sumberdaya ini dalam bentuk meningkatnya gangguan kesehatan pada manusia mengakibatkan menurunkan produktivitas dari tenaga kerja (Suparmoko & Suparmoko 2000). Karena itu, pemerintah berkewajiban untuk melakukan intervensi kebijakan sehingga ekstraksi sumberdaya udara ini tidak menyebabkan kerugian lingkungan, sosial dan ekonomi yang lebih besar lagi.

Data yang diperoleh dari Tabel 28 dapat digunakan untuk memetakan hubungan antara manfaat bersih (*net benefit*) dan kenaikan konsentrasi ambien PM<sub>10</sub> menggunakan

kurva estimasi hubungan kedua variabel tersebut. Kurva estimasi antara variabel konsentrasi ambien dan manfaat bersih diberikan pada Tabel 30.

Tabel 30 Korelasi Manfaat Bersih dan Konsentrasi Ambien

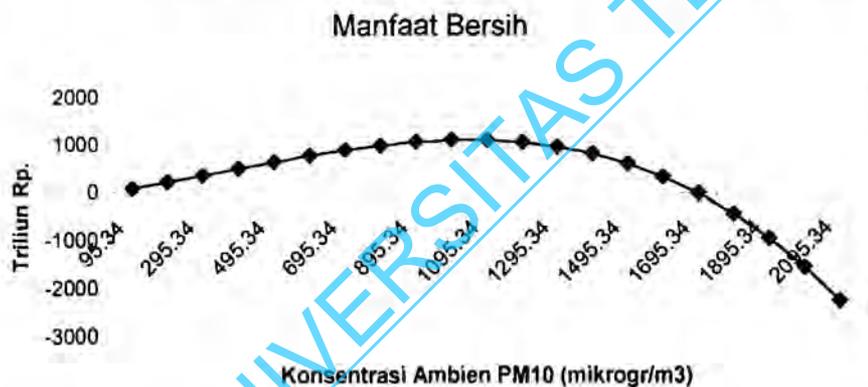
**Model Summary and Parameter Estimates**

Dependent Variable: netben

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	1.000	56874.672	1	19	.000	-48.312	1.394		
Quadratic	1.000	588782.3	2	18	.000	-34.177	1.239	.000	
Cubic	1.000	1064874	3	17	.000	-26.531	1.113	.001	-9.7E-007

The independent variable is konsentrasi.

Tabel 30 memberikan informasi bahwa nilai R-kuadrat hubungan antara manfaat bersih dan konsentrasi ambien untuk fungsi linier, kuadratik, maupun fungsi kubik memiliki nilai yang sama. Namun nilai F dari fungsi kubik lebih besar sehingga daerah penolakan bagi fungsi kubik lebih besar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa estimasi yang paling mendekati nilai manfaat bersih adalah fungsi kubik. Pemetaan antara variabel konsentrasi dan manfaat bersih diberikan pada Gambar 27.



Gambar 27 Korelasi antara Manfaat Bersih dan Konsentrasi Ambien

Gambar 27 memperlihatkan peta antara konsentrasi ambien dan manfaat bersih dengan mengambil meningkatnya konsentrasi secara ekstrim. Hal tersebut untuk memperlihatkan bahwa meningkatnya manfaat bersih memiliki nilai maksimum dan akan menurun setelah mencapai titik maksimum, bahkan dengan meningkatnya konsentrasi lebih lanjut menyebabkan bukan manfaat yang akan diperoleh tetapi kerugian.

Hasil model dinamis yang diberikan memperlihatkan bahwa konsentrasi ambien di Jakarta belum sampai pada titik maksimum di mana peningkatan konsentrasi lebih

lanjut menyebabkan nilai manfaat bersih akan menurun. Konsentrasi ambien  $PM_{10}$  per grid yang diberikan pada Lampiran 9 memperlihatkan bahwa grid 44 atau wilayah Tambora, Taman sari, dan Sawah Besar di wilayah Jakarta Barat pada tahun 2025 memiliki konsentrasi ambien yang telah mendekati nilai konsentrasi di mana akan diperoleh nilai maksimum dari manfaat bersih.

Model pencemaran udara di wilayah perkotaan pada umumnya mengukur konsentrasi partikel menggunakan pendekatan luas wilayah dalam hal ini luas grid. Secara umum partikel akan jatuh tidak jauh dari sumber emisinya sehingga pencemaran partikel mudah dideteksi, tidak diperoleh informasi seberapa jauh rata-rata radius jatuhnya partikel. Namun dengan sifat partikel tersebut maka dengan pengukuran secara langsung pada wilayah-wilayah yang padat lalu lintas kemungkinan nilai konsentrasi ambien pada wilayah tersebut jauh di atas hasil model. Dengan demikian dampaknya pada kesehatan dan nilai ekonomi juga akan lebih besar.

Di samping itu Ostro (1994) dalam menentukan fungsi dosis tanggapan menyatakan bahwa nilai-nilai yang diperoleh masih dibawah estimasi (*under estimate*) sekalipun Ostro memberikan interval untuk nilai kemiringan fungsi dosis tanggapan yang ditentukannya. Dengan nilai kemiringan fungsi dosis tanggapan yang disimpulkan Ostro (1994), maka dapat terjadi bahwa nilai kemiringan fungsi dosis tanggapan lebih besar sehingga dampak dari meningkatnya konsentrasi ambien pada gangguan kesehatan dan nilai ekonomi dari dampak pencemaran pada kesehatan akan lebih tinggi.

Selain itu model yang dibangun pada penelitian ini menggunakan titik tengah atau *mean* dari kemiringan fungsi dosis tanggapan dari Ostro (1994). Apabila digunakan titik tertinggi dari nilai kemiringan fungsi dosis tanggapan, hasil estimasi dampak kesehatan dan nilai ekonomi dari kesehatan maupun biaya degradasi lingkungan yang diperoleh akan lebih besar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh dari model ini masih *under estimate*.

Nilai kerusakan lingkungan akibat degradasi kualitas udara merupakan nilai kerusakan yang terjadi dimasa mendatang. Karena itu, nilai ekonomi dari kerusakan lingkungan tersebut menyangkut nilai moneter dimasa mendatang. Untuk menentukan nilai dari lingkungan akibat kerusakan lingkungan tersebut maka nilai manfaat bersih diberikan dalam bentuk *present value* atau *present discounted value* dari manfaat bersih

atau *present value* dari *net benefit* atau NPV (Sanim 2004; Fauzi 2004; Field & Field 2002).

Dengan terlibatnya tingkat diskonto dalam penilaian manfaat dan biaya, maka penentuan besarnya tingkat diskonto menjadi sangat penting. Vecchiato *et al.* 2006, menyatakan bahwa di negara berpenghasilan rendah preferensi masyarakat secara umum adalah untuk meningkatkan pendapatan dalam waktu singkat, sehingga tingkat diskonto sangat tinggi. Ketidaksabaran yang dinyatakan dengan tingginya tingkat diskonto inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan dalam waktu singkat. Jadi penentuan tingkat diskonto untuk menilai manfaat dan biaya dari penggunaan kendaraan bermotor harus mengambil nilai yang rendah sehingga manfaat penggunaan kendaraan dalam jangka waktu panjang tidak menimbulkan kerusakan lingkungan.

Dengan pertimbangan bahwa semakin tinggi tingkat diskonto yang diambil akan semakin kecil NPV maka pada penelitian ini diambil tingkat diskonto = 5 persen. Hasil model dinamis yang diberikan pada Tabel 28 memperlihatkan bahwa NPV pada tahun 2025 mencapai lebih dari 4 ribu triliun rupiah. Artinya nilai lingkungan di Jakarta akibat dari pencemaran udara dari emisi kendaraan bermotor pada tahun 2025 sebesar 4 ribu triliun rupiah. Untuk meningkatkan nilai lingkungan dibutuhkan adanya kebijakan dari pemerintah berupa upaya pengendalian pencemaran udara yang berdampak pada menurunnya biaya degradasi lingkungan akan meningkatkan nilai ekonomi dari lingkungan tersebut.

## 6.2 Skenario Reduksi Emisi Kendaraan

Pengendalian pencemaran udara dari kendaraan bermotor di beberapa negara dilakukan dengan mengkombinasikan kebijakan CAC dan kebijakan yang menggunakan instrumen ekonomi. Kebijakan CAC untuk mengatasi pencemaran kendaraan bermotor dilakukan dengan menetapkan BME kendaraan dan khusus untuk mengatasi pencemaran  $PM_{10}$  penetapan BME kendaraan diesel disamakan dengan BME kendaraan berbahan bakar bensin. Selain itu, juga diterapkan kebijakan penurunan penggunaan kendaraan pribadi.

Sedangkan penggunaan instrumen ekonomi dalam kebijakan pengendalian pencemaran dari kendaraan bermotor pada dasarnya digunakan apabila kebijakan CAC

tidak dapat melakukan kegiatan yang berkaitan dengan pengendalian pencemaran tersebut. Selain itu, kebijakan CAC tidak menghasilkan revenue sedangkan penggunaan instrumen ekonomi menghasilkan revenue yang dapat digunakan untuk biaya perbaikan lingkungan (*abatement cost*) dari kerusakan yang ditimbulkan oleh pencemaran tersebut.

Berdasarkan pertimbangan di atas, penelitian ini membangun 2 (dua) skenario untuk melihat efektivitas kebijakan CAC dan penggunaan instrumen ekonomi dalam mengendalikan pencemaran udara dari kendaraan bermotor. Skenario pertama, ditujukan untuk membandingkan efektivitas beberapa kebijakan CAC yaitu:

1. Kebijakan BME Euro2 yang diterapkan pemerintah Indonesia mulai tahun 2005 untuk kendaraan baru dan tahun 2007 untuk kendaraan yang sedang beroperasi.
2. Kebijakan BME untuk kendaraan diesel sama dengan BME kendaraan bensin untuk kendaraan penumpang dan dan mini-bis yang diterapkan di Amerika Serikat sejak tahun 2004.
3. Simulasi penurunan penggunaan kendaraan pribadi dan sepeda motor.

Ketiga kebijakan di atas akan disimulasikan melalui sistem dinamis dan menggunakan model kebijakan MCDA. Skenario kedua, ditujukan untuk melihat efektivitas kebijakan CAC dan instrumen ekonomi, melalui model MCDA.

Skenario menggunakan model dinamis dilakukan dengan 2 (dua) cara yaitu pertama dengan mengasumsikan bahwa kebijakan yang didisain berlaku pada waktu yang bersamaan. Hasil simulasi cara pertama diberikan pada Tabel 31. Dari hasil simulasi cara-1 (Tabel 31) terlihat bahwa kebijakan Euro-2 merupakan kebijakan yang sangat efektif dalam menurunkan tingkat emisi kendaraan.

Tabel 31 Perubahan Variabel Endogen Simulasi Cara-1

NO	Variabel Endogen	Persentase Perubahan Variabel Endogen Terhadap BAU Cara 1		
		Euro2	Diesel	Volume
1	Reduksi Emisi Kendaraan	58.6	35.2	24.1
2	Reduksi Konsentrasi Ambien	51.0	31.1	21.9
3	Reduksi Tingkat Morbiditas	69.9	43.2	28.1
4	Reduksi Prematur Mortalitas	69.9	43.2	28.1
5	Reduksi Biaya Kesehatan	69.9	43.2	28.1
6	Reduksi Biaya Degradasi	69.9	43.2	28.1
7	Peningkatan Manfaat Bersih	5.6	3.6	2.5
8	Peningkatan Nilai NPV	5.7	3.5	1.6

Cara kedua dengan mengasumsikan bahwa kebijakan tersebut pelaksanaannya secara bertahap. Rincian dari simulasi masing-masing skenario kebijakan diberikan pada pembahasan berikut.

### 6.2.1 Skenario Euro2

Skenario Euro2 dilakukan dengan 2 cara yaitu, pertama dengan mengasumsikan bahwa semua kendaraan dapat memenuhi baku mutu emisi yang ditetapkan. Skenario ini disebut Euro2-1. Cara kedua adalah dengan mengasumsikan bahwa hanya kendaraan baru yang dapat memenuhi BME, sedangkan kendaraan lama belum dapat memenuhi BME, skenario ini disebut Euro2-2. Kedua hasil simulasi diberikan pada Tabel 32.

Skenario Euro2 pada Tabel 31 merupakan kondisi di mana kebijakan ditaati atau dilaksanakan untuk semua kendaraan yang melalui Jakarta. Dalam Kepmen LH 141/2003 ditetapkan bahwa BME kendaraan dengan standar Euro2 untuk kendaraan baru pada tahun 2005 dan kendaraan yang sedang beroperasi pada tahun 2007. Jadi kebijakan ini baru dapat efektif berjalan pada tahun 2008, di mana baik kendaraan baru maupun kendaraan lama telah memenuhi BME Euro2.

Sedangkan skenario Euro2-2 menggunakan asumsi bahwa hanya kendaraan baru yang menggunakan BME Euro2. Kendaraan lama diasumsikan belum menggunakan PCE sehingga masih menggunakan faktor emisi tidak terkontrol dan pertumbuhan kendaraan adalah nol atau diasumsikan konstan. Khusus untuk bis diasumsikan jumlah bis tetap atau pertumbuhan bis tetap nol. Jadi harus dilakukan substitusi dengan cara penambahan bis baru dengan BME Euro2 dan pada saat bersamaan mengurangi jumlah bis lama sejumlah penambahan tersebut sehingga volume bis tetap konstan.

Substitusi terhadap bis lama harus dilakukan mengingat kondisi bis lama tidak cukup nyaman, sehingga kurang diminati oleh masyarakat. Hal terpenting dalam melakukan substitusi ini adalah agar masyarakat dapat beralih dari penggunaan kendaraan pribadi kepada sarana transportasi umum. Hasil simulasi kedua cara tersebut diberikan pada Tabel 32.

Tabel 32 memberikan informasi bahwa pada kondisi semua kendaraan memenuhi BME reduksi emisi kendaraan total dari kondisi BAU di atas 50 persen, kondisi Euro2-1. Sedangkan pada kondisi di mana hanya kendaraan baru yang memenuhi BME maka

reduksi emisi dari emisi BAU, mulai dari sekitar 3 persen pada awal masa estimasi sampai dengan sekitar 47 persen pada akhir masa estimasi. Diduga kondisi Euro2-2 adalah kondisi yang terjadi saat ini.

Tabel 32 Estimasi Reduksi Emisi Kendaraan dengan BME Euro2

Tahun	Emisi (ton/tahun)			Persentase Reduksi	
	BAU	Euro2-1	Euro2-2	Euro2-1	Euro2-2
2005	8,812	3,726	8,540	57.7	3.1
2006	9,400	3,972	8,782	57.7	6.6
2007	10,036	4,236	9,043	57.8	9.9
2008	10,725	4,522	9,325	57.8	13
2009	11,471	4,830	9,630	57.9	16.1
2010	12,281	5,163	9,959	58	18.9
2011	13,160	5,522	10,314	58	21.6
2012	14,114	5,909	10,699	58.1	24.2
2013	15,149	6,329	11,115	58.2	26.6
2014	16,275	6,782	11,565	58.3	28.9
2015	17,498	7,272	12,052	58.4	31.1
2016	18,827	7,802	12,579	58.6	33.2
2017	20,274	8,377	13,150	58.7	35.1
2018	21,847	8,998	13,769	58.8	37
2019	23,561	9,672	14,439	58.9	38.7
2020	25,426	10,402	15,166	59.1	40.4
2021	27,459	11,194	15,955	59.2	41.9
2022	29,674	12,053	16,811	59.4	43.3
2023	32,088	12,986	17,740	59.5	44.7
2024	34,721	13,997	18,749	59.7	46
2025	37,593	15,097	19,845	59.8	47.2

Jadi, jika kondisi Euro2-2 tetap berlangsung maka untuk mencapai emisi kendaraan di mana konsentrasi dapat memenuhi BMA yang memenuhi syarat kesehatan tidak dapat diperoleh. Dengan demikian kebijakan BME Euro2 yang diberlakukan hanya bagi kendaraan baru tidak berdampak secara signifikan pada perbaikan kondisi kualitas udara ambien.

### 6.2.2 Skenario Diesel

Kondisi skenario Diesel merupakan kondisi di mana BME kendaraan diesel sama dengan BME kendaraan berbahan bakar bensin untuk kategori kendaraan penumpang, bis kecil dan truk kecil. Kebijakan ini telah dilaksanakan di Amerika Serikat mulai tahun 2004, jadi dapat pula dilaksanakan di Indonesia menunggu kesiapan dari industri otomotif untuk mengembangkan teknologi kendaraan untuk dapat terlaksananya kebijakan tersebut.

Simulasi dari skenario ini dilakukan dengan 2 (dua) cara. Pertama, penerapan BME kendaraan diesel sama dengan BME kendaraan sejenis dengan bahan bakar bensin untuk semua kendaraan penumpang, bis dan truk kecil (diesel-1). Kedua, melakukan perubahan secara bertahap yaitu hanya kendaraan baru dari jenis kendaraan yang dimaksudkan pada skenario ini yang akan memiliki BME sama dengan BME kendaraan sejenis dengan bahan bakar bensin. Sedangkan kendaraan lama masih memiliki BME kendaraan diesel seperti semula. Untuk bis dilakukan substitusi sebesar 1 (satu) persen. Artinya setiap 1 (satu) persen penambahan bis baru, maka akan dikurangi bis lama sebanyak 1 (persen).

Berbeda dengan yang dilakukan pada skenario Euro2, pada skenario reduksi emisi melalui penyamaan BME kendaraan diesel dengan kendaraan bensin hanya diberlakukan bagi kendaraan penumpang, bis kecil dan truk kecil. Kendaraan bis besar masih menggunakan faktor emisi diesel. Jadi pada skenario diesel substitusi bis lama dan bis baru belum tentu menghasilkan perbaikan sistem transportasi umum. Hasil simulasi kedua cara reduksi emisi menggunakan skenario diesel diberikan pada Tabel 33.

Tabel 33 Skenario Reduksi Emisi Kendaraan Diesel

Tahun	Emisi (ton/tahun)			Persentase Reduksi	
	BAU	Diesel-1	Diesel-2	Diesel-1	Diesel-2
2005	8,812	6,067	8,540	31.2	3.1
2006	9,400	6,435	8,849	31.5	5.9
2007	10,036	6,831	9,184	31.9	8.5
2008	10,725	7,257	9,547	32.3	11
2009	11,471	7,717	9,939	32.7	13.4
2010	12,281	8,212	10,365	33.1	15.6
2011	13,160	8,745	10,826	33.5	17.7
2012	14,114	9,321	11,326	34	19.7
2013	15,149	9,943	11,869	34.4	21.7
2014	16,275	10,615	12,458	34.8	23.5
2015	17,498	11,340	13,097	35.2	25.1
2016	18,827	12,125	13,792	35.6	26.7
2017	20,274	12,973	14,546	36	28.3
2018	21,847	13,892	15,366	36.4	29.7
2019	23,561	14,886	16,258	36.8	31
2020	25,426	15,963	17,228	37.2	32.2
2021	27,459	17,130	18,283	37.6	33.4
2022	29,674	18,395	19,432	38	34.5
2023	32,088	19,767	20,683	38.4	35.5
2024	34,721	21,256	22,045	38.8	36.5
2025	37,593	22,873	23,529	39.2	37.4

Tabel 33 memberikan bahwa skenario diesel-1 memiliki tingkat reduksi emisi kendaraan rata-rata diatas 35 persen dari kondisi BAU. Sedangkan skenario diesel-2 memiliki rata-rata reduksi emisi sebesar 24 persen. Sekalipun kondisi skenario diesel-2 memiliki tingkat reduksi lebih kecil, namun kondisi ini lebih realistik untuk dilaksanakan karena pada kondisi diesel-1 dibutuhkan biaya untuk memasang PCE pada kendaraan lama yang tidak mungkin dibebankan pada masyarakat.

Oka *et al.* 2005, memperkirakan biaya pemasangan PCE di Jepang untuk tiap kendaraan diesel sekitar satu juta yen atau sekitar 83 juta rupiah (nilai tukar pada tahun 2005, BPS 2006). Tingginya biaya pemasangan PCE pada kendaraan diesel lama dapat berdampak pada dua hal, yaitu masyarakat dapat beralih pada kendaraan baru berbahan bakar bensin atau kebijakan tersebut tidak akan dipatuhi. Untuk kepentingan perbaikan lingkungan dibutuhkan adanya subsidi dari pemerintah dalam pengadaan PCE.

### 6.2.3 Skenario Volume

Skenario Euro2 dan diesel merupakan kebijakan reduksi emisi melalui penetapan BME atau menetapkan suatu standar faktor emisi kendaraan untuk suatu polutan yang diemisikan oleh kendaraan. Diketahui bahwa total emisi kendaraan bukan hanya bergantung pada faktor emisi namun juga pada volume kendaraan yang akan mempengaruhi jumlah kilometer perjalanan kendaraan per tahun. Skenario volume dimaksudkan untuk mensimulasi beberapa alternatif reduksi volume kendaraan untuk melihat sejauhmana kebijakan reduksi volume berdampak pada reduksi emisi kendaraan.

Skenario volume dilakukan dengan 2 (dua) cara yaitu, cara pertama dilakukan dengan mereduksi volume kendaraan melalui penurunan pertumbuhan kendaraan penumpang dan sepeda motor per tahun sebesar 50 persen dari tingkat pertumbuhan yang digunakan pada kondisi BAU dalam penelitian ini. Maksud dari reduksi volume kendaraan dengan cara ini adalah untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi. Karena itu, harus ada penambahan sarana transportasi umum (bis) sebagai alternatif alat transportasi. Untuk itu pada skenario ini jumlah bis dinaikan sebesar 1 (satu) persen dari tingkat pertumbuhan yang ada, tanpa menggunakan BME Euro2.

Cara kedua simulasi dilakukan dengan mengambil asumsi sebagai berikut:

1. Jumlah truk yang boleh melalui Jakarta hanya 50 persen jumlah truk yang melalui Jakarta saat ini. Jumlah truk tersebut meningkat sesuai dengan tingkat pertumbuhan truk per tahun yaitu sebesar 4.4 persen.
2. Volume kendaraan penumpang dan sepeda motor masing-masing diturunkan 50 persen dari tingkat pertumbuhan yang digunakan. Dalam hal ini jumlah penambahan per tahunnya yang dibatasi.
3. Substitusi antara bis lama dan bis baru sebesar 1 (satu) persen, dan bis baru menggunakan standar emisi Euro2. Hal ini dapat dilakukan karena kontrol penggunaan bis untuk transportasi umum dapat dilakukan oleh Pemda Jakarta.

Hasil simulasi skenario pertama disebut volume-1 dan skenario kedua disebut volume-2, kedua hasil simulasi diberikan pada Tabel 34.

Tabel 34 Skenario Reduksi Volume Kendaraan

Tahun	Emisi (ton/tahun)			Persentase Reduksi	
	BAU	Volume-1	Volume-2	Volume-1	Volume-2
2005	8,812	8,812	7,543	0	14.4
2006	9,400	9,171	7,775	2.4	17.3
2007	10,036	9,545	8,017	4.9	20.1
2008	10,725	9,936	8,272	7.4	22.9
2009	11,471	10,344	8,538	9.8	25.6
2010	12,281	10,770	8,816	12.3	28.2
2011	13,160	11,216	9,108	14.8	30.8
2012	14,114	11,682	9,414	17.2	33.3
2013	15,149	12,168	9,735	19.7	35.7
2014	16,275	12,676	10,070	22.1	38.1
2015	17,498	13,208	10,422	24.5	40.4
2016	18,827	13,763	10,790	26.9	42.7
2017	20,274	14,343	11,176	29.3	44.9
2018	21,847	14,950	11,580	31.6	47
2019	23,561	15,584	12,003	33.9	49.1
2020	25,426	16,247	12,446	36.1	51.1
2021	27,459	16,940	12,910	38.3	53
2022	29,674	17,664	13,397	40.5	54.9
2023	32,088	18,422	13,907	42.6	56.7
2024	34,721	19,214	14,440	44.7	58.4
2025	37,593	20,042	15,000	46.7	60.1

Tabel 34 menyimpulkan bahwa skenario volume-1 belum berhasil menurunkan emisi kendaraan secara signifikan dengan rata-rata reduksi emisi sebesar 24.1 persen selama masa estimasi. Sedangkan volume-2 di mana jumlah bis tetap konstan, namun

dilakukan penggantian bis lama dengan bis baru yang standar emisinya menggunakan Euro2 serta melakukan pembatasan volume truk yang melalui Jakarta dapat menurunkan tingkat emisi rata-rata selama masa estimasi sebesar 35.9 persen.

Substitusi bis harus dilakukan dengan pertimbangan peningkatan kualitas layanan transportasi umum lebih utama dibandingkan peningkatan kuantitas sarana transportasi umum tersebut. Peningkatan jumlah bis dapat dipertahankan pada kondisi nol persen dengan cara melakukan perbaikan sarana transportasi kereta api.

Pengurangan jumlah truk yang memasuki Jakarta selain untuk menurunkan tingkat emisi kendaraan juga dimaksudkan untuk menurunkan tingkat kemacetan lalu lintas. Pengalihan jumlah truk yang memasuki Jakarta diluar dari jumlah yang ditentukan dapat dilakukan pada waktu-waktu di mana beban lalu lintas lebih rendah misalnya di atas jam 10 malam (22.00). Dengan demikian kegiatan ekonomi tidak akan terganggu dan emisi dari kendaraan masih dapat dikendalikan.

Sekalipun kedua skenario pembatasan volume kendaraan tersebut belum berhasil menurunkan tingkat emisi dari kendaraan pada tingkat di mana pengaruh emisi dari kendaraan tidak membahayakan kesehatan manusia, namun skenario volume-2 memperlihatkan bahwa emisi dari kendaraan masih dapat dikendalikan. Hal tersebut terlihat pada sebaran emisi dari kendaraan volume-2 pada tahun 2014 sebesar emisi dari kendaraan pada tahun 2007 pada kondisi BAU.

Skenario pembatasan volume kendaraan merupakan rancangan kebijakan pembatasan volume kendaraan yang mensyaratkan adanya pengalihan dari penggunaan kendaraan pribadi kepada penggunaan kendaraan umum. Karena itu, perbaikan sarana transportasi umum merupakan prioritas agar masyarakat dapat beralih dari penggunaan kendaraan pribadi kepada sarana transportasi umum yang ada.

Hasil simulasi skenario kebijakan dengan cara kedua menyebabkan perubahan variabel endogen yang diberikan dalam Tabel 35. Tabel 35 memperlihatkan bahwa skenario volume-2 merupakan alternatif kebijakan yang mereduksi emisi kendaraan terbaik. Skenario Euro2-2 adalah pelaksanaan BME Euro yang baru dapat diterapkan bagi kendaraan tipe baru. Skenario diesel-2 merupakan penerapan BME diesel sama dengan BME bensin untuk kendaraan penumpang, mini bis dan truk kecil yang hanya

diberlakukan bagi kendaraan baru, kendaraan lama masih memiliki faktor emisi kendaraan diesel.

Tabel 35 Perubahan Variabel Endogen Simulasi Cara-2

NO	Persentase Perubahan Variabel Endogen Terhadap BAU Cara 2			
	Variabel Endogen	Euro2	Diesel	Volume
1	Reduksi Emisi Kendaraan	28.9	23.4	35.9
2	Reduksi Konsentrasi Ambien	26.0	21.0	32.2
3	Reduksi Tingkat Morbiditas	37.6	30.6	47.4
4	Reduksi Prematur Mortalitas	37.6	30.6	47.4
5	Reduksi Biaya Kesehatan	37.2	30.2	46.8
6	Reduksi Biaya Degradasi	37.6	30.6	47.4
7	Peningkatan Manfaat Bersih	3.4	2.8	4.2
8	Peningkatan Nilai NPV	3.4	2.8	4.2

Secara teoritis kebijakan Kepmen LH Nomor 141/2003 telah mencoba melakukan pengendalian pencemaran dari kendaraan bermotor yang dilakukan secara bertahap. Tidak terjadinya penurunan emisi dari kendaraan seperti yang diberikan pada skenario Euro2-2 disebabkan pertimbangan bahwa penggunaan PCE pada kendaraan lama yang harus dibebankan pada masyarakat menyangkut dana yang tidak sedikit (Oka *et al.* 2005). Sekalipun penggunaan PCE dapat dilakukan, namun permasalahan yang timbul adalah bagaimana melakukan uji emisi atau pengawasan terhadap setiap kendaraan untuk memastikan bahwa BME yang ditetapkan telah dilaksanakan.

Pengawasan atau monitoring emisi kendaraan baru agar memenuhi BME dapat dilakukan dengan pengecekan tingkat emisi kendaraan pada produsen otomotif yang ada. Pelaksanaan dari kegiatan ini dapat dilakukan dengan mudah karena terkonsentrasi pada beberapa industri otomotif yang ada.

Namun pengawasan terhadap kendaraan yang menggunakan PCE agar memenuhi BME yang ditetapkan tidak mudah. Pengawasan terhadap emisi setiap kendaraan atau dari sumber bergerak tidak mungkin dilakukan karena membutuhkan teknologi yang dapat melakukan kontrol terhadap emisi kendaraan yang pada saat ini belum tersedia (Fullerton & Gan 2005). Di samping itu pengawasan dan pencatatan emisi dari setiap kendaraan merupakan suatu kegiatan yang membutuhkan sumberdaya manusia yang siap dari sisi pengoperasian peralatan dan prosedur pelaksanaan pekerjaan serta pendanaan kegiatan yang besar. Beberapa negara menggunakan instrumen insentif yang bertujuan

untuk merubah perilaku pemilik kendaraan sehingga reduksi emisi kendaraan dapat dilakukan melalui pengurangan jumlah perjalanan.

### 6.3 Skenario Kebijakan Reduksi Emisi Menggunakan Prime

Hasil analisis berbagai skenario yang dibangun menunjukkan adanya reduksi emisi dengan berbagai tingkat efektivitasnya terhadap kondisi BAU. Namun variabel institusi yang terdiri atas pengelolaan dan pendanaan belum dimasukan sebagai pertimbangan dalam simulasi dinamis.

Variabel institusi sangat menentukan berjalan atau tidaknya suatu kebijakan. Karena itu, untuk melihat pengaruh variabel institusi pada masing-masing kebijakan di atas, maka hasil simulasi dinamis digunakan sebagai masukan bagi analisis kebijakan menggunakan MCDA yang diberikan dalam bentuk matrik keputusan pada Tabel 36. Pembobotan yang diberikan untuk variabel institusi yaitu pengelolaan dan pendanaan untuk mencapai tujuan masing-masing kebijakan didasarkan besarnya pengelolaan yang dinyatakan dalam keterlibatan berbagai institusi. Nilai yang digunakan pada Tabel 36 adalah nilai-nilai hasil simulasi euro2-2, diesel-2 dan volume-2.

Tabel 36 Matrik Keputusan Alternatif Kebijakan Reduksi Emisi PM<sub>10</sub>

Kriteria/Atribut	Kebijakan Reduksi Emisi PM <sub>10</sub>			
	BAU	Euro2	Diesel	Volume
<b>Lingkungan</b>				
Emisi				
Kendaraan	20	13	14	11
Konsentrasi	190	132	143	120
<b>Sosial</b>				
Morbiditas	27	15	17	12
Mortalitas	45	25	29	21
Biaya Degradasi	20	11	12	9
<b>Ekonomi</b>				
Manfaat Bersih	217	226	224	227
Nilai NPV	168	174	173	175
<b>Institusi</b>				
Manajemen	mudah	sedang	sulit	sangat sulit
Pendanaan	kecil	sedang	besar	Sangat besar

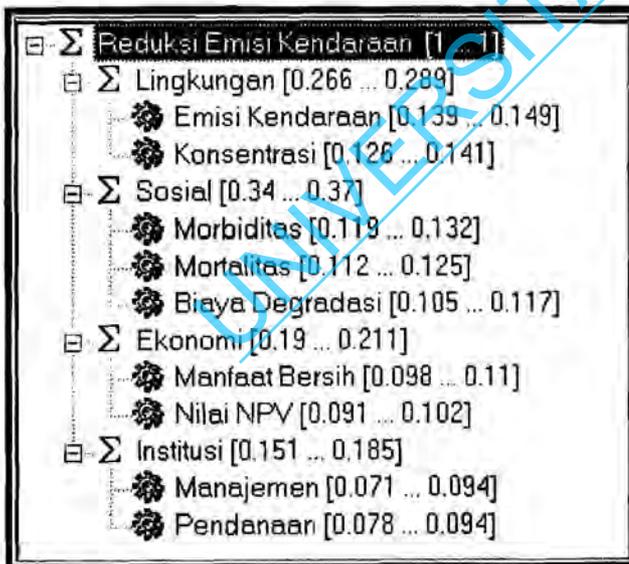
Kebijakan penetapan standar emisi (Euro2 dan Diesel) dari sisi pengelolaan akan lebih mudah dan pendanaan akan lebih kecil dibandingkan dengan kebijakan penurunan

penggunaan kendaraan pribadi. Asumsi yang diambil adalah bahwa kegiatan monitoring emisi kendaraan tidak dapat dimasukkan sebagai bagian dari kebijakan tersebut (Field & Field, 2002).

Perbedaan pembobotan antara standar Euro2 dan diesel, disebabkan penggunaan BME kendaraan diesel sama dengan BME kendaraan bensin membutuhkan pengembangan teknologi tersendiri. Sedangkan, kebijakan penurunan penggunaan kendaraan pribadi untuk suatu wilayah membutuhkan pengawasan dan ketersediaan sarana transportasi publik, atau membutuhkan koordinasi antara instansi yang lebih luas sehingga membutuhkan pendanaan lebih besar. Hasil pembobotan dan preferensi diberikan dalam bentuk *value tree* pada Tabel 37.

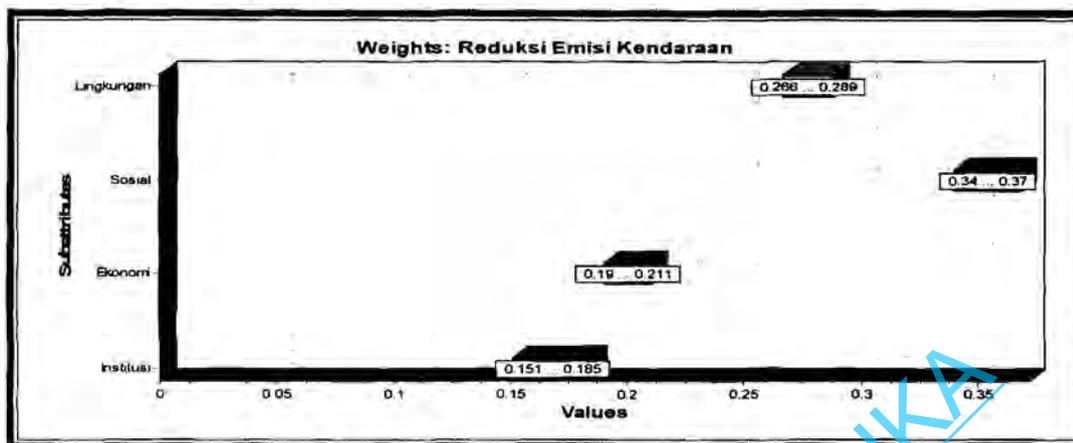
Analisis Prime untuk pembobotan dari masing-masing kriteria serta preferensi yang diberikan untuk masing-masing kriteria diberikan dalam bentuk *weight-value* yang diberikan pada Gambar 28. Hasil *weight-value* ini memberikan gambaran pemberian bobot masing-masing kriteria untuk menghasilkan kebijakan terbaik. Kriteria lingkungan merupakan acuan dari analisis kebijakan ini, sehingga bobot tertinggi diberikan bagi kriteria tersebut.

Tabel 37 Value Tree Reduksi Emisi Kendaraan



Hasil model dinamis menunjukkan bahwa kerugian sosial akibat pencemaran merupakan aspek penting dalam menetapkan kebijakan lingkungan, sehingga aspek sosial merupakan kriteria penting bagi keberhasilan suatu kebijakan lingkungan. Sekalipun

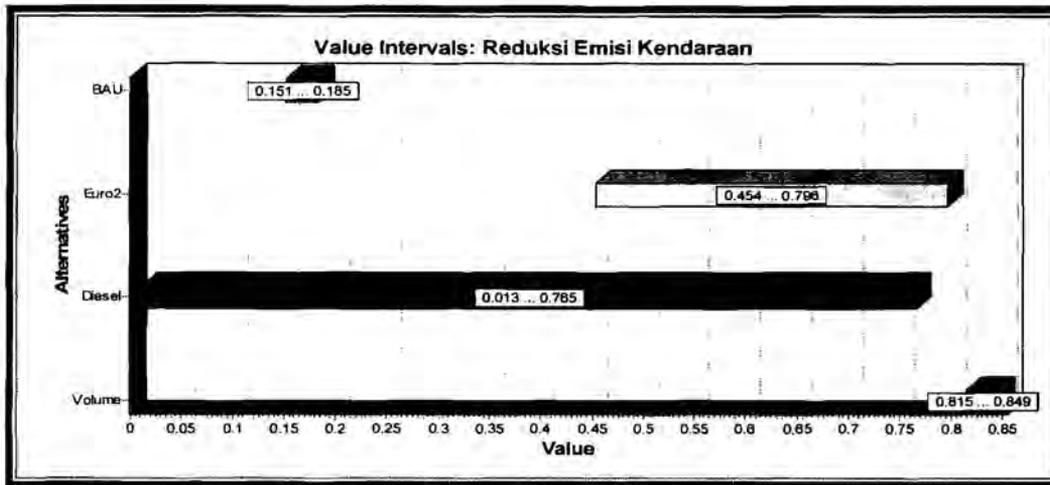
aspek institusi sangat menentukan keterlaksanaan suatu kebijakan namun aspek ekonomi akan lebih diprioritaskan sehingga bobot untuk kriteria dari aspek ekonomi lebih tinggi dibandingkan dengan aspek institusi.



Gambar 28 Interval Bobot Atribut Pengendalian Pencemaran PM<sub>10</sub>

Analisis kebijakan melalui Prime menghasilkan *value interval*. Nilai *value interval* ditentukan oleh bobot yang diberikan untuk masing-masing alternatif kebijakan. Berdasarkan bobot dan kriteria yang ditentukan akan diperoleh dua interval berdekatan tidak saling *overlap* (Gambar 29).

Hasil *value interval* menunjukkan bahwa kebijakan volume merupakan kebijakan dengan nilai interval tertinggi dan mendominasi kebijakan lainnya secara *absolute*. Kebijakan Euro2 dari hasil analisis prime memiliki nilai interval yang lebih tinggi dibandingkan dengan kebijakan diesel, namun kedua kebijakan ini saling *overlap* atau dominasi kebijakan Euro2 tidak absolut terhadap kebijakan diesel. Saling bertindihan antara kebijakan Euro2 dan diesel karena hasil analisis dinamik menunjukkan nilai-nilai yang saling berdekatan antara kedua kebijakan tersebut.



Gambar 29 Value Interval Reduksi Emisi Kendaraan

Analisis prime memberikan keputusan terbaik melalui *decision rules* yang diberikan pada Gambar 30. Gambar 30 memperlihatkan bahwa kebijakan pembatasan volume kendaraan merupakan kebijakan dengan tingkat kegagalan terkecil. Kebijakan Euro2 merupakan alternatif kebijakan yang memiliki tingkat kegagalan terkecil setelah kebijakan pembatasan volume kendaraan. Faktor pendanaan dan pengelolaan kebijakan diesel merupakan penyebab kebijakan diesel memiliki tingkat kegagalan yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi BAU (Tabel 36).

	Kesuksesan	Mandiri	Cost/Value	Minimal Regulasi	Penyelesaian
BAU					0.698
Euro2					0.387
Diesel					0.836
Volume	✓	✓	✓	✓	-0.019

Gambar 30 Decision Rules Kebijakan Reduksi Emisi Kendaraan

Hasil analisis kebijakan yang dilakukan di atas menyimpulkan bahwa kebijakan pembatasan volume kendaraan merupakan alternatif kebijakan terbaik. Namun kebijakan pembatasan volume kendaraan membutuhkan kesiapan perbaikan sistem transportasi

umum sebagai alternatif sarana transportasi bagi masyarakat. Penyediaan sarana transportasi ini tidak hanya didasarkan pada penyediaan jumlah sarana transportasi yang memadai namun juga kualitas sarana transportasi umum yang memadai.

Ditinjau dari sisi pengelolaan kebijakan pembatasan volume kendaraan merupakan kebijakan yang paling sulit dilaksanakan. Terkait dengan tingkat kesulitan pengelolaan dan penyediaan sarana transportasi umum yang memadai, maka kebijakan pembatasan volume juga merupakan kebijakan dengan pendanaan yang paling besar dibandingkan dengan kebijakan lainnya.

Jadi, apabila kebijakan untuk masing-masing skenario dilakukan secara bertahap maka kebijakan Euro2 merupakan kebijakan kedua terbaik dalam mereduksi emisi kendaraan. Kebijakan Euro2 memiliki sistem pengelolaan yang lebih mudah dan pendanaan yang lebih sedikit atau kecil dibandingkan dengan kebijakan lainnya. Penerapan kebijakan BME Euro2 merupakan kebijakan CAC lebih mudah dilaksanakan pada kendaraan baru, karena kontrol terhadap penggunaan BME dapat dilaksanakan melalui industri otomotif atau melalui produsen. Sedangkan bagi kendaraan lama dibutuhkan alat kontrol polusi yang dipasang pada setiap kendaraan sehingga kebijakan reduksi emisi kendaraan dapat lebih efektif seperti yang dihasilkan pada Tabel 32.

Agar pemberlakuan BME pada kendaraan baru dan kendaraan yang sedang beroperasi terlaksana sesuai dengan tujuan kebijakan tersebut, dibutuhkan pengawasan atau monitoring terhadap emisi kendaraan. Jika uji emisi yang dimaksudkan pada Perda Jakarta Nomor 2/2005 akan dilaksanakan maka kebijakan ini tidak akan efektif dan akan membutuhkan pendanaan yang besar karena tidak mungkin melakukan uji emisi pada setiap kendaraan untuk setiap waktu. Karena itu secara teoritis monitoring emisi total kendaraan tidak dapat dilakukan dengan kebijakan CAC, sehingga dibutuhkan instrumen ekonomi yang dapat berfungsi sebagai alat kontrol emisi kendaraan.

Selain itu, suatu kebijakan lingkungan pada dasarnya adalah untuk merubah perilaku masyarakat agar tidak melakukan aktivitas yang dapat menimbulkan kerusakan lingkungan yang lebih parah lagi. Perubahan perilaku masyarakat tersebut dapat dilakukan dengan suatu pengawasan yang ketat melalau kebijakan CAC atau melalui pertimbangan meningkatnya pengeluaran melalui instrumen ekonomi.

Dengan pertimbangan tersebut, dikembangkan skenario berikut untuk mengetahui efektivitas kebijakan CAC dan penggunaan instrumen ekonomi (IE) dalam kebijakan lingkungan yang dapat diterapkan di Jakarta. Simulasi akan dilakukan untuk kondisi BAU, penerapan kebijakan CAC (BME Euro2), serta kebijakan instrumen ekonomi.

Alternatif kebijakan dan kriteria yang digunakan diberikan dalam bentuk matrik keputusan pada Tabel 38, sedangkan hasil pembobotan dan preferensi yang diberikan pada masing-masing kriteria diberikan dalam bentuk *value tree* pada Tabel 39. Pembobotan dari masing-masing atribut didasarkan pada hasil model dinamis dan studi literatur yang berhubungan dengan penggunaan berbagai instrumen dalam kebijakan lingkungan.

Tabel 38 Matrik Keputusan Alternatif Kebijakan Lingkungan

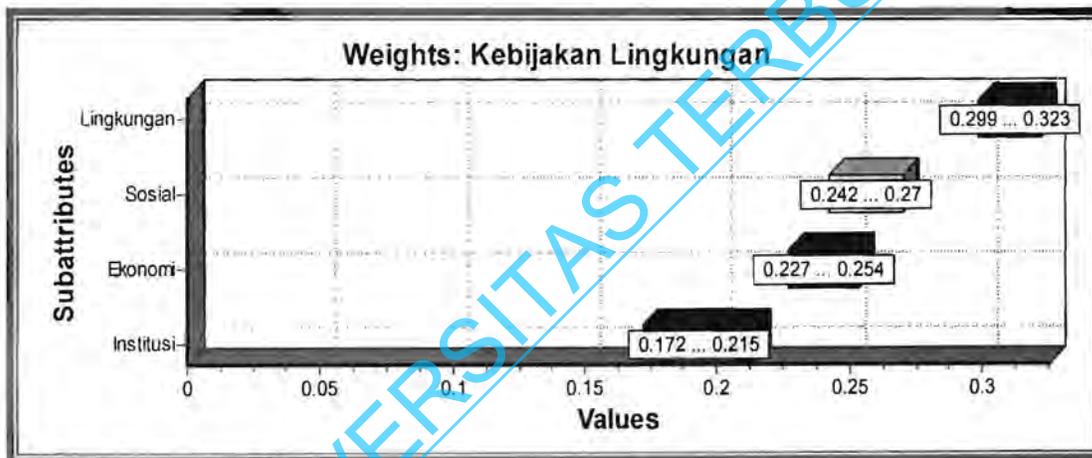
Kriteria/Atribut	Alternatif Kebijakan Lingkungan		
	BAU	CAC	IE
<b>Lingkungan</b>			
Emisi Kendaraan	besar	sedang	kecil
Konsentrasi	besar	sedang	kecil
<b>Sosial</b>			
Morbiditas	besar	sedang	kecil
Mortalitas	besar	sedang	kecil
<b>Ekonomi</b>			
Biaya Degradasi	besar	sedang	kecil
Manfaat Bersih	kecil	sedang	besar
<b>Institusi</b>			
Pengelolaan	mudah	sedang	sulit
Pendanaan	kecil	sedang	besar

Tabel 39 Value Tree Kebijakan Lingkungan



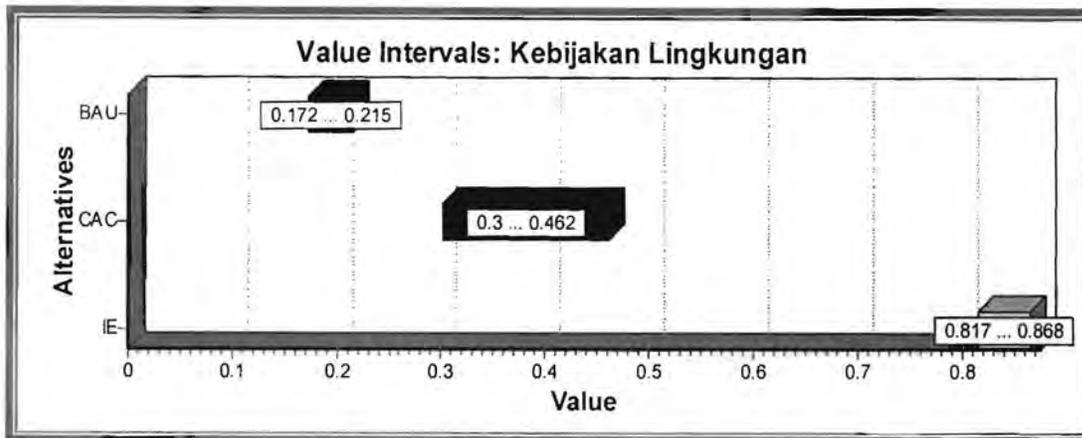
Bobot bagi kriteria aspek ekonomi lebih rendah dari aspek sosial didasarkan atas pertimbangan bahwa sekalipun aspek sosial dapat ditentukan nilainya secara ekonomi namun kesehatan akan memiliki nilai yang lebih tinggi. Aspek institusi merupakan aspek penting dalam keberhasilan dari kebijakan lingkungan, namun dalam pemberian bobot untuk kriteria institusi diberikan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan atribut pada kriteria sosial dan ekonomi. Secara pengelolaan kebijakan IE akan jauh lebih sulit dan karena itu akan membutuhkan pendanaan yang lebih besar dibandingkan dengan kebijakan CAC (Gambar 31).

Gambar 31 memberikan informasi bahwa sebagai kebijakan lingkungan, nilai aspek lingkungan memiliki interval dengan nilai terbaik. Interval aspek sosial dan ekonomi tidak saling lepas memberikan bahwa kedua aspek tersebut saling berkaitan.



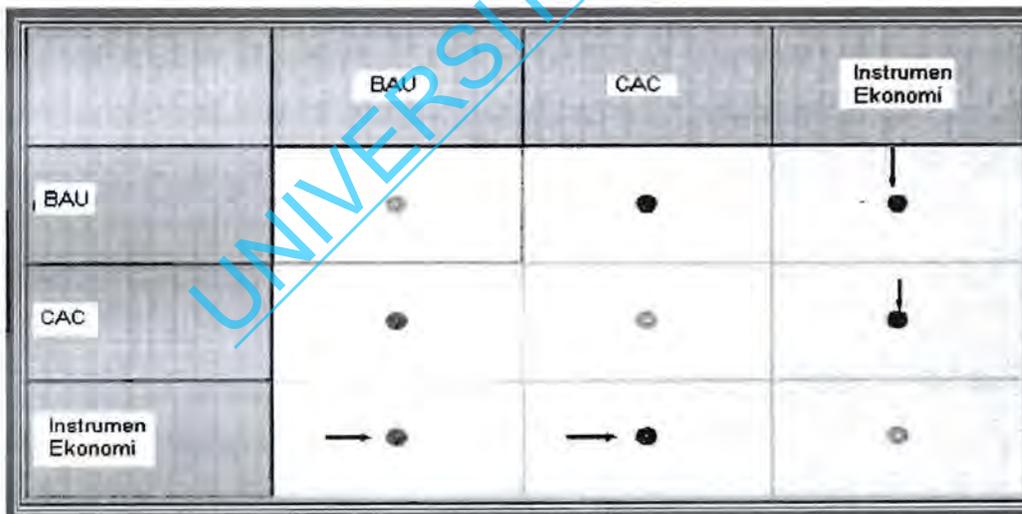
Gambar 31 Interval Bobot Atribut Kebijakan Lingkungan

Analisis *prime* menghasilkan *value interval* yang diberikan pada Gambar 32 dan struktur dominan pada Gambar 33. *Value interval* memperlihatkan bahwa kebijakan instrumen ekonomi memiliki nilai interval yang lebih tinggi. Sedangkan struktur dominan memberikan informasi bahwa secara vertikal maupun horizontal kebijakan instrumen ekonomi mendominasi kedua kebijakan lainnya.



Gambar 32 Value Interval Kebijakan Lingkungan

Kesimpulan yang dihasilkan dari analisis model Prime pada Gambar 32 dan Gambar 33 diperkuat dengan penilaian kemungkinan kegagalan akan pelaksanaan dari masing-masing kebijakan tersebut (Gambar 34). Hasil analisis model Prime untuk penerapan kebijakan lingkungan menyimpulkan bahwa kebijakan instrumen ekonomi merupakan kebijakan dengan tingkat kegagalan terkecil untuk mengatasi pencemaran udara yang terjadi di Jakarta, dengan rendahnya nilai *possible loss* pada kebijakan IE (Instrumen Ekonomi) dibandingkan dengan kebijakan CAC.



Gambar 33 Struktur Dominan Kebijakan Lingkungan

	Maximax	Maximin	Central Value	Minimax Regret	Possible Loss
BAU					0.696
CAC					0.561
Instrumen Ekonomi	✓	✓	✓	✓	-0.364

Gambar 34 Decision Rules Kebijakan Lingkungan

UNIVERSITAS TERBUKA

## BAB VII ANALISIS KEBIJAKAN

Sebagian besar dari kerusakan lingkungan disebabkan oleh aktivitas manusia atau bersifat antropogenik. Karena itu, pada dasarnya kebijakan lingkungan bertujuan untuk mengubah perilaku manusia agar aktivitas yang dilakukan tidak menimbulkan kerusakan lingkungan atau meminimalkan kerusakan lingkungan.

Kebijakan pengendalian pencemaran pada umumnya menggunakan instrumen yang berbasis pasar (*market-based*) atau berupa perintah dan pengendalian (*command and contro/CAC*). CAC dilakukan menggunakan pengaturan administratif dan perundang-undangan yang terkait langsung dengan jumlah pencemaran yang diperbolehkan dan dengan teknologi yang digunakan oleh industri.

Ditinjau dari tujuan kebijakan lingkungan kedua jenis kebijakan tersebut bermaksud untuk mengubah perilaku manusia atau masyarakat untuk melakukan aktivitas yang dapat meminimumkan kerusakan lingkungan. Perbedaan terletak pada cara kedua kebijakan tersebut dalam mencapai tujuannya. Kebijakan CAC melakukan perubahan perilaku masyarakat menggunakan sistem pengawasan yang ketat dan adanya sanksi hukum agar kebijakan dapat dipatuhi oleh masyarakat. Sedangkan kebijakan instrumen ekonomi mengubah perilaku masyarakat menggunakan penerapan nilai ekonomi di mana masyarakat akan mengubah perilakunya sesuai dengan pertimbangan meningkatnya pengeluaran akibat aktivitas yang dilakukannya.

Dengan demikian apabila pengawasan pelaksanaan kebijakan tidak dapat atau sulit dilakukan dan atau tidak adanya sanksi hukum terhadap pelanggaran yang dilakukan maka suatu kebijakan CAC tidak dapat melakukan fungsinya sesuai dengan tujuan dari kebijakan lingkungan tersebut. Karena itu pada umumnya kedua kebijakan tersebut diberlakukan bersamaan.

Misalnya dalam mengatasi pencemaran dari kendaraan bermotor kebijakan CAC dapat diterapkan pada industri otomotif dan perusahaan atau penyedia bahan bakar minyak yang digunakan untuk kendaraan bermotor, karena pengawasan lebih mudah dilakukan. Namun pengawasan terhadap emisi total dari kendaraan sulit untuk dilakukan

dengan kebijakan CAC. Sebaliknya instrumen ekonomi tidak efektif diberlakukan pada pengusaha otomotif dan penyedia bahan bakar minyak, karena pencemaran dari kendaraan bermotor ditentukan oleh pengguna atau pemilik kendaraan tersebut. Dengan demikian untuk mengendalikan pencemaran dari kendaraan bermotor kedua jenis kebijakan tersebut harus diberlakukan secara bersamaan. Kebijakan pengendalian pencemaran baik secara umum maupun secara spesifik untuk pengendalian pencemaran dari kendaraan bermotor diberikan pada Tabel 40.

Tabel 40 Matrik Kebijakan Reduksi Emisi Kendaraan

	Umum	Spesifik
<b>Umum</b>	<b>Standar Performa</b>	Pajak BBM
	BME	Pajak Kendaraan
	BMA	Pajak Penggunaan Jalan
	<b>Standar Teknologi</b>	
	Spesifikasi BBM/BBG	
	PCE	
	Uji Emisi	
<b>Spesifik</b>	Pajak Emisi	Manajemen Sistem Transportasi Subsidi PCE Pajak Kendaraan Berdasarkan Umur Pajak Kendaraan Berdasarkan Jenis BBM

Pembahasan dari kebijakan lingkungan pada bagian ini ditinjau dari aspek lingkungan, sosial, ekonomi, dan institusi. Pembahasan kebijakan lingkungan dilakukan dengan menggunakan berbagai contoh dan hasil penelitian yang telah diterapkan di negara lain untuk memperoleh formulasi kebijakan lingkungan yang sesuai untuk dapat diterapkan di Jakarta atau Indonesia. Kebijakan penetapan BMA tidak dibahas dalam bagian ini karena BMA tahunan secara nasional maupun lokal tidak tersedia dan penelitian ini menggunakan BMA yang ditetapkan US-EPA.

### 7.1 Aspek Lingkungan

Berdasarkan hasil analisis model dan kebijakan yang telah diterapkan di beberapa negara, untuk mereduksi emisi dari kendaraan bermotor di Jakarta perlu diterapkan 3 (tiga) kebijakan. Pertama, agar semua kendaraan memenuhi BME maka penggunaan PCE pada kendaraan lama harus dilakukan. Kedua, perbaikan sistem transportasi umum

merupakan persyaratan agar penggunaan kendaraan pribadi dapat direduksi. Ketiga, agar dapat mereduksi emisi  $PM_{10}$  harus diberlakukan pembatasan atau pelarangan penggunaan mesin diesel bagi kendaraan penumpang dan mini-bis atau melakukan pembatasan volume kendaraan diesel dengan cara pengalihan jam beroperasinya truk di Jakarta.

Secara teori kebijakan lingkungan CAC dibagi atas kebijakan penetapan standar yang terdiri atas penetapan standar performa dan standar teknologi. Standar performa dituangkan dalam bentuk penetapan standar emisi (BME) dan standar udara ambien (BMA). Standar teknologi lebih diarahkan pada penetapan suatu standar penggunaan teknologi tertentu untuk menghasilkan suatu produk yang spesifikasinya telah ditetapkan terlebih dahulu. Contoh kebijakan standar teknologi adalah penetapan spesifikasi bahan bakar dan alat untuk pengendalian polusi (PCE).

Penerapan standar emisi atau BME untuk kendaraan bermotor lebih mudah diterapkan pada kendaraan baru dibandingkan penerapan BME pada kendaraan yang sedang beroperasi. Hal ini disebabkan BME untuk kendaraan baru dapat dikontrol melalui industri otomotif atau produsen kendaraan. Malaysia dan Thailand misalnya, dalam memproduksi mobil yang berasal dari teknologi negara lain menetapkan standar emisi dari kendaraan tersebut lebih tinggi atau paling tidak sama dengan negara asalnya (Iwami 2001).

Analisis kebijakan dengan sistem dinamis menyimpulkan bahwa apabila semua kendaraan yang melalui Jakarta menggunakan BME Euro2, maka pengendalian emisi dari kendaraan melalui BME Euro2 paling efektif dalam mereduksi emisi dengan reduksi emisi pada tahun 2005 lebih dari 57 persen. Dengan demikian maka untuk mencapai BMA untuk kesehatan maka setiap kendaraan yang belum memenuhi BME harus menggunakan PCE.

Penggunaan PCE pada kendaraan lama merupakan bagian dari suatu kebijakan BME. Oka *et al.* 2005, memperkirakan biaya pemasangan PCE di Jepang untuk tiap kendaraan diesel sekitar satu juta yen atau sekitar 83 juta rupiah (nilai tukar pada tahun 2005, BPS 2006). Data biaya penggunaan PCE di Indonesia tidak diperoleh, namun diduga bahwa biaya pemasangan PCE merupakan salah satu pertimbangan belum terlaksananya kebijakan BME Euro2 untuk kendaraan lama. Tingginya biaya pemasangan PCE pada kendaraan maka subsidi harus diberikan untuk pengadaan PCE.

Manajemen sistem transportasi bukan termasuk dalam kebijakan lingkungan, namun kebijakan ini dapat mempengaruhi tingkat pencemaran karena tujuan dari kebijakan ini adalah untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi pada suatu wilayah. Karena itu, untuk wilayah perkotaan manajemen sistem transportasi dilakukan dengan mengintegrasikan sarana transportasi publik antara wilayah dalam kota maupun dari wilayah-wilayah di pinggiran kota yang menuju ke atau dari pusat-pusat kota atau pusat kegiatan perekonomian.

Kota Curitiba, Brazil, dan Cambridge di Inggris, menggunakan pengaturan sistem transportasi umum untuk menurunkan tingkat penggunaan kendaraan pribadi. Sistem transportasi umum yang dikembangkan oleh kota Curitiba berhasil menurunkan tingkat penggunaan BBM dari sektor transportasi. Pengelolaan sistem transportasi di Curitiba maupun di Cambridge dilakukan dengan menggunakan kombinasi tata ruang kota dan infrastruktur transportasi umum (Smith & Raemaekers 1998, Loukopoulos *et al.* 2005).

Dari beberapa contoh pembatasan volume kendaraan yang telah dilakukan di beberapa negara tersebut dapat disimpulkan bahwa perbaikan sistem transportasi umum yang memadai membutuhkan pembangunan infrastruktur transportasi umum dan integrasi tata ruang kota. Karena itu pengembangan sistem transportasi umum membutuhkan biaya yang tinggi dan dari sisi pengelolaan kebijakan pengendalian volume kendaraan membutuhkan kerjasama antara instansi yang bertanggungjawab terhadap perhubungan dan kepolisian. Karena itu, kebijakan ini ditinjau dari sisi pengelolaan akan lebih sulit dan dari sisi pendanaan pengelolaan membutuhkan pendanaan yang lebih besar, dibandingkan dengan kebijakan standar emisi.

Penerapan pembatasan penggunaan kendaraan diesel dapat diterapkan dengan melakukan pelarangan untuk impor suku cadang kendaraan diesel bagi kendaraan penumpang, mini bis, dan truk kecil. Hal tersebut telah dilakukan di Beirut dan menghasilkan reduksi emisi  $PM_{10}$  secara rata-rata sebesar 49.7 persen (El-Fadel *et al.* 2004). Di samping itu, pengurangan emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan diesel juga dapat diterapkan dengan melakukan pengurangan jumlah kendaraan diesel terutama truk besar yang memasuki Jakarta pada saat beban lalu lintas tinggi. Pelarangan jumlah truk

memasuki Jakarta dapat dibagi menurut wilayah yang paling besar dampak pencemaran  $PM_{10}$  dari emisi kendaraan.

Berbagai kebijakan pengendalian pencemaran melalui peraturan tersebut dapat dilakukan namun pengawasan emisi total dari kendaraan tidak dapat dilakukan dengan kebijakan CAC, karena itu instrumen ekonomi dapat digunakan untuk agar masyarakat dapat mengubah perilakunya sehingga emisi dari kendaraan dapat dikendalikan. Hasil analisis model MCDA dalam menentukan alternatif kebijakan lingkungan menyatakan bahwa penggunaan instrumen ekonomi dalam mengendalikan pencemaran udara dari kendaraan bermotor merupakan kebijakan lingkungan dengan *possible loss* terkecil.

Pajak BBM secara disain bertujuan untuk meningkatkan pendapatan negara, namun instrumen pajak BBM ini merupakan instrumen insentif yang dapat mengubah perilaku pemilik kendaraan dan berdampak pada reduksi emisi kendaraan bermotor. Perubahan perilaku masyarakat dalam menggunakan kendaraan terutama mereduksi jumlah perjalanan atau beralih pada kendaraan yang lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar. Instrumen pajak BBM ini paling efektif dalam mengendalikan variabel VKT (volume kendaraan dan perjalanan) di Amerika Serikat dan Eropa (Fullerton & Gan 2005; Beltran 1996). Tingkat efisien penggunaan pajak BBM sebesar 62 persen dari pajak emisi atau *Pigouvian Tax* (Fullerton & West. 2000).

Selain penggunaan pajak BBM, beberapa negara menerapkan perbedaan pajak untuk jenis BBM bergantung pada kerusakan yang ditimbulkan oleh penggunaan jenis BBM tersebut. Misalnya perbedaan harga antara bensin yang mengandung timbel (Pb) dan bensin yang telah bebas timbel, berhasil menurunkan tingkat emisi Pb 80 persen antara tahun 1988-1993 di Swedia dan berhasil menurunkan kandungan Pb di udara ambien sekitar 60 persen antara tahun 1989-1992 di Taiwan (Beltran 1996, O'Connors 1996). Swedia juga menerapkan perbedaan pajak untuk solar yang bertujuan meningkatkan penggunaan bahan bakar solar yang lebih rendah tingkat polusinya. Dampak perbedaan harga ini berhasil menurunkan emisi sulfur dari kendaraan diesel sebesar 75 persen (Beltran 1996).

Sekalipun pajak BBM sangat efektif dalam menurunkan tingkat emisi karena berkurangnya kilometer perjalanan, namun di banyak negara berkembang, permintaan (*demand*) penggunaan kendaraan pribadi agak tidak elastis terhadap harga BBM. Dengan

demikian untuk memperoleh efek yang signifikan terhadap reduksi kilometer perjalanan, maka harga BBM harus ditetapkan cukup tinggi (O'Connors 1996). Tingginya *demand* terhadap penggunaan kendaraan pribadi di negara berkembang termasuk di Jakarta disebabkan karena tidak tersedianya alternatif transportasi umum yang memadai (Syahril *et al.* 2002, Smith & Raemaekers 1998).

Penggunaan instrumen pajak BBM tidak dapat dilakukan di Indonesia karena kebijakan tersebut bersifat makro sehingga dampaknya akan bersifat secara nasional. Sedangkan kondisi sosial ekonomi masyarakat Indonesia belum memungkinkan untuk meningkatkan pajak BBM yang dapat berfungsi sebagai instrumen insentif bagi pengendalian pencemaran udara dari kendaraan bermotor. Namun kebijakan melakukan subsidi pada jenis BBM tertentu menyebabkan harga BBM tersebut lebih rendah dan karena itu akan meningkatkan penggunaan jenis BBM tersebut, sehingga ditinjau dari sisi lingkungan subsidi terhadap BBM tertentu akan berdampak pada kerusakan lingkungan.

Hasil analisis model dinamis memperlihatkan tingginya biaya kerusakan yang diakibatkan dari menurunnya kualitas udara ambien. Dampak secara sosial dan ekonomi tersebut dialami oleh masyarakat Jakarta termasuk golongan masyarakat yang berpenghasilan rendah. Karena itu, upaya untuk menurunkan emisi kendaraan harus dilakukan menggunakan berbagai alternatif kebijakan yang mungkin.

Penggunaan pajak kendaraan dalam kebijakan lingkungan dapat diterapkan dengan mempertimbangkan bahwa kendaraan yang menghasilkan polusi lebih tinggi akan dikenakan pajak yang lebih tinggi untuk ukuran dan jenis kendaraan sama. Hal ini dapat dipahami mengingat penggunaan kendaraan dalam waktu panjang akan mengalami berbagai kerusakan yang menyebabkan tingkat efisiensi penggunaan BBM akan berkurang dan kendaraan tersebut akan menyebabkan polusi lebih tinggi. Small & Kazimi (1994) menyatakan bahwa biaya polusi tertinggi berasal dari kendaraan lama yang kurang terawat.

Tingginya biaya polusi dari kendaraan lama terutama kendaraan yang kurang terawat merupakan alasan adanya perbedaan tingkat pajak kendaraan berdasarkan umur kendaraan. Penelitian penggunaan instrumen insentif di Jepang menghasilkan bahwa, penggunaan pajak kendaraan di mana besarnya pajak tersebut memperhitungkan umur kendaraan merupakan instrumen pajak yang efektivitasnya mendekati pajak emisi

(Fullerton *et al.* 2005). Hal tersebut juga disimpulkan oleh Orubu (2004) dalam penelitian pengendalian pencemaran udara dari kendaraan bermotor di Nigeria.

Besarnya polusi dari kendaraan juga bergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan, PM<sub>10</sub> misalnya, terutama berasal dari emisi kendaraan bermesin diesel berbahan bakar solar. Untuk itu, penetapan besarnya pajak kendaraan dapat didasarkan pada jenis bahan bakar yang digunakan.

Untuk mengatasi meningkatnya penggunaan kendaraan diesel di negara-negara Asia Tenggara, Lvovsky *et al.* 2000, mengusulkan penerapan bea masuk yang tinggi bagi suku cadang ataupun kendaraan yang berasal dari negara lain, terutama untuk jenis kendaraan kecil. Disamping itu, juga dapat diterapkan penggunaan pajak kendaraan tahunan yang lebih tinggi untuk kendaraan bermesin diesel dibandingkan dengan kendaraan sejenis bermesin bensin. Perbedaan pajak kendaraan berdasarkan jenis bahan bakar ini juga disimpulkan oleh Orubu (2004) untuk pengendalian pencemaran dari kendaraan bermotor di Nigeria.

Wilayah dengan tingkat kemacetan yang tinggi, menyebabkan konsentrasi polutan akan meningkat secara tajam (Panyacosit 2000). Karena itu, upaya menurunkan tingkat kemacetan sekaligus akan menurunkan tingkat konsentrasi polutan di wilayah tersebut. Pajak penggunaan jalan seperti *road pricing* untuk memasuki wilayah tertentu yang diterapkan di Singapore, merupakan instrumen insentif yang dapat menginternalisasi biaya eksternalitas penggunaan kendaraan (Chia *et al.* 2001). Selain itu, penggunaan *road pricing* tersebut dapat menurunkan tingkat kemacetan di wilayah tertentu (Field & Field 2002, Loukopoulos *et al.* 2005).

Agar pajak penggunaan jalan dapat efektif dalam menurunkan tingkat emisi total dari kendaraan, dibutuhkan ketersediaan alternatif transportasi umum yang memadai dan terjangkau oleh masyarakat banyak. Karena tujuan dari pajak penggunaan jalan adalah untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi. Apabila sarana transportasi umum tidak tersedia, maka yang terjadi adalah pemindahan tingkat emisi dari satu wilayah ke wilayah lainnya.

Tinjauan atas berbagai kebijakan lingkungan di atas menyimpulkan bahwa penerapan kebijakan lingkungan di Indonesia harus mempertimbangkan kondisi sosial ekonomi masyarakat. Di samping itu kebijakan lingkungan yang diterapkan

membutuhkan pendanaan baik untuk pengembangan infrastruktur transportasi umum maupun dalam mengatasi kerusakan lingkungan yang terjadi. Karena itu kebijakan lingkungan yang diterapkan harus juga mendatangkan revenue. Untuk menurunkan tingkat polusi udara dari emisi dari kendaraan kebijakan instrumen ekonomi yang dapat diterapkan adalah pajak kendaraan, pajak penggunaan jalan, dan subsidi pada PCE.

## 7.2 Aspek Sosial

Tujuan dari pembangunan ekonomi adalah untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat bukan hanya meningkatkan pendapatan. Karena itu meningkatnya pendapatan yang mempengaruhi meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor sehingga terjadi kerugian secara sosial dan ekonomi bagi penduduk Jakarta merupakan eksternalitas dari pembangunan ekonomi yang dilakukan. Semakin besar nilai eksternalitas tersebut, menyebabkan semakin menurunnya kualitas hidup sebagian penduduk Jakarta.

Hasil model dinamis menunjukkan bahwa meningkatnya emisi dari kendaraan menyebabkan konsentrasi ambien  $PM_{10}$  di sebagian besar wilayah di Jakarta telah melampaui BMA bagi kesehatan. Hal tersebut menyebabkan bertambahnya konsentrasi  $PM_{10}$  akan meningkatkan jumlah penduduk yang akan mengalami gangguan kesehatan dan juga meningkatkan level kerusakan kesehatan dari yang terpulihkan pada kerusakan yang tidak terpulihkan (Connell & Miller 1995).

Hasil analisis model dinamis membuktikan bahwa hubungan antara konsentrasi ambien dan gangguan kesehatan secara kuadratik, sehingga pertumbuhan (kecepatan) bertambahnya gangguan kesehatan meningkat dengan tajam sejalan dengan meningkatnya konsentrasi. Selain itu, dengan kontak yang lebih lama maka penduduk yang mengalami gangguan kesehatan yang dapat terpulihkan atau dikembalikan akan meningkat menjadi penduduk yang mengalami gangguan kesehatan yang tidak dapat dipulihkan lagi atau permanen bahkan akan menyebabkan kematian yang lebih awal. Dengan kata lain meningkatnya pencemaran menyebabkan meningkatnya gangguan kesehatan secara kuantitas dan kualitas.

Model dinamis juga menunjukkan bahwa karena konsentrasi ambien berbeda antara wilayah maka gangguan kesehatanpun akan berbeda untuk setiap wilayah. Dapat

terjadi penduduk dari wilayah yang menerima dampak pencemaran  $PM_{10}$  terparah, adalah penduduk tidak memiliki kendaraan.

Hasil model dinamis menyatakan bahwa biaya sosial per kapita per tahun mencapai 600 ribu rupiah pada tahun 2005. Data kependudukan menunjukkan bahwa 40 persen dari tenaga kerja di Jakarta adalah buruh dengan penghasilan sesuai UMP. Jika biaya ekonomi gangguan kesehatan dari polusi udara ditanggung oleh masyarakat, maka sekitar 1 (satu) bulan penghasilan sebesar UMP digunakan untuk biaya kesehatan tersebut. Nilai ekonomi dari pencemaran secara total pada tahun 2005 mencapai 8.1 persen dari PDRB Jakarta tahun 2004.

Analisis *cost-benefit* terhadap dampak pencemaran dari kendaraan bermotor memberikan bahwa manfaat bersih dan NPV meningkat selama masa estimasi. Permasalahannya adalah meningkatnya manfaat bersih ini tidak terdistribusi secara merata pada anggota masyarakat, mengingat biaya eksternalitas dari dampak pencemaran kendaraan bermotor ditanggung oleh masyarakat. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meningkatnya pertumbuhan ekonomi yang terjadi tidak menyebabkan meningkatnya kesejahteraan atau bahkan menyebabkan meningkatnya masyarakat miskin.

Tingginya kerusakan lingkungan dan besarnya dampak sosial ekonomi yang ditanggung oleh masyarakat, merupakan alasan utama dari internalisasi biaya eksternalitas penggunaan kendaraan bermotor. Internalisasi biaya kerusakan lingkungan ke dalam perhitungan PDB atau PDRB dilakukan melalui penerapan instrumen ekonomi.

Sekalipun penggunaan kebijakan BME dapat menurunkan tingkat emisi kendaraan secara efektif, namun biaya sosial yang diakibatkan oleh penggunaan kendaraan bermotor ataupun biaya abatement kerusakan lingkungan tidak dapat diatasi hanya dengan kebijakan BME ini. Hal ini disebabkan karena kebijakan BME tidak menghasilkan revenue, sedangkan pemerintah mengalami keterbatasan anggaran. Dengan alasan keterbatasan anggaran ini pula, diciptakan instrumen ekonomi yang memberikan insentif untuk perbaikan lingkungan dan sekaligus meningkatkan pendapatan negara atau daerah (O'Connor 1996).

Pertimbangan keadilan pada masyarakat banyak, mengharuskan bahwa *cost* yang dibebankan pada sebagian masyarakat harus juga dikenakan pada pemilik kendaraan atau

menggunakan prinsip pencemar menanggung dampak pencemaran atau *polluter pays principle*. Hasil analisis model dinamis memberikan bahwa pertumbuhan kerugian sosial atau gangguan kesehatan masyarakat per tahunnya meningkat dengan cepat. Di samping itu, alternatif kebijakan instrumen ekonomi merupakan kebijakan lingkungan dengan *possible loss* terkecil. Dengan demikian, penggunaan kebijakan yang merupakan kombinasi antara kebijakan CAC dan instrumen ekonomi dapat dilaksanakan di Jakarta dan segera diberlakukan untuk menghindari meningkatnya gangguan kesehatan akibat pencemaran yang lebih besar lagi.

Untuk mengatasi isu keadilan sosial maka pendapatan negara/daerah yang diperoleh dari berbagai jenis kebijakan instrumen ekonomi dari penggunaan kendaraan bermotor dapat dimanfaatkan untuk 2 (dua) hal. Pertama, untuk mengatasi bertambahnya kerusakan lingkungan dengan perbaikan sistem transportasi umum dan untuk subsidi PCE serta perbaikan lingkungan kota Jakarta dengan meningkatkan ruang terbuka hijau yang dapat memperkecil atau meredam pencemaran yang terjadi. Kedua, untuk mengatasi dampak sosial yang dialami oleh masyarakat akibat penggunaan kendaraan bermotor maka harus dilakukan perbaikan fasilitas layanan kesehatan masyarakat yang juga dapat dimanfaatkan oleh masyarakat lainnya.

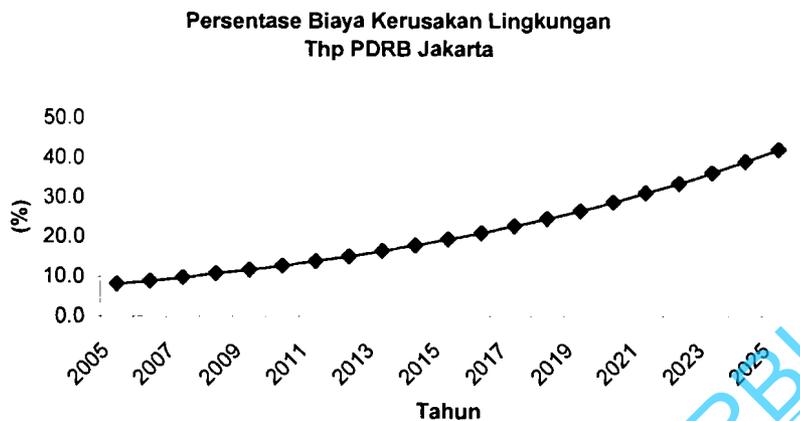
Kesimpulan dari uraian kebijakan di atas adalah bahwa dibutuhkan pendanaan bagi perbaikan lingkungan dan untuk mengatasi biaya sosial akibat kerusakan lingkungan yang terjadi. Karena itu internalisasi dari biaya kerusakan lingkungan ke dalam PDRB merupakan suatu keharusan sehingga hasil pembangunan dapat terdistribusi secara merata pada seluruh anggota masyarakat.

### 7.3 Aspek Ekonomi

Simulasi model dinamis menghasilkan bahwa kerugian ekonomi meningkat secara kuadratik sebanding dengan meningkatnya konsentrasi ambien  $PM_{10}$ . Dengan asumsi bahwa pertumbuhan ekonomi konstan sebesar 2 persen selama masa estimasi maka persentase biaya kerusakan lingkungan dapat dipetakan dan diberikan pada Gambar 35.

Gambar 35 memperlihatkan bahwa biaya kerusakan lingkungan yang dihasilkan dari model pada tahun 2005 lebih dari 8 persen dari PDRB Jakarta pada tahun tersebut.

Biaya kerusakan tersebut akan terus meningkat apabila tidak ada upaya menurunkan tingkat pencemaran. Data pertumbuhan ekonomi Jakarta menunjukkan angka rata-rata pertumbuhan antara tahun 2000-2004 sekitar 4 persen. Jadi sekalipun digunakan tingkat pertumbuhan ekonomi 4 persen per tahun, tingkat pertumbuhan tersebut belum dapat mengatasi biaya kerusakan lingkungan.



Gambar 35 Persentase Kerugian Ekonomi terhadap PDRB Model

Tingginya persentase biaya kerusakan tersebut memperlihatkan bahwa biaya kerusakan lingkungan harus dimasukkan dalam perhitungan PDRB atau PDB. Tidak terinternalisasinya biaya kerusakan lingkungan dalam PDRB menyebabkan tidak tersedianya biaya abatement bagi kerusakan lingkungan. Dengan demikian, sekalipun pertumbuhan ekonomi terjadi, namun titik balik dari EKC tidak akan dicapai (Bartz & Kelly, 2004).

Hubungan antara pendapatan per kapita di Jakarta dan emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan diberikan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Y = \alpha - \beta_1 x^2 + \beta_2 x^3$$

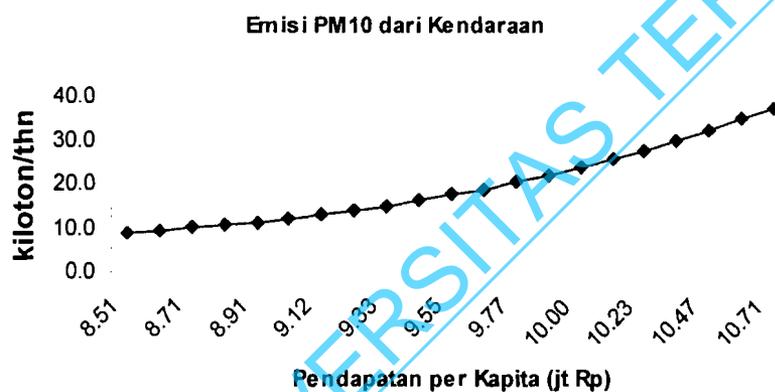
di mana  $Y$  adalah emisi kendaraan (kiloton/tahun)

$x$  adalah pendapatan per kapita (juta Rupiah).

Hubungan antara pendapatan per kapita dan emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan diberikan pada Gambar 36, menunjukkan bahwa titik balik (*turning point*) dari kurva EKC tidak diperoleh. Panayotou (2000) menyatakan bahwa *turning point* dari EKC sulit ditentukan bagi negara yang berpenghasilan rendah. Selain itu, dapat juga terjadi bahwa data

pendapatan per kapita kurang lengkap seperti yang terjadi di Malaysia untuk parameter lingkungan yang sama.

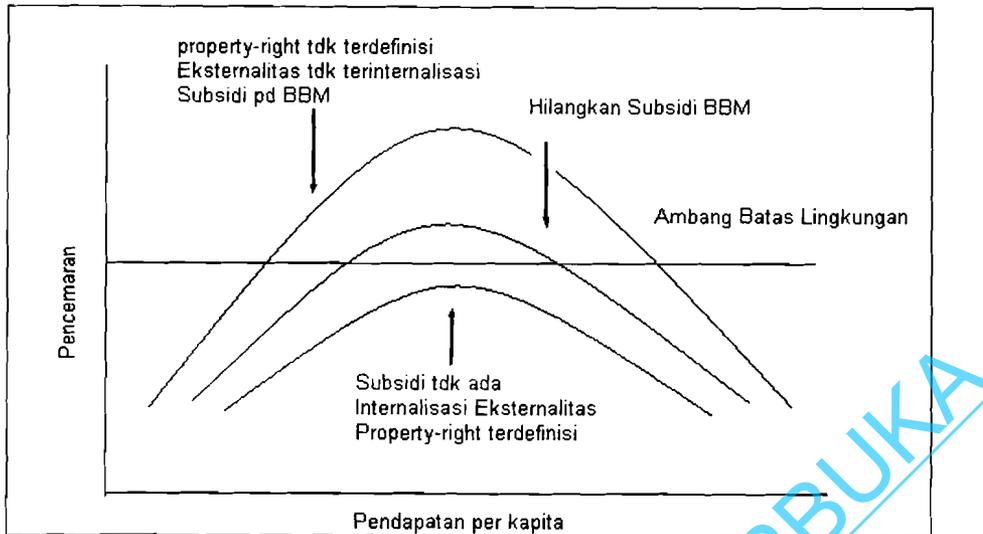
Namun yang penting dicatat adalah semakin tinggi grafik hubungan antara pendapatan per kapita dan pencemaran maka semakin jauh grafik tersebut dari titik ambang batas lingkungan dan hal tersebut akan menyebabkan terjadinya atau akan meningkatnya dampak pencemaran yang tidak terpuhkan. Kenaikan grafik hubungan antara pendapatan dan pencemaran tersebut merupakan indikasi bahwa terdapat kekeliruan dalam kebijakan pembangunan ekonomi yang ada (Panayoutou 2000). Karena itu, kebijakan perbaikan lingkungan merupakan hal yang mendesak agar tidak memperparah kerusakan yang telah terjadi. Sekalipun nilai NPV menunjukkan angka yang cukup tinggi dalam penelitian ini, namun kerusakan kesehatan penduduk Jakarta mungkin tidak dapat dikembalikan dengan biaya tersebut.



Gambar 36 Pendapatan per Kapita vs Emisi PM<sub>10</sub> Kendaraan

Panayoutou (2000) memberikan hubungan antara pencemaran dan pendapatan per kapita serta kaitannya dengan kebijakan pemerintah antara lain dengan melakukan subsidi terhadap bahan bakar minyak dan tidak terinternalisasinya biaya kerusakan lingkungan diberikan pada Gambar 37. Gambar 37 memperlihatkan bahwa adanya hak kepemilikan tidak terdefinisi dengan baik, subsidi terhadap BBM dan tidak terinternalisasinya biaya kerusakan lingkungan menyebabkan titik balik dari EKC diperoleh pada tingkat pencemaran yang tinggi. Penghapusan subsidi pada BBM menyebabkan titik balik EKC dapat dicapai pada tingkat pencemaran yang lebih rendah

dibandingkan dengan pada saat subsidi masih dilakukan. Lebih lanjut dengan menghilangkan subsidi, melakukan internalisasi biaya kerusakan, dan mendefinisikan hak kepemilikan dengan jelas akan menurunkan EKC di bawah ambang batas lingkungan.



Gambar 37 Pendapatan per Kapita, Pencemaran dan Kebijakan Pemerintah  
Sumber: Panayoutou 2000.

Saran yang diberikan oleh Panayoutou (2000) adalah menghapuskan subsidi dan melakukan internalisasi biaya kerusakan melalui pajak pencemaran. Penghapusan subsidi BBM dapat dilakukan dengan pemberlakuan penggunaan bahan bakar alternatif (gas) bagi kendaraan umum. Pertimbangan rendahnya harga jual bahan bakar alternatif dibandingkan dengan biaya pengolahan bahan bakar tersebut dapat diatasi dengan melakukan pengalihan dana subsidi BBM pada pendanaan pengolahan atau produksi bahan bakar alternatif. Penghapusan subsidi BBM dengan cara ini pada tahap awal belum meningkatkan pendapatan negara, namun dalam jangka panjang penggunaan bahan bakar alternatif akan lebih menguntungkan. Keuntungan yang diperoleh adalah menurunnya penggunaan BBM untuk sektor transportasi dan menurunnya biaya kerusakan lingkungan.

Internalisasi biaya kerusakan merupakan salah satu cara untuk menurunkan tingkat pencemaran. Sebagai negara berkembang dengan pendapat per kapita yang relatif rendah maka pemerintah/pemerintah daerah membutuhkan dana bagi pembangunan yang dilakukan, sehingga lingkungan kurang mendapat perhatian. Karena itu, Fullerton (2001) menyatakan bahwa apabila pendapatan negara atau daerah bukan sebagai isu atau alasan

maka kebijakan CAC dapat didisain yang dapat mereduksi pencemaran dan menghasilkan kesejahteraan. Dengan kata lain, untuk negara yang masih harus meningkatkan pendapatan maka seharusnya kebijakan lingkungan yang diterapkan adalah kebijakan lingkungan yang menghasilkan revenue.

Beberapa alasan penggunaan instrumen ekonomi yang diterapkan di negara lain adalah internalisasi biaya kerusakan lingkungan lebih mudah dilakukan melalui penggunaan instrumen ekonomi dan bahwa instrumen ekonomi menghasilkan revenue yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai perbaikan pembangunan (Beltran 1996). Selain itu, biaya abatemen yang dibutuhkan menggunakan kebijakan BME antara 6 sampai 10 kali lebih besar dari biaya abatemen yang dibutuhkan menggunakan pajak emisi (Feng *et al.* 2005; Fullerton 2001). Hal ini menyimpulkan bahwa penggunaan instrumen ekonomi dalam kebijakan lingkungan merupakan alternatif perbaikan lingkungan yang lebih efisien.

Kebijakan CAC lebih banyak digunakan karena kebijakan CAC atau standar performa/emisi merupakan kebijakan yang mudah dan tidak membutuhkan dana yang besar dalam pengelolaannya. Rendahnya biaya pengelolaan kebijakan CAC karena monitoring emisi tidak perlu dilakukan oleh pemerintah. Di samping itu secara politis kebijakan CAC lebih mudah diterima sehingga kebijakan CAC lebih digemari oleh pemerintah. Jadi dapat disimpulkan bahwa tidak digunakannya instrumen ekonomi dalam kebijakan lingkungan untuk kendaraan bermotor di Indonesia lebih didasarkan pada pertimbangan politis yaitu menurunnya popularitas pemerintah di depan pemilihnya (Field & Field 2002).

Negara lain yang telah menggunakan instrumen ekonomi dalam kebijakan lingkungannya membuktikan bahwa PDB akan meningkat untuk beberapa polutan tertentu. Contohnya penggunaan pajak emisi pada SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan PM<sub>10</sub> di Swedia meningkatkan PDB dan menurunkan tingkat pengangguran dibandingkan dengan penggunaan BME (Menz & Seip 2004). Di samping itu, Swedia menerapkan kebijakan perbedaan pajak BBM bertimbel dan BBM bebas timbel serta perbedaan pajak solar menurut kualitas solar tersebut, revenue dari perbedaan pajak tersebut telah melampaui biaya tambahan untuk memproduksi bensin tidak bertimbel dan solar yang tingkat polusinya lebih rendah (Beltran 1996).

Contoh tersebut membuktikan bahwa menggunakan instrumen ekonomi untuk mengatasi masalah lingkungan dapat dimanfaatkan untuk membangun berbagai fasilitas lain yang juga akan memperbaiki lingkungan. Misalnya dalam meningkatkan produksi dan distribusi bahan bakar gas.

Permasalahannya adalah bagaimana mendisain instrumen pajak agar tujuan perbaikan lingkungan dapat tercapai. Selama ini, instrumen pajak termasuk pajak kendaraan yang diterapkan di Indonesia merupakan kebijakan fiskal yang penggunaannya untuk berbagai kebutuhan pembangunan. Hal ini merupakan indikasi bahwa penerapan pajak lingkungan harus didisain sedemikian rupa sehingga sebagian dari revenue pajak tersebut dapat digunakan untuk menutupi anggaran pembangunan.

Penggunaan pajak *earmarked* merupakan alternatif penggunaan instrumen ekonomi untuk mengatasi pencemaran udara dari kendaraan bermotor. Pajak penggunaan jalan misalnya dapat menginternalisasi biaya eksternalitas penggunaan kendaraan bermotor seperti yang dilaksanakan di Singapore. Penggunaan pajak *earmarked* pada kendaraan dan penggunaan jalan dapat dikembalikan dalam bentuk pembangunan prasarana dan sarana transportasi umum serta penggunaan teknologi untuk perbaikan lingkungan telah banyak di laksanakan (Beltran 1996).

Penggunaan pajak '*earmarked*' di Indonesia dalam mengatasi pencemaran dari kendaraan bermotor harus dapat dikembalikan pada pembayar pajak dan penerima dampak dari kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh kendaraan bermotor. Jadi penggunaan revenue pajak tersebut dapat digunakan untuk memberikan layanan kesehatan yang lebih baik pada masyarakat, sekalipun pengguna layanan kesehatan tersebut bukan dari penduduk yang menerima dampak pencemaran dari kendaraan bermotor.

#### **7.4 Aspek Kelembagaan**

Aspek kelembagaan meninjau pengelolaan dan pendanaan dari kebijakan lingkungan.

##### **7.4.1 Pengelolaan**

Pengelolaan lingkungan yang berhubungan dengan pencemaran udara dari emisi kendaraan bermotor melibatkan berbagai instansi. Instansi pemerintah di tingkat pusat

yang terkait dengan pengelolaan kualitas udara adalah Kementerian Lingkungan Hidup, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Departemen Perhubungan, Departemen Perindustrian, Departemen Pekerjaan Umum dan Departemen Kesehatan. Beberapa instansi lain yang juga memiliki peranan tertentu dalam hal pengelolaan kualitas udara diantaranya adalah Departemen Dalam Negeri, Kementerian Riset dan Teknologi. Sedangkan, untuk tingkat daerah maka kegiatan tersebut dilakukan oleh dinas masing-masing instansi tersebut dalam koordinasi pemerintah daerah setempat.

Pertimbangan koordinasi pengelolaan pengendalian pencemaran udara ini, maka kebijakan pengendalian pencemaran udara dibagi atas beberapa bagian:

1. Bahan Bakar.

Kebijakan diversifikasi bahan bakar untuk kendaraan bermotor seperti bahan bakar gas yang telah dilaksanakan untuk kendaraan bis 'Trans-Jakarta' perlu diperluas. Karena itu, kendala dalam pengisian bahan bakar atau jumlah SPBU yang menyediakan bahan bakar gas perlu diperbanyak. Kebijakan ini bersifat nasional dalam produksi dan pendistribusian, karena itu peran pemerintah pusat untuk penggunaan berbagai jenis bahan bakar sangat menentukan.

Disamping itu, kualitas bahan bakar pada setiap SPBU perlu dijaga dengan melakukan uji terhadap bahan bakar yang terdapat di SPBU secara rutin. Untuk itu perlu diatur dalam suatu keputusan Ditjen Migas tentang spesifikasi bahan bakar yang beredar. Dalam melaksanakan uji atas kualitas bahan bakar pada setiap SPBU perlu diatur koordinasi antara Ditjen Migas, Pemda DKI Jakarta dan instansi lingkungan hidup.

Penegakan hukum atas pelanggaran yang dilakukan oleh oknum tertentu yang melakukan perubahan spesifikasi bahan bakar yang ditentukan perlu ditegakan, dengan menyebarluaskan informasi tersebut pada masyarakat melalui media. Hal ini, akan merupakan hukuman sosial yang diberikan pada pelaku, untuk menghindari terjadinya kejadian serupa.

2. Baku Mutu Emisi Kendaraan

Penetapan BME merupakan kebijakan nasional dan secara operasional kegiatan ini merupakan wewenang dari instansi lingkungan hidup. Namun penerapannya lebih

---

lanjut membutuhkan penerapan teknologi karena itu dibutuhkan koordinasi antara instansi lingkungan hidup dan instansi perindustrian.

Uji emisi kendaraan baru sesuai dengan BME dilakukan atas koordinasi antara instansi perhubungan dan lingkungan hidup. Penyelenggaraan uji emisi terhadap kendaraan yang sedang beroperasi tidak *cost-effective* karena itu untuk melakukan kontrol terhadap total emisi dari kendaraan digunakan instrumen insentif. Penggunaan berbagai instrumen insentif yang telah dibahas sebelumnya dapat diterapkan di Jakarta.

### 3. Pengembangan dan Pengelolaan Sistem Transportasi

Pengembangan sistem transportasi umum di Jakarta harus dilakukan secara terintegrasi antara Pemda DKI Jakarta dan Pemda Bodetabek, karena itu dibutuhkan suatu perencanaan menyeluruh yang terintegrasi. Dalam perencanaan sistem transportasi tersebut sudah termuat berbagai jenis sarana transportasi publik seperti pendayagunaan kereta api baik monorail ataupun kereta api listrik (KRL) dan pengintegrasian sistem layanan tersebut dengan sistem bis cepat atau 'trans-Jakarta' atau dengan angkutan kota lainnya.

Sistem transportasi umum sangat erat kaitannya dengan perencanaan tata guna lahan di wilayah Jabodetabek. Untuk menghindari terjadinya perubahan pemanfaatan lahan pelaksanaan koordinasi sistem transportasi wilayah Jabodetabek membutuhkan dasar hukum yang mengatur koordinasi tersebut termasuk pelanggaran dalam pemanfaatan lahan.

Kebutuhan layanan sistem transportasi yang terintegrasi merupakan pengelolaan yang membutuhkan pendanaan yang besar, karena itu dalam perencanaan tersebut harus ditangani secara nasional. Keterlibatan berbagai instansi sesuai dengan fungsinya seperti Bappenas, Pemda DKI Jakarta, Dephub, PU dan PT Kereta Api Indonesia.

Untuk mengurangi beban lalu lintas dan tingkat pencemaran simulasi pengalihan waktu operasi truk besar perlu dilakukan dengan mempertimbangan wilayah-wilayah yang padat penduduk dan wilayah dengan tingkat pencemaran yang tinggi. Pengelolaan arus lalu lintas tersebut dapat dilakukan menggunakan mekanisme '*three in one*' yang telah berjalan selama ini.

#### 4. Penggunaan Instrumen Insentif

Pengembangan instrumen ekonomi dalam mengurangi laju pencemaran udara di Jakarta dapat dilakukan dengan pemberlakuan pajak pada kendaraan dan pajak penggunaan jalan '*road pricing*' serta subsidi terhadap pengembangan teknologi yang dapat mengurangi tingkat pencemaran udara. Untuk itu, dibutuhkan dasar hukum bagi pemberlakuan instrumen tersebut. Penetapan dasar hukum tersebut harus melibatkan instansi seperti instansi pajak atau keuangan dan instansi lainnya yang terlibat dalam pelaksanaan pengelolaan lingkungan.

Pajak *earmarked* merupakan pajak yang dapat dikembangkan untuk kebutuhan pengelolaan lingkungan di Jakarta. Penggunaan pajak *earmarked* harus mempertimbangkan perbaikan layanan sistem transportasi umum, layanan fasilitas kesehatan masyarakat, dan perbaikan lingkungan kota Jakarta.

Mekanisme pengelolaan pajak seperti yang ada saat ini dapat dilaksanakan. Namun penerapan instrumen pajak kendaraan sebagai kebijakan lingkungan perlu dilakukan secara bertahap. Salah satu pertimbangan yang harus diambil adalah pada tahap awal hanya kendaraan pribadi yang dikenakan pajak lingkungan. Hal tersebut dapat dijustifikasi dari tingginya kontribusi emisi dari kendaraan pribadi terhadap total emisi dari kendaraan bermotor. Selain itu, meningkatkan pajak kendaraan bagi kendaraan umum akan meningkatkan biaya penggunaan sarana transportasi umum, hal tersebut dirasakan tidak adil bagi pengguna sarana transportasi umum dan mungkin akan menurunkan minat pengguna sarana transportasi umum.

#### 5. Pemantauan Kualitas Udara Ambien.

Saat ini baku mutu udara ambien DKI Jakarta masih mengacu pada baku mutu yang ditetapkan dalam Keputusan Gubernur Propinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 551/2001, tentang Penetapan Baku Mutu Udara Ambien dan Baku Tingkat Kebisingan di Propinsi DKI Jakarta, yang diukur setiap hari. Penetapan baku mutu udara ambien tahunan perlu ditetapkan atau dilakukan dengan mengacu pada baku mutu negara lain seperti US-EPA atau BMA dari WHO (Lembaga Kesehatan Dunia).

Pemantauan udara ambien untuk semua parameter lingkungan harus dilakukan secara rutin dengan sistem informasi database yang baik. Selama ini Jakarta telah

memiliki 5 stasiun pemantauan udara ambien, namun pelaksanaan pemantauan dari kelima stasiun tersebut belum terlaksana secara rutin. Ataupun jika dilakukan pemantauan maka informasi data hasil pemantauan tidak dapat diakses oleh publik. Pemantauan udara ambien merupakan kegiatan yang dilakukan oleh instansi lingkungan hidup Jakarta. Hasil dari pemantauan tersebut dapat disosialisasikan pada masyarakat melalui Jakarta Dalam Angka dari BPS-Jakarta.

#### 6. Dampak Pencemaran Udara

Pendataan masyarakat yang terkena gangguan kesehatan akibat pencemaran udara dan penanganan pasien yang mengalami gangguan kesehatan akibat pencemaran udara perlu diatur dalam keputusan menteri Kesehatan. Pendataan tersebut membutuhkan analisis terhadap data pasien gangguan pernafasan, data tersebut sangat penting dimiliki, untuk dapat segera mengambil tindakan mitigasi sebelum dampak tersebut meluas.

Pelaksanaan kegiatan ini dapat dilakukan diberbagai Puskemas di bawah koordinasi dinas kesehatan. Untuk itu, dibutuhkan suatu pedoman atau petunjuk teknis pengendalian dampak kesehatan pencemaran udara yang diatur dalam Keputusan Menteri Kesehatan. Kajian dari data dampak kesehatan pencemaran udara perlu dilakukan secara rutin, paling tidak 2 (dua) kali dalam satu tahun.

#### 7. Pengembangan Program Perbaikan Lingkungan

Pengembangan program-program perbaikan lingkungan dikaitkan dengan tugas pokok dan fungsi masing-masing instansi. Sedangkan pengembangan program-program perbaikan lingkungan yang berhubungan dengan inovasi teknologi merupakan bagian dari rencana pembangunan Indonesia atau Jakarta, yang melibatkan penelitian dan pengembangan (R & D). Berbagai instansi penelitian ataupun perguruan tinggi dapat dilibatkan dalam kegiatan tersebut.

#### 8. Koordinasi

Pelaksanaan pengendalian pencemaran udara membutuhkan kapasitas pelaksana baik dari segi kualitas maupun kuantitas dari petugas masing-masing instansi tersebut. Keterbatasan jumlah staf dan kualitas staf yang memadai akan menimbulkan kesulitan

dalam melaksanakan pengawasan yang baik terhadap pelaksanaan peraturan yang dapat menimbulkan konflik yang menyebabkan pengelolaan pengendalian pencemaran udara tidak dapat terlaksana dengan baik. Dalam hal ini Pemda DKI Jakarta memiliki peran utama dalam melakukan koordinasi antara berbagai instansi tersebut.

Di samping itu pengelolaan lingkungan yang berkaitan dengan pencemaran dari kendaraan bermotor di Jakarta harus melibatkan pemerintah daerah Bodetabek, karena pencemaran dari emisi kendaraan bermotor di Jakarta disebabkan juga oleh pemilik kendaraan dari Bodetabek. Untuk itu dibutuhkan adanya semacam badan koordinasi antar wilayah yang memiliki kewenangan dalam menetapkan prioritas pembangunan sistem transportasi dan pengendalian pembangunan sehingga pembangunan yang dilakukan sesuai dengan rencana pengembangan yang telah ditetapkan. Hal tersebut sangat dibutuhkan terutama dalam mengatasi terjadinya alih fungsi lahan yang akan berdampak pada pengembangan sistem jaringan transportasi di Jabodetabek.

#### 7.4.2 Pendanaan

Pendanaan pengelolaan lingkungan hidup menyangkut pendanaan kegiatan administratif dan kegiatan perbaikan lingkungan hidup. Kegiatan perbaikan lingkungan juga dapat dibagi lagi menjadi kegiatan yang berhubungan dengan fungsi masing-masing instansi dan kegiatan pengembangan atau perbaikan lingkungan hidup yang melibatkan berbagai instansi.

Salah satu contoh kegiatan rutin yang menjadi bagian pengelolaan lingkungan adalah memonitor kualitas udara ambien. Memonitor emisi total kendaraan tidak dianjurkan namun memonitor kualitas udara ambien dan menganalisis hasil monitoring udara ambien merupakan kegiatan yang harus dilaksanakan secara rutin. Dengan mengetahui seberapa buruk kondisi udara ambien intervensi kebijakan dapat segera dilakukan. Keseluruhan kegiatan tersebut membutuhkan pendanaan yang menjadi bagian dari pendanaan pengelolaan lingkungan.

Di lain sisi dalam pengelolaan lingkungan hidup juga termasuk program-program perbaikan lingkungan. Beberapa negara berkembang membentuk *environmental funds* untuk mendanai kegiatan perbaikan lingkungan. *Environmental funds* dapat dipandang sebagai mekanisme transisi dalam memobilisasi pendanaan dari masalah-masalah

---

lingkungan. Lembaga ini memperoleh dana dari berbagai sumber seperti, anggaran pemerintah, donor, dan pajak lingkungan. Contoh penggunaan dana *Environmental funds* adalah untuk kredit murah bagi investasi perusahaan dalam PCE di Thailand (O'Connor 1996).

Penggunaan *environmental fund* mungkin dapat diterapkan di Jakarta sebagai mekanisme pengelolaan dana untuk perbaikan lingkungan, namun anggaran perbaikan lingkungan bukan merupakan peruntukan bagi kegiatan suatu instansi. Masukan berbagai instansi untuk perbaikan lingkungan harus dapat diseleksi berdasarkan prioritas yang telah ditetapkan oleh pemerintah daerah. Sebagai contoh pemberian subsidi bagi pengembangan PCE merupakan program perbaikan lingkungan yang melibatkan unsur industri dan pengembangan teknologi. Karena itu adanya perencanaan perbaikan lingkungan dalam jangka pendek, menengah dan jangka panjang dibutuhkan sebagai acuan dari pelaksanaan program-program perbaikan lingkungan.

Kendala dalam pemanfaatan revenue pajak lingkungan dapat diatasi dengan menetapkan mekanisme sistem pengelolaan dan perangkat perundangan yang menjadi dasar sistem pengelolaan tersebut. Dibutuhkan peninjauan kembali atas prioritas pembangunan dalam perencanaan pembangunan jangka pendek, menengah dan jangka panjang, agar aspek kerusakan lingkungan, kerugian sosial dan kerugian ekonomi dari penggunaan kendaraan bermotor menjadi dasar pertimbangan untuk memprioritaskan pembangunan yang dapat meminimalkan berbagai kerusakan tersebut di Jakarta. Selain itu, transparansi informasi kepada masyarakat merupakan kunci keberhasilan dari suatu kebijakan, karena itu pemanfaatan berbagai media dalam untuk menyebarkan informasi perlu dilakukan.

---

## BAB VIII KESIMPULAN DAN SARAN

### 8.1 Kesimpulan

Model dinamis yang dikembangkan untuk menentukan keterkaitan antara faktor-faktor lingkungan, sosial dan ekonomi menghasilkan bahwa keterkaitan antara meningkatnya emisi kendaraan dan menurunnya kualitas udara ambien di Jakarta akibat meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor, berkorelasi secara linier sangat signifikan pada tingkat signifikan 0.01 dan nilai R-kuadrat sama dengan 1.

Hasil validasi model menunjukkan perbedaan antara hasil estimasi konsentrasi ambien  $PM_{10}$  dan hasil pemantauan konsentrasi udara ambien  $PM_{10}$  secara rata-rata sebesar 7 persen. Secara teoritis perbedaan antara model dan hasil pemantau sebesar 100 persen masih dapat diterima. Uji sensitivitas model menghasilkan bahwa perilaku model memiliki kecenderungan yang sama untuk perubahan variabel emisi. Dengan demikian, model yang dikembangkan valid dan reliabel.

Simulasi model dinamis menunjukkan bahwa emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan berkontribusi lebih dari 74 persen terhadap emisi total  $PM_{10}$  dan emisi kendaraan meningkat secara rata-rata di atas 7.5 persen per tahun. Dampak dari meningkatnya emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan tersebut menyebabkan konsentrasi udara ambien  $PM_{10}$  di sebagian besar wilayah di Jakarta telah melampaui BMA untuk kesehatan manusia. Untuk memperbaiki kualitas udara ambien agar memenuhi BMA maka emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan harus di turunkan lebih dari 60 persen dari emisi  $PM_{10}$  kendaraan pada tahun 2005.

Meningkatnya konsentrasi  $PM_{10}$  di udara ambien di atas BMA bagi kesehatan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan yang berhubungan dengan saluran pernafasan. Estimasi dampak pada kesehatan akibat pencemaran  $PM_{10}$  menghasilkan jumlah kasus gangguan kesehatan pada tahun 2005 sebesar 78 juta kasus dan meningkat menjadi 607 juta kasus pada tahun 2025. Estimasi nilai ekonomi gangguan kesehatan akibat pencemaran  $PM_{10}$  pada tahun 2005 sebesar 4.6 triliun rupiah dan pada tahun 2025 meningkat menjadi 34.8 triliun rupiah. Sedangkan estimasi total biaya degradasi

lingkungan sebesar 5.7 triliun rupiah pada tahun 2005 dan menjadi 44 triliun lebih pada tahun 2025.

Berdasarkan hasil analisis kerusakan lingkungan dan nilai ekonomi dari kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran  $PM_{10}$  dari emisi kendaraan bermotor beberapa kebijakan lingkungan dapat diterapkan:

1. Agar BME dapat diterapkan pada semua kendaraan maka penggunaan PCE bagi kendaraan yang belum memenuhi BME dilakukan dengan memberikan subsidi bagi pemasangan PCE.
2. Reduksi emisi kendaraan melalui kontrol terhadap volume kendaraan dilakukan dengan perbaikan sistem transportasi umum yang bertujuan agar masyarakat dapat beralih pada penggunaan kendaraan umum. Selain perbaikan sistem transportasi umum pengaturan arus lalu lintas bagi kendaraan truk besar perlu dilakukan untuk mengurangi beban emisi  $PM_{10}$  dari jenis kendaraan tersebut.
3. Dalam pengendalian emisi dari kendaraan kegiatan monitoring terhadap emisi total dari kendaraan tidak dapat dilakukan dengan kebijakan CAC karena tidak *cost-effective* sehingga harus menggunakan instrumen insentif untuk mengubah perilaku masyarakat yang akan berdampak pada menurunnya jumlah perjalanan.
4. Untuk mengatasi besarnya biaya kerusakan lingkungan maka internalisasi biaya kerusakan lingkungan dalam perhitungan PDB/PDRB harus dilakukan atau dengan menggunakan modified-PDB/PDRB. Karena pajak emisi kendaraan tidak dapat ditentukan maka internalisasi biaya kerusakan dilakukan menggunakan instrumen pajak kendaraan dan pajak penggunaan jalan.
5. Penerapan pajak kendaraan tahunan harus mempertimbangkan selain jenis dan ukuran kendaraan, juga mempertimbangkan umur kendaraan dan bahan bakar yang digunakan. Hasil penelitian kombinasi penggunaan pajak kendaraan yang memperhitungkan umur kendaraan dan subsidi terhadap penggunaan PCE dapat mereduksi emisi dari kendaraan secara efektif. Namun demikian, penerapan pajak

kendaraan diterapkan pada kendaraan pribadi sehingga tidak menimbulkan beban bagi pengguna sarana transportasi umum terutama dari kelompok masyarakat yang berpenghasilan rendah.

6. Pajak lingkungan yang diterapkan merupakan pajak *earmarked* yang mempertimbangkan 3 (tiga) hal yaitu: pertama, perbaikan prasarana dan sarana transportasi umum sebagai bentuk layanan pada pembayar pajak; kedua, perbaikan fasilitas kesehatan sebagai bentuk layanan pada penerima dampak sekalipun dapat dinikmati oleh anggota masyarakat lainnya; ketiga, pemberian subsidi terhadap pengembangan teknologi yang dapat memperbaiki kerusakan lingkungan dan perbaikan lingkungan kota Jakarta yang dapat menurunkan dampak emisi kendaraan.
7. Pengelolaan lingkungan yang berkaitan dengan pengendalian pencemaran udara dari kendaraan bermotor di Jakarta melibatkan berbagai instansi pemerintah sesuai dengan tugas pokok dan fungsi masing-masing instansi tersebut.

## 8.2 Saran

1. Untuk menurunkan tingkat emisi dari kendaraan lebih dari 60 persen dari emisi kendaraan pada tahun 2005 maka pengembangan sistem transportasi umum yang menuju pusat-pusat aktivitas ekonomi harus terintegrasi untuk wilayah Jabodetabek. Integrasi tersebut termasuk pada penggunaan berbagai sarana transportasi umum seperti kereta api. Jika hal ini tidak terjadi, besar kemungkinan penggunaan kendaraan pribadi dari wilayah Bodetabek menuju Jakarta akan tetap tinggi.
  2. Pengembangan teknologi untuk meningkatkan BME yang lebih baik perlu dilakukan untuk memperkecil polusi udara dari kendaraan bermotor.
-

3. Pengendalian emisi  $PM_{10}$  dari kendaraan diesel dapat dilakukan melalui pelarangan impor suku cadang kendaraan diesel untuk jenis kendaraan penumpang, bis kecil, dan truk kecil.
4. Dalam undang-undang Nomor 32/2004 tentang pemerintah daerah adanya dana alokasi khusus (DAK) yang dapat diusulkan oleh daerah untuk mendanai kegiatan khusus. Dengan demikian pengembangan sistem transportasi umum sebagai upaya reduksi emisi dari kendaraan bermotor dapat diusulkan oleh pemerintah daerah Jabodetabek melalui butir DAK dalam UU nomor 32/2004 tersebut.
5. Untuk melengkapi informasi pengendalian pencemaran dari emisi kendaraan bermotor di Jakarta dibutuhkan penelitian lebih lanjut menggunakan metode pemodelan yang serupa dengan mengambil parameter lingkungan lainnya yang diemisikan oleh kendaraan bermotor. Untuk itu, dibutuhkan penyesuaian pada model dispersi sesuai dengan parameter lingkungan yang diambil.
6. Pemberian subsidi untuk penggunaan PCE pada setiap kendaraan yang belum memenuhi BME dapat dilakukan melalui pemberian subsidi pada pengusaha kecil dan menengah dalam bentuk pinjaman lunak dan prosedur peminjaman modal tersebut secara administratif tidak sulit. Maksud dari pemberian subsidi ini adalah biaya pengadaan PCE dapat terjangkau oleh masyarakat banyak. Pemberian subsidi untuk pengadaan PCE ini dapat diusulkan oleh pemerintah daerah Jabodetabek melalui butir DAK dalam UU nomor 32/2004.
7. Subsidi BBM menyebabkan meningkatnya kerusakan lingkungan karena itu subsidi terhadap BBM harus dihentikan dengan mengalihkan dana tersebut untuk pengadaan bahan bakar alternatif dan menerapkan kebijakan penggunaan bahan bakar alternatif untuk semua kendaraan umum.
8. Penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk melakukan simulasi terhadap penggunaan berbagai instrumen ekonomi dalam menurunkan emisi dari

kendaraan, sehingga dapat diperoleh penggunaan instrumen ekonomi yang paling efektif dalam menurunkan emisi dari kendaraan.

9. Penggunaan instrumen ekonomi dalam kebijakan lingkungan di Indonesia merupakan hal baru, karena itu butuh pengembangan sistem pengelolaan kebijakan yang melibatkan berbagai instansi terkait.

UNIVERSITAS TERBUKA

## DAFTAR PUSTAKA

- Air Quality Standards Regulations 2002. Published by the Government Supplies Agency, UK, [www.ehponline.org](http://www.ehponline.org), [2 Mei 2007].
- Bartz, S., and D.L. Kelly. 2004. Economic Growth and the Environment: Theory and facts. *Quarterly Journal of Economics*. [www.hec.ca/cref/sem/documents/040325.pdf](http://www.hec.ca/cref/sem/documents/040325.pdf) [21-06-2005].
- Begg, D., and D. Gray. 2004. Transport Policy and Vehicle Emission Objectives in the UK: Is the Marriage Between Transport and Environment Policy Over?. *Journal of Environmental Science & Policy* 7:155-163
- Belton, V., and T.J. Steward. 2002. Multiple Criteria Decision Analysis, An Integrated Approach. Kluwer Academic Publisher. London.
- Beltran, D.J. 1996. *Environmental Taxes: Implementation and Environmental Effectiveness*. Environmental Issues Series No.1. Copenhagen, Denmark.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2002. Indikator Kesejahteraan Rakyat. BPS. Jakarta.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Propinsi DKI Jakarta. 2004. Jakarta Dalam Angka. BPS. Jakarta.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Propinsi DKI Jakarta. 2004. Statistik Wilayah DKI Jakarta. BPS. Jakarta.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Propinsi DKI Jakarta. 2004. Profil Kesehatan. BPS. Jakarta.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2005. Proyeksi Penduduk Indonesia. BPS. Jakarta.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2006. Beberapa Indikator Penting Sosial-Ekonomi Indonesia. BPS. Jakarta.
- California ambient air quality standards. [www.sbcapcd.org](http://www.sbcapcd.org) [2 Mei 2007].
- Chia, N.C., A.K.C. Tsui, and J. Whalley. 2001. *Taxes and Traffic in Asian Cities: Ownership and use taxes on Autos in Singapore*. National Bureau of Economic Research. Working Paper No. W8278.
- Chun-Yuh Yang, Chih-Ching Chang, Hung-Yi Chuang, Shang-Shyue Tsai, Trong-Neng Wu, and Chi-Kung Ho. 2004. Relationship Between Air Pollution and Daily
-

- Mortality in a Subtropical City: Taipei, Taiwan. *Journal of Environment International* 30:519-523.
- Colls, J. 2002. *Air Pollution*. Spon Press. New York.
- Colvile, R.N., N.K. Woodfield, D.J. Carrutsther, B.E.A. Fisher, A. Rickard, S. Neville, and A. Hughes. 2002. Uncertainty in Dispersion Modelling and Urban Air Quality Mapping. *Journal of Environmental Science & Policy* 5:207-220.
- Connell D.W. and G.J. Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Koestoer, Y. [Penerjemah]. Terjemahan dari: *Chemistry and Ecotoxicology of Pollution*. UI-Press. Jakarta.
- Daniel M.J., F. Dominici, J.M. Samet, and S.L. Zeger. 2002. *Estimating PM10-Mortality dose-response curves and treshhold level: An Analysis of Daily time-series for the 20 Larges US Cities*.
- Dasgupta, P. 1997. *Environmental and Resources Economics in the World of the Poor*. University of Cambridge and Beijer International Institute of Ecological Economics. Stockholm.
- [DepKes] Departemen Kesehatan. Profil Kesehatan. [www.depkes.go.id](http://www.depkes.go.id), [ 4-Mei-2007].
- Dickie, M. 2001. Environmental Toxiology and Health Risk Assessment in the United States: Economic and Policy Issues. *In* Spash C.L., and S. McNally [Editors]. *Managing Pollution*. Edward Elgar. Cheltenham, UK. Northampton MA, USA.: pp. 30-54.
- Dietrich, J., and R.P. Hamalainen. *Value Tree Analysis*. [http://www.mcda.hut.fi/value tree/theory/theory.pdf](http://www.mcda.hut.fi/value-tree/theory/theory.pdf). [12-Des-2005].
- [EPA] Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, [www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR](http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR), [4 Mei 2007].
- El-Fadel, M., R.A.F. Aldeen, and R. Maroun. 2004. Impact of Diesel Policy Banning on PM Levels in Urban Areas. *International Journal on Environment Studies* 61(4):427-436.
- Eriyatno. 2003. *Ilmu Sistem, Meningkatkan Mutu dan Efektivitas Manajemen*. IPB Press. Bogor.
- Fardiaz, F. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Fauzi, A. 2004. *Ekonomi Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
-

- Fauzi, A. 2005. Materi Kuliah Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan. Bogor.
- Fauzi, A. dan S. Anna. 2005. *Pemodelan Sumber Daya Perikanan dan Kelautan untuk Analisis Kebijakan*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Field, B.C., and M.K. Field. 2002. *Environmental Economics: An Introduction*. McGraw-Hill. New York.
- Fullerton, D., and L. Gan. 2005. *Cost Effective Policies to Reduce Vehicle Emissions*. National Bureau of Economic Research. Working Paper No.11174.
- Fullerton, D. 2001. A Framework to Compare Environmental Policies. *Southern Economic Journal* 68(2): 224-248.
- Fullerton, D., and S.E. West. 2002. Can Taxes on Cars and Gasoline Mimic an Unavailable Tax on Emissions?. *Journal of Environmental Economics and Management* 43:135-157.
- Fullerton, D., and S.E. West. 2000. Tax and Subsidy Combination for the Control of Vehicles Pollution. National Bureau of Economic Research (Cambridge, MA). Working Paper No.7774, July, 2000.
- Fullerton, D., and A. Wolverton. 2005. The Two-Part Instrument in a Second-Best World. *Journal of Public Economics* 90:1961-1975.
- Fullerton, D., and G. Heutel. 2007. The General Equilibrium Incidence of Environmental Taxes. *Journal of Public Economics* 91:572-579.
- Fullerton, D., L. Gan, and M. Hatorri. 2005. *A Model to Evaluate Vehicle Emission Incentive Policies in Japan*. [dfuller@eco.utexas.edu](mailto:dfuller@eco.utexas.edu)/FGH-Japan.pdf. [20-Nov-2007].
- Fullerton, D., and R.D. Mohr. 2003. Suggested Subsidies are Sub-optimal Unless Combined with an Output Tax. *Journal of Contributions to Economic Analysis & Policy* 2(1): 1-20
- Godish, T. 1997. *Air Quality*. Lewis Publisher. New York.
- Gustafsson, J., A. Salo, and T. Gustafsson. 2005. Prime Decisions: An Interactive Tool for Value Tree Analysis. <http://www.sal.tkk.fi/Opinnot/Mat/2.194/Decision2001/PRIMEDecision.pdf>. [12-Des-2005].
- Heinsohn, R.J., and R.L. Kabel. 1999. *Sources and Control of Air Pollution*. Prentice Hall. New Jersey.
-

- Iwami, T. 2001. *Advantage of Latecomer in Abating Air-Pollution: experience in East Asia*. University of Tokyo.
- Jha, R., and J. Whalley. 1999. *The Environmental Regime in Developing Countries*. National Bureau of Economic Research. Working Paper No.7305.
- [JICA] Japan International Cooperation Agency. 2003. *The Study of Transportation Master Plan for Jabodetabek*.
- [Kepmen LH] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 141 Tahun 2003. Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Dan Kendaraan Bermotor Yang Sedang Diproduksi.
- Krieg, E.J., and D.R. Faber. 2004. Not So Black and White: Environmental Justice and Cumulative Impact Assessments. 2004. *Journal of Environmental Impact Assessment Review* 24:667-694.
- Lestari, P. 2001. Pemodelan Kualitas Udara dari Emisi Kendaraan Bermotor di Surabaya.
- Lestari, P., M.P. Utama, A. Tahar, dan U. Siagian. 2007. *Estimation of Ambient Air Quality from Transport Sector Using Simple Model for Bandung City*. ITB-Bandung.
- Liu, D.H.F., and B.G. Liptak. 2000. *Air Pollution*. Lewis Publisher. Boca Raton.
- Loukopoulos, P., C. Jacobsson, T. Garling, C.M. Schneider, and S. Fujii. 2005. Public Attitudes Toward Policy Measure for Reducing Private Car Use: Evidence from a Study in Sweden. *Journal of Environmental Science & Policy* 8:57-66.
- Lvovsky, K., G. Huges, D. Maddison, B. Ostro, and D. Pearce. 2000. *Environmental Cost of Fossil Fuels*. Pollution Management Series. The World Bank Environment Department.
- Margulis, S. 1996. Back of the Envelope Estimates of Environmental Damage Costs in Mexico. In P.H. May, and R.S. Da Motta [Editors]. *Pricing the Planet, Economic Analysis for Sustainable Development*. Columbia University Press. New York: pp. 71-100.
- McGranahan, G., and F. Murray. 2003. *Air Pollution and Health in Rapidly Developing Countries*. Earthscan Publication Ltd. London.
- Menz, F.C., and H.M. Seip. 2004. Acid Rain in Europe and the United States: an update. *Environmental Science and Policy* 7: 253-265.
- Muhammadi, E. Aminullah, dan B. Soesilo. 2001. *Analisis Sistem Dinamis: Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen*. UMJ Press. Jakarta.

- Oka, T., M. Ishikawa, Y. Fujii, and G. Huppel. 2005. Calculating Cost-Effectiveness for Activities with Multiple Environmental Effects Using Maximum Abatement Cost Method. *Journal of Industrial Ecology* 9(4): 97-103.
- O'Connor, D. 1996. *Applying Economic Instruments in Developing Countries: From Theory to Implementation*. OECD Development Centre. Paris, France.
- Odum, E.P. 1993. *Dasar-dasar Ekologi*. Ed ke-3. T. Samingan [Penerjemah]; B. Srigandono [Editor]. Terjemahan dari: *Fundamentals of Ecology*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Orubu, C.O. 2004. Using Transportation Control Measures and Economic Instruments to Reduce Air Pollution Due to Automobile Emissions. *Journal of Social Science* 8(3): 227-236.
- Ostro, B. 1994. *Estimating the Health Effects of Air Pollutants: A Method With an Application to Jakarta*. Policy Research Working Paper No. 1303. [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). [18-Jan-06].
- Panayotou, T. 2000. *Economic Growth and the Environment*. Center of International Development Working Paper No. 56. Harvard University, USA.
- Panyacosit, L. 2000. *A Review of Particulate Matter and Health: Focus on Developing Countries*. <http://www.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-00-005.pdf>, [11-Jan-06].
- [Pertamina]. 2007. Fuel Price for Industry in July 2007. Pertamina Cybernews, 2007.
- Pirngadie, B.H. 2001. *Strategi Penanggulangan Pencemaran Udara dari Sektor Transportasi*. ITB. Bandung.
- Powe N.A., and K.G. Willis. 2004. Mortality and Morbidity Benefits of Air Pollution (SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>) Absorption Attributable to Woodland in Britain. *Journal of Environmental Management* 70:119-128.
- Purwanto, E. 2001. *The Cost Benefit Analysis Air Pollution Control Program for Vehicle in Indonesia Case Study*. Technische Universitat Graz. Germany.
- Quah E, and L.B. Tay. 2002. The Economic cost of Particulate Air Pollution on Health in Singapore. *Journal of Asian Economics*. <http://www.unb.ca/courses/econ5755/DR%20Method-QuahBoon.pdf> [11-Jan-06].
- Roberts, J. 2004. *Environmental Policy*. Routledge. New York.

- Rustiadi, E. 2004. *Materi Kuliah Sistem Penataan Ruang dan Lingkungan*. Bogor.
- Salim, E. 1988. *Hari Depan Kita Bersama*. PT Gramedia. Jakarta.
- Salo, A., and R.P. Hamalainen. 1997. *Prime-Preference Ratios in Multiattribute Evaluation*. Helsinki University of Technology, Finland.
- Sanim, B. 2004. *Materi Kuliah Ekonomi Lingkungan*. Bogor.
- Schnelle, K.B. Jr., and P.R. Dey. 1999. *Atmospheric Dispersion Modeling Compliance Guide*. McGraw-Hill. New York.
- Small, K.A., and C. Kazimi. 1994. *On the costs of air pollution from motor vehicles*. <http://www.socsci.uci.edu/~ksmall/Small-Kazimi.pdf> [11-Jan-06].
- Smith, H., and J. Raemaekers. 1998. Land use pattern and transport in Curitiba. *Land Use Policy* 15(3): 233-251.
- Smulders, S. 2000. Economic Growth and Environmental Quality. In H. Former and H.L. Gabel [Editors]. *Principle of Environmental and Resources Economics*. Edward Elgar Publishing Limited. Cheltenham, UK. Northampton MA, USA.: pp. 602-663.
- Soedomo, M. 2001. *Pencemaran Udara (Kumpulan Karya Ilmiah)*. Penerbit ITB. Bandung.
- Soemarwoto, O. 2001. *Ekologi Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. Djambatan. Jakarta.
- Stern, D.I. 2004. The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *Journal of World Development* 32(8): 1419-1439.
- Suparmoko, M., and M.R. Suparmoko. 2000. *Ekonomika Lingkungan*. Ed ke-1. BPFE. Yogyakarta.
- Susandi, A. 2004. *The Impact of International GHG Emissions Reduction on Indonesia*. Hamburg, German.
- Syahril, S., B.P. Resosudarmo, and H.S. Tomo. 2002. *Study on the Air Quality in Jakarta, Indonesia. Future Trends, Health Impacts, Economic value and Policy Options*.
- Tamin, R.D., and A. Rachmatunisa. 2007. *Integrated Air Quality Management in Indonesia*. Ministry of Environment. Jakarta.
-

- Tietenberg, T. 2003. *Environmental and Natural Resource Economics*. Ed-6. Addison Wesley. Boston.
- Triantaphyllou, E., and A. Sanchez. 1997. *A Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-Criteria Decision Making Methods*. *Decision Sciences* 28(1): 151-194.
- Vecchiato, D., J.P. Grundling, and J. De Jager. 2006. *Economic Growth and Environmental Quality in Developing Countries: The Case of South Africa*. [http://intranet.tut.ac.za/tut\\_web/file\\_store/files/7291/25vecchiatogrundlingdejagereconomicgrowth.pdf](http://intranet.tut.ac.za/tut_web/file_store/files/7291/25vecchiatogrundlingdejagereconomicgrowth.pdf), [04 April 2006]
- Voorhees, A.S. 2004. Feasibility of Cost-Benefit Analysis for Particulate Matter Air Pollution Control in Japan. *International Journal on Environment Studies* 61(30):315-325.
- Walsh, M.P. 1996. Environmental Considerations for Cleaner Transportation Fuels in Asia: Technical Options. World Bank.
- Wang, L.K., and Chien-Chi Chang. 2005. Atmospheric Modeling and Dispersion. In L.K. Wang, N.C. Pereira, and Yung-Tse Hung [Editors]. *Advance Air and Noise Pollution Control*. Humana Press. NJ USA.
- Warner, P.O. 1976. *Analysis of Air Pollutans*. John Willey & Sons. New York.
- [Wikipedia]. Air Pollution Dispersion Terminology. [http://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_pollution\\_dispersion\\_terminology.htm](http://en.wikipedia.org/wiki/Air_pollution_dispersion_terminology.htm). [19 Maret 2008: 14.25].
- [Wikipedia]. Compilation of Atmospheric Dispersion Model. [http://en.wikipedia.org/wiki/Compilation\\_of\\_air\\_dispersion\\_models.htm](http://en.wikipedia.org/wiki/Compilation_of_air_dispersion_models.htm). [19 Maret 2008: 14.25].
- [Wikipedia]. Particulate. <http://en.wikipedia.org/wiki/Particulate.htm>. [19 Maret 2008: 14.25].
- Wilson, A.M, J.C. Salloway, C.P. Wake, and T. Kelly. 2004. Air Pollution and the Demand for Hospital Services: A Review. *Journal of Environment International* 30:1109-1118.
- Wirahadikusumah, K. 2002. Jakarta Air Quality Management: Trends and Policies. The Regional Workshop on Better Air Quality in Asian and Pacific Rim Cities 2002. Hongkong.

**LAMPIRAN**

**UNIVERSITAS TERBUKA**

## Lampiran 1 Informasi Grid dan Penduduk Tahun 2004

Wilayah	Kode	Luas	Penduduk
		(km <sup>2</sup> )	(jiwa)
<b>Jakarta Utara</b>			
Penjaringan & Pademangan	11	4740	378425
Tanjung Priok, Koja, Kelapa gading	12	5226	735755
Cilincing	13	4255	304911
<b>Jakarta Timur</b>			
Cakung	21	4247	440914
Pulo Gadung	22	1561	255172
Matraman	23	485	143080
Duren Sawit	24	2281	347050
Jatinegara	25	1064	254091
Kramat Jati & Makasar	26	3498	389429
Pasar Rebo, Cipayung, Ciracas	27	5637	518181
<b>Jakarta Selatan</b>			
Pesanggrahan	31	1347	185527
Kebayoran Lama	32	1932	256286
Kebayoran Baru, Cilandak	33	3111	299873
Mampang Prapatan, Setia Budi	34	1693	240002
Pancoran, Tebet	35	1758	342634
Pasar Minggu, Jagakarsa	36	4691	457722
<b>Jakarta Barat</b>			
Cengkareng, Kali Deres	41	5533	713799
Kembangan, Kebon Jeruk	42	4215	473694
Palmerah, Grogol Petamburan	43	1883	379804
Tambora, Taman Sari, Sawah Besar	44	1576	444220
<b>Jakarta Pusat</b>			
Menteng, Gambir	51	1413	156548
Tanah Abang	52	930	136653
Senen, Johar Baru, Cempaka Putih, Kemayoran	53	1855	474068

## Lampiran 2 Matrik Origin-Destination 1995

NO	Grid	Trip Generation			Trip Attraction		
		Penumpang & Motor	Truk	Bis	Penumpang & Motor	Truk	Bis
1	11	196846	13224	34091	212526	13220	34677
2	12	216607	14160	34835	218413	14223	34108
3	13	91330	8051	14923	97744	8337	15109
4	21	98421	5668	17801	98566	5601	16861
5	22	176833	9948	29301	185481	9977	31096
6	23	60217	1481	10386	59144	1528	10756
7	24	108191	2601	19408	99239	2658	18967
8	25	111181	4268	17992	114536	4238	19033
9	26	168894	7872	30240	163030	7790	30404
10	27	126995	5730	23978	117545	5713	22090
11	31	71602	2964	12807	66502	2969	12120
12	32	97913	5708	17406	95800	5696	17006
13	33	156231	6758	26400	165959	6647	28440
14	34	181483	13150	29345	196245	13102	31577
15	35	198558	11074	34049	196527	10990	33650
16	36	123721	4702	23244	116765	4658	23395
17	41	227391	13004	43606	216494	12872	40528
18	42	199143	6600	34073	198197	6564	34819
19	43	182145	11320	31671	181404	11312	31035
20	44	287342	10054	45205	322949	10083	49354
21	51	195145	6493	30099	229562	6528	33721
22	52	103477	4287	16262	115318	4310	17333
23	53	252814	7864	40645	259600	7883	43174

Sumber : Syahril *et al.* 2002.

## Lampiran 3 Kategori Kendaraan, Faktor Emisi dan Komposisi Kendaraan

Kelompok	Deskripsi	Tipe BB	Faktor Emisi PM10		Komposisi
			Teknologi tdk terkontrol (gram/km)	Euro2 (gram/km)	
Kendaraan Penumpang	Pribadi	Bensin	0.081	0.012	0.6712
		Diesel	0.435	0.186	0.1678
	Taxi	Bensin	0.081	0.012	0.1047
		Diesel	0.435	0.186	0.0564
Truk	Kecil	Bensin	0.124	0.016	0.2805
		Diesel	0.559	0.205	0.2805
Bis	Kecil	Bensin	0.124	0.016	0.3850
		Diesel	0.559	0.205	0.3850
Motor	250 cc	Bensin	0.205	0.205	0.2596
		Diesel	1.243	0.298	0.2300
	125 cc	Bensin	0.205	0.205	0.3702
		Diesel	1.243	0.298	0.3702
50 cc	Bensin	0.205	0.205	0.3702	
	Diesel	1.243	0.298	0.3702	

## Lampiran 4 Utilisasi Kendaraan 1995

Kelompok	Deskripsi	Utilisasi
		(km/kend/thn)
Kendaraan Penumpang	Pribadi	3,945
	Taxi	2,068
Truk	Kecil	17,087
	Besar	13,322
Bis	Kecil	1,934
	Besar	1,845
Motor	Semua	959

Sumber: Syahril *et al.* 2002.

## Lampiran 5 Kemiringan Fungsi Dose-Response

Dampak Kesehatan	Slope DR PM10
Kasus Kematian (Premature Mortality =PM)	0.00096
Keterbatasan Aktivitas Harian (Restricted Activated Days = RAD)	0.0575
Simpton Gangguan pernapasan Harian (Respiratory Symptoms Days = RSD)	0.183
Simpton Pernapasan pd Anak-anak (Respiratory Symptoms a/g Children =LRI)	0.00169
Serangan Asma (Asthma Attacks AA)	0.0326
Bronchitis Kronis (Chronic Bronchitis = BC)	0.0000612
Perawatan RS Gangguan Pernapasan (Respiratory Hospital Admission = RHA)	0.000012
Perawatan UGD Gangguan Pernapasan (Emergency Room Visit = ERV)	0.0002354

Sumber: Ostro, 1994.

## Lampiran 6 Nilai Ekonomi Kesehatan

Tahun	Laju inflasi Jakarta	VSL (USD) Susandi	VSL (Rp) Susandi	VSL (jt Rp) Peneliti
2000		<b>144,000</b>	1,351,440,000	
2001	11.52	160,589	1,507,125,888	
2002	9.08	175,170	1,643,972,919	
2003	5.78	185,295	1,738,994,553	
2004	5.87	196,172	<b>1,836,365,407</b>	<b>1836.37</b>

Nilai Tukar USD tahun 2004 : Rp. 9361

Dampak Kesehatan	Variabel	2001 (Syahril et al. 2002) (Rupiah) average	2002 9.08**	Peneliti 2003 5.78**	2004 5.87**
PM	VSL	92,157,163			
RAD	UMR	17,050			22,385
RSD	COI	26,667	29,088	30,769	32,575
LRI	COI	26,667	29,088	30,769	32,575
AA	COI	39,250	42,814	45,289	47,947
BC	COI	74,333	81,083	85,769	90,804
RHA	COI	895,250	976,539	1,032,983	1,093,619
ERV	COI	375,850	409,977	433,674	459,131

Biaya dalam rupiah.

\*\* tingkat inflasi Jakarta.

## Lampiran 6 Nilai Ekonomi Kesehatan (lanjutan)

Komponen Biaya pada Penelitian ini			
NO	Dampak Kesehatan	Variabel	Nilai (Rp)
1	PM	VSL	1,836,365,407
2	RAD	UMR	22,385
3	RSD	Biaya Perawatan	32,575
4	LRI	Biaya Perawatan	32,575
5	AA	Biaya Perawatan	47,947
6	CB	Biaya Perawatan	90,804
7	RHA	Biaya Perawatan	1,093,619
8	ERV	Biaya Perawatan	459,131

UNIVERSITAS TERBUKA

## Lampiran 7 : Perhitungan Konversi Matrik OD

$$COD_{pass\ car,1995} = OD_{passcar,1995} * \frac{V_{pass\ car,1995}}{V_{pass\ car,1995} + V_{mc,1995}}$$

CODpass car, 1995 = Konversi OD tahun 1995.

ODpasscar,1995 = Matrik OD (Origin & Destination).

Vpasscar,1995 = Volume passcar,1995.

Vmc,1995 = Volume motor,1995.

$$COD_{truck,1995} = \frac{OD_{truck,1995}}{2.22}$$

CODtruk,1995 = Konversi OD truk,1995

$$COD_{bus,1995} = \frac{OD_{bis,1995}}{1.50}$$

CODbis,1995 = konversi OD bis,1995

$$COD_{mc,1995} = OD_{passcar,1995} * \frac{V_{mc,1995}}{V_{pass\ car,1995} + V_{mc,1995}}$$

CODmc,1995 = Konversi OD motor 1995

$$COD_{g,y} = COD_{g,1995} * (1 + r_{v(g)})^{(y-1995)}$$

CODg,y = Konversi OD gabungan (Origin+Destination) pada tahun y

CODg,1995 = Konversi OD gabungan (Origin+Destination) pada 1995

rv(g) = Faktor Pertumbuhan Kendaraan

$$COD_{c,y} = COD_{g,y} * F_{v(g,c),1995}$$

CODc,y = Konversi OD kategori c tahun y

CODg,y = Konversi OD gabungan tahun y

Fv(g,c) = Komposisi kendaraan per kategori kendaraan

## Lampiran 8 Emisi Kendaraan per Grid

Tahun	Emisi Kendaraan (ton/thn)		
	B-13	B-12	B-11
2005	272	811	529
2006	289	863	563
2007	308	919	600
2008	328	980	640
2009	349	1046	683
2010	372	1117	730
2011	397	1195	781
2012	424	1278	835
2013	453	1369	895
2014	485	1467	960
2015	519	1573	1030
2016	556	1688	1106
2017	597	1814	1188
2018	640	1950	1278
2019	687	2098	1375
2020	739	2258	1481
2021	794	2433	1597
2022	855	2623	1722
2023	921	2830	1859
2024	992	3055	2007
2025	1070	3300	2169

Tahun	Emisi Kendaraan (ton/thn)						
	B-27	B-26	B-25	B-24	B-23	B-22	B-21
2005	289	392	248	213	122	443	245
2006	308	418	265	228	131	472	261
2007	329	446	284	244	140	504	279
2008	351	476	304	262	150	538	297
2009	375	509	326	281	161	575	318
2010	402	545	349	302	173	615	340
2011	430	584	375	324	186	659	364
2012	461	626	403	349	200	706	389
2013	495	672	433	376	215	757	417
2014	532	722	466	405	232	813	448
2015	572	776	502	437	250	873	481
2016	615	835	541	471	270	939	517
2017	662	899	583	509	292	1010	556
2018	713	969	630	550	316	1088	598
2019	769	1045	680	595	342	1172	644
2020	830	1127	735	644	370	1264	694
2021	896	1217	795	698	401	1364	749
2022	969	1316	860	757	434	1473	809
2023	1048	1423	932	821	471	1592	873
2024	1133	1539	1010	890	511	1721	944
2025	1227	1667	1095	967	555	1862	1021

## Lampiran 8 Emisi Kendaraan per Grid (lanjutan)

Tahun	Emisi Kendaraan (ton/thn)					
	B-36	B-35	B-34	B-33	B-32	B-31
2005	272	487	400	365	244	159
2006	290	519	426	389	260	169
2007	310	553	454	416	277	181
2008	331	591	484	445	295	193
2009	354	631	516	477	315	207
2010	380	675	552	511	337	222
2011	407	723	590	548	361	237
2012	437	775	631	588	386	255
2013	469	831	676	632	414	274
2014	504	891	725	679	444	294
2015	543	957	777	731	477	316
2016	584	1029	834	787	512	341
2017	630	1107	897	849	550	367
2018	679	1192	964	915	592	396
2019	733	1284	1037	988	638	427
2020	792	1384	1117	1067	687	461
2021	856	1494	1203	1154	741	498
2022	926	1613	1298	1248	800	539
2023	1002	1742	1400	1351	864	583
2024	1086	1883	1512	1463	934	631
2025	1176	2037	1633	1585	1009	684

Tahun	Emisi Kendaraan (ton/thn)				Tahun	Emisi Kendaraan (ton/thn)		
	B-44	B-43	B-42	B-41		B-53	B-51	B-52
2005	648	465	427	560	2005	539	442	242
2006	693	495	457	597	2006	576	474	258
2007	742	527	488	636	2007	617	507	276
2008	795	563	523	678	2008	661	544	296
2009	853	601	561	724	2009	709	584	317
2010	915	642	601	774	2010	761	627	340
2011	983	687	646	828	2011	818	674	365
2012	1058	735	694	886	2012	880	725	392
2013	1138	788	747	949	2013	947	781	422
2014	1226	844	804	1018	2014	1,021	842	454
2015	1322	906	866	1093	2015	1,100	908	489
2016	1426	973	934	1174	2016	1,187	980	527
2017	1540	1046	1008	1262	2017	1,282	1,058	568
2018	1663	1125	1089	1358	2018	1,385	1,144	613
2019	1798	1212	1176	1462	2019	1,498	1,237	662
2020	1945	1305	1272	1575	2020	1,621	1,339	716
2021	2106	1407	1377	1699	2021	1,755	1,450	774
2022	2281	1518	1491	1833	2022	1,901	1,572	838
2023	2472	1639	1616	1979	2023	2,061	1,704	907
2024	2681	1770	1752	2139	2024	2,236	1,849	983
2025	2909	1914	1900	2313	2025	2,427	2,007	1,066

Lampiran 9 Konsentrasi Ambien PM10 per Grid  
(B-11 dst kode grid mengacu pada Lampiran 1)

Tahun	Konsentrasi Ambien PM10 ( $\mu\text{gram}/\text{m}^3$ ) Wilayah Jakarta Utara		
	B-13	B-12	B-11
2005	83.45	131.71	108.35
2006	86.45	137.80	112.98
2007	89.62	144.32	117.93
2008	92.97	151.30	123.21
2009	96.53	158.79	128.86
2010	100.31	166.81	134.90
2011	104.33	175.42	141.38
2012	108.60	184.68	148.32
2013	113.15	194.63	155.78
2014	118.00	205.34	163.78
2015	123.17	216.87	172.39
2016	128.71	229.31	181.65
2017	134.62	242.72	191.63
2018	140.95	257.20	202.38
2019	147.74	272.84	213.98
2020	155.01	289.75	226.50
2021	162.83	308.05	240.03
2022	171.22	327.86	254.66
2023	180.26	349.31	270.49
2024	189.98	372.57	287.63
2025	200.46	397.80	306.20

Tahun	Konsentrasi Ambien PM10 ( $\mu\text{gram}/\text{m}^3$ ) Wilayah Jakarta Timur						
	B-27	B-26	B-25	B-24	B-23	B-22	B-21
2005	48.64	75.02	115.00	62.72	111.05	142.60	50.16
2006	50.79	78.99	121.96	66.07	117.97	151.10	52.43
2007	53.10	83.26	129.49	69.67	125.47	160.27	54.86
2008	55.57	87.87	137.64	73.57	133.60	170.17	57.46
2009	58.22	92.83	146.47	77.78	142.42	180.88	60.25
2010	61.07	98.19	156.03	82.34	151.99	192.45	63.24
2011	64.13	103.98	166.39	87.27	162.39	204.97	66.46
2012	67.42	110.24	177.62	92.61	173.69	218.53	69.92
2013	70.96	117.00	189.81	98.39	185.98	233.21	73.64
2014	74.78	124.31	203.05	104.66	199.34	249.12	77.65
2015	78.89	132.24	217.43	111.47	213.87	266.37	81.97
2016	83.33	140.82	233.05	118.86	229.69	285.09	86.63
2017	88.13	150.12	250.03	126.88	246.92	305.41	91.67
2018	93.31	160.21	268.50	135.60	265.69	327.47	97.10
2019	98.92	171.17	288.60	145.08	286.14	351.44	102.98
2020	104.99	183.06	310.49	155.40	308.44	377.49	109.34
2021	111.56	195.98	334.32	166.63	332.75	405.82	116.23
2022	118.69	210.02	360.28	178.85	359.28	436.65	123.69
2023	126.41	225.29	388.58	192.17	388.23	470.20	131.77
2024	134.80	241.91	419.43	206.68	419.83	506.73	140.54
2025	143.91	260.00	453.08	222.51	454.34	546.52	150.07

Lampiran 9 Konsentrasi Ambien PM10 per Grid (lanjutan)  
(B-11 dst kode grid mengacu pada Lampiran 1)

Tahun	Konsentrasi Ambien PM10 ( $\mu\text{gram}/\text{m}^3$ )					
	Wilayah Jakarta Selatan					
	B-31	B-32	B-33	B-34	B-35	B-36
2005	56.61	62.95	62.60	110.22	128.78	36.30
2006	60.08	66.72	66.47	117.03	136.91	38.36
2007	63.84	70.80	70.66	124.39	145.70	40.59
2008	67.90	75.20	75.20	132.33	155.21	42.99
2009	72.31	79.96	80.11	140.91	165.50	45.59
2010	77.08	85.10	85.44	150.18	176.63	48.41
2011	82.25	90.67	91.21	160.21	188.70	51.46
2012	87.86	96.69	97.48	171.06	201.78	54.77
2013	93.95	103.22	104.28	182.82	215.96	58.36
2014	100.56	110.30	111.66	195.55	231.34	62.25
2015	107.74	117.97	119.69	209.35	248.04	66.47
2016	115.55	126.30	128.41	224.32	266.18	71.06
2017	124.03	135.33	137.89	240.55	285.88	76.04
2018	133.26	145.14	148.20	258.18	307.29	81.46
2019	143.31	155.81	159.43	277.32	330.57	87.35
2020	154.24	167.40	171.65	298.12	355.90	93.77
2021	166.15	180.00	184.97	320.73	383.46	100.75
2022	179.12	193.71	199.48	345.32	413.47	108.35
2023	193.26	208.64	215.29	372.07	446.15	116.63
2024	208.68	224.89	232.53	401.18	481.75	125.66
2025	225.49	242.59	251.34	432.87	520.56	135.50

Tahun	Konsentrasi Ambien PM10 ( $\mu\text{gram}/\text{m}^3$ )				Tahun	Konsentrasi Ambien PM10 ( $\mu\text{gram}/\text{m}^3$ )		
	Wilayah Jakarta Barat					Wilayah Jakarta Pusat		
	B-44	B-43	B-42	B-41		B-53	B-51	B-52
2005	191.9	123.13	64.59	66.79	2005	137.23	113.41	142.38
2006	204.59	130.49	68.29	70.4	2006	146.35	120.81	151.96
2007	218.34	138.44	72.29	74.29	2007	156.25	128.82	162.35
2008	233.26	147.02	76.61	78.49	2008	166.98	137.51	173.62
2009	249.46	156.28	81.29	83.01	2009	178.64	146.92	185.87
2010	267.04	166.3	86.35	87.89	2010	191.3	157.14	199.17
2011	286.13	177.13	91.84	93.16	2011	205.07	168.22	213.63
2012	306.89	188.85	97.78	98.85	2012	220.03	180.26	229.34
2013	329.45	201.54	104.23	105	2013	236.3	193.34	246.44
2014	353.99	215.28	111.23	111.66	2014	254.01	207.55	265.05
2015	380.69	230.18	118.82	118.86	2015	273.28	223.01	285.3
2016	409.75	246.33	127.07	126.66	2016	294.27	239.82	307.35
2017	441.4	263.86	136.04	135.12	2017	317.14	258.11	331.38
2018	475.87	282.89	145.79	144.29	2018	342.05	278.02	357.56
2019	513.44	303.55	156.4	154.24	2019	369.21	299.71	386.11
2020	554.4	326.01	167.95	165.04	2020	398.83	323.33	417.23
2021	599.05	350.41	180.52	176.76	2021	431.13	349.08	451.19
2022	647.77	376.96	194.21	189.51	2022	466.39	377.15	488.24
2023	700.93	405.83	209.13	203.36	2023	504.86	407.76	528.68
2024	758.95	437.27	225.4	218.43	2024	546.87	441.16	572.84
2025	822.3	471.49	243.14	234.82	2025	592.75	477.61	621.07

## Lampiran 10 Gangguan Kesehatan per Wilayah

Tahun	Gangguan Kesehatan di Wilayah Jakarta Utara (Kasus)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	1109	21750	16908740	2125142	14616	50454	5655	319
2006	1205	23628	18368739	2308639	15878	54810	6143	347
2007	1308	25652	19941724	2506337	17237	59504	6669	377
2008	1419	27834	21637824	2719508	18704	64565	7236	409
2009	1539	30188	23468139	2949548	20286	70026	7848	443
2010	1669	32731	25444900	3197993	21994	75925	8509	481
2011	1809	35479	27581535	3466532	23841	82300	9224	521
2012	1960	38452	29892804	3757019	25839	89197	9997	565
2013	2124	41671	32394970	4071499	28002	96663	10834	612
2014	2302	45158	35105934	4412221	30345	104752	11740	663
2015	2495	48939	38045382	4781660	32886	113523	12723	718
2016	2704	53042	41235020	5182544	35643	123040	13790	779
2017	2931	57498	44698772	5617879	38637	133376	14948	844
2018	3178	62340	48462960	6090973	41891	144608	16207	915
2019	3446	67606	52556649	6605480	45430	156823	17576	993
2020	3738	73337	57011864	7165426	49281	170117	19066	1077
2021	4057	79578	61863949	7775251	53475	184595	20689	1168
2022	4403	86380	67151867	8439853	58046	200373	22457	1268
2023	4782	93798	72918635	9164637	63030	217580	24386	1377
2024	5194	101893	79211735	9955574	68470	236358	26490	1496
2025	5645	110733	86083587	10819249	74410	256863	28789	1626

Tahun	Gangguan Kesehatan di Wilayah Jakarta Timur (Kasus)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	757	14855	11548544	1451456	9982	34459	3862	218
2006	873	17125	13313268	1673252	11508	39725	4452	251
2007	1008	19783	15379183	1932903	13294	45890	5143	290
2008	1156	22683	17633417	2216222	15242	52616	5897	333
2009	1318	25848	20094161	2525496	17369	59959	6720	379
2010	1494	29305	22781469	2863245	19692	67977	7619	430
2011	1686	33081	25717447	3232248	22230	76738	8601	486
2012	1897	37209	28926470	3635567	25004	86313	9674	546
2013	2127	41723	32435416	4076582	28037	96783	10847	613
2014	2379	46661	36273949	4559021	31355	108237	12131	685
2015	2654	52064	40474756	5086991	34986	120772	13536	764
2016	2956	57980	45073978	5665036	38962	134495	15074	851
2017	3286	64460	50111462	6298162	43316	149527	16759	946
2018	3648	71561	55631208	6991901	48087	165997	18605	1051
2019	4045	79344	61681814	7752360	53317	184051	20628	1165
2020	4480	87879	68316948	8586283	59053	203850	22847	1290
2021	4957	97242	75595906	9501125	65345	225569	25281	1428
2022	5481	107518	83584193	10505118	72250	249405	27953	1579
2023	6056	118799	92354214	11607361	79830	275574	30886	1744
2024	6688	131188	101985937	12817905	88156	304314	34107	1926
2025	7381	144800	112567835	14147870	97303	335889	37646	2126

## Lampiran 10 Gangguan Kesehatan per Wilayah (lanjutan)

Tahun	Gangguan Kesehatan di Wilayah Jakarta Selatan (Kasus)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	597	11716	9107804	1144697	7873	27177	3046	172
2006	689	13521	10510868	1321038	9086	31363	3515	199
2007	790	15493	12044476	1513787	10411	35939	4028	227
2008	900	17650	13721266	1724531	11861	40943	4589	259
2009	1020	20009	15555142	1955018	13446	46415	5202	294
2010	1152	22590	17561438	2207175	15180	52401	5873	332
2011	1304	25580	19885854	2499315	17189	59337	6650	376
2012	1481	29051	22583994	2838426	19521	67388	7553	427
2013	1675	32854	25540453	3210003	22077	76210	8541	482
2014	1887	37022	28780887	3617270	24878	85879	9625	544
2015	2120	41592	32333572	4063782	27949	96479	10813	611
2016	2376	46604	36229754	4553467	31317	108105	12116	684
2017	2656	52102	40503888	5090653	35011	120859	13546	765
2018	2964	58135	45194011	5680122	39065	134853	15114	853
2019	3301	64757	50342155	6327156	43515	150215	16836	951
2020	3672	72028	55994689	7037584	48401	167081	18726	1057
2021	4079	80014	62202866	7817846	53768	185606	20802	1175
2022	4526	88787	69023296	8675059	59663	205957	23083	1304
2023	5018	98429	76518529	9617084	66142	228322	25590	1445
2024	5558	109027	84757670	10652604	73264	252907	28345	1601
2025	6152	120681	93817127	11791225	81095	279939	31375	1772

Tahun	Gangguan Kesehatan di Wilayah Jakarta Barat (Kasus)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	1316	25824	20075567	2523159	17353	59903	6714	379
2006	1482	29068	22597830	2840164	19533	67429	7557	427
2007	1662	32613	25352977	3186440	21915	75650	8479	479
2008	1860	36485	28363677	3564834	24517	84634	9486	536
2009	2076	40719	31654909	3978486	27362	94454	10586	598
2010	2312	45349	35254208	4430857	30474	105194	11790	666
2011	2570	50414	39191941	4925763	33877	116944	13107	740
2012	2853	55958	43501601	5467414	37602	129804	14548	822
2013	3162	62027	48220127	6060453	41681	143883	16126	911
2014	3501	68675	53388319	6710008	46149	159304	17854	1008
2015	3872	75960	59051113	7421725	51043	176201	19748	1115
2016	4279	83944	65258224	8201854	56409	194723	21824	1232
2017	4726	92699	72064471	9057283	62292	215032	24100	1361
2018	5215	102303	79530408	9995626	68746	237309	26597	1502
2019	5752	112841	87722916	11025285	75827	261755	29337	1657
2020	6342	124409	96715859	12155546	83601	288588	32344	1827
2021	6990	137112	106590892	13396670	92136	318054	35647	2013
2022	7701	151065	117438168	14759988	101513	350421	39274	2218
2023	8482	166398	129357454	16258042	111816	385987	43261	2443
2024	9342	183250	142458850	17904665	123140	425080	47642	2690
2025	10286	201781	156864246	19715180	135592	468064	52460	2962

## Lampiran 10 Gangguan Kesehatan per Wilayah (lanjutan)

Tahun	Gangguan Kesehatan di Wilayah Jakarta Pusat (Kasus)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	774	15179	11800224	1483088	10200	35210	3946	223
2006	863	16927	13158224	1653874	11375	39265	4401	249
2007	960	18841	14645446	1840904	12661	43705	4898	277
2008	1067	20938	16274712	2045792	14070	48570	5444	307
2009	1185	23236	18060180	2270316	15614	53900	6041	341
2010	1313	25755	20017467	2516440	17307	59744	6696	378
2011	1454	28517	22163795	2786327	19163	66151	7414	419
2012	1608	31547	24518187	3082371	21199	73180	8202	463
2013	1778	34872	27101642	3407209	23433	80892	9066	512
2014	1964	38521	29937342	3763755	25885	89356	10015	566
2015	2168	42528	33050895	4155228	28578	98651	11057	624
2016	2392	46928	36470595	4585185	31535	108858	12201	689
2017	2639	51763	40227678	5057549	34784	120073	13457	760
2018	2910	57076	44356664	5576663	38354	132397	14839	838
2019	3207	62916	48895729	6147321	42279	145945	16357	924
2020	3535	69339	53887030	6774825	46594	160843	18027	1018
2021	3895	76403	59377176	7465032	51341	177230	19863	1122
2022	4291	84175	65417722	8224419	56564	195258	21884	1236
2023	4727	92729	72065650	9060153	62312	215100	24108	1361
2024	5207	102145	79383962	9980148	68639	236942	26556	1500
2025	5736	112513	87442362	10993166	75606	260992	29251	1652

UNIVERSITAS TERBUKA

## Lampiran 11 Nilai Ekonomi Kesehatan per Wilayah

Tahun	Nilai Ekonomi Kesehatan di Wilayah Jakarta Utara (Juta Rp.)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	1213	9986	550802	47816	476	2419	513	586400
2006	1317	10849	598362	51944	517	2628	558	637033
2007	1430	11778	649602	56393	562	2853	606	691585
2008	1552	12779	704852	61189	609	3096	657	750406
2009	1683	13860	764475	66365	661	3358	713	813882
2010	1825	15028	828868	71955	716	3640	773	882437
2011	1978	16290	898468	77997	777	3946	838	956536
2012	2144	17655	973758	84533	842	4277	908	1036691
2013	2323	19132	1055266	91609	912	4635	984	1123467
2014	2518	20733	1143576	99275	988	5023	1066	1217484
2015	2728	22470	1239328	107587	1071	5443	1155	1319425
2016	2957	24353	1343231	116607	1161	5899	1252	1430043
2017	3205	26399	1456063	126402	1259	6395	1357	1550167
2018	3475	28622	1578681	137047	1365	6934	1472	1680710
2019	3769	31040	1712033	148623	1480	7519	1596	1822680
2020	4088	33671	1857161	161222	1605	8157	1731	1977189
2021	4436	36537	2015218	174943	1742	8851	1879	2145460
2022	4816	39660	2187472	189897	1891	9607	2039	2328847
2023	5229	43066	2375325	206204	2053	10432	2214	2528840
2024	5680	46782	2580322	224000	2230	11333	2405	2747086
2025	6173	50841	2804173	243433	2424	12316	2614	2985404

Tahun	Nilai Ekonomi Kesehatan di Wilayah Jakarta Timur (Juta Rp.)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	828	6821	376194	32658	325	1652	351	400507
2006	955	7863	433680	37648	375	1905	404	461708
2007	1103	9083	500977	43490	433	2200	467	533355
2008	1265	10414	574409	49865	497	2523	535	611532
2009	1441	11868	654567	56824	566	2875	610	696871
2010	1634	13455	742106	64423	641	3259	692	790068
2011	1844	15189	837746	72726	724	3679	781	891889
2012	2074	17084	942280	81800	815	4138	878	1003179
2013	2326	19156	1056584	91723	913	4640	985	1124870
2014	2601	21423	1181624	102578	1021	5190	1102	1257991
2015	2903	23904	1318465	114457	1140	5791	1229	1403677
2016	3232	26621	1468285	127463	1269	6449	1369	1563179
2017	3594	29596	1632381	141709	1411	7169	1522	1737880
2018	3989	32856	1812187	157318	1566	7959	1689	1929307
2019	4423	36429	2009285	174428	1737	8825	1873	2139144
2020	4899	40348	2225425	193191	1924	9774	2075	2369252
2021	5421	44647	2462537	213775	2129	10815	2296	2621689
2022	5994	49365	2722755	236365	2354	11958	2538	2898725
2023	6623	54544	3008439	261166	2600	13213	2805	3202872
2024	7314	60233	3322192	288403	2872	14591	3097	3536903
2025	8073	66482	3666897	318327	3170	16105	3418	3903886

## Lampiran 11 Nilai Ekonomi Kesehatan per Wilayah (lanjutan)

Tahun	Nilai Ekonomi Kesehatan di Wilayah Jakarta selatan (Juta Rp.)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	653	5379	296687	25756	256	1303	277	256
2006	754	6208	342392	29723	296	1504	319	296
2007	864	7113	392349	34060	339	1723	366	339
2008	984	8104	446970	38802	386	1963	417	386
2009	1116	9187	506709	43988	438	2225	472	438
2010	1259	10372	572064	49661	494	2512	533	494
2011	1426	11745	647782	56235	560	2845	604	560
2012	1620	13338	735674	63865	636	3231	686	636
2013	1832	15084	831980	72225	719	3654	776	719
2014	2064	16998	937537	81389	810	4118	874	810
2015	2319	19096	1053266	91435	910	4626	982	910
2016	2598	21397	1180184	102453	1020	5183	1100	1020
2017	2905	23922	1319414	114540	1140	5795	1230	1140
2018	3241	26691	1472195	127803	1273	6466	1372	1273
2019	3610	29732	1639896	142361	1418	7202	1529	1418
2020	4016	33070	1824027	158346	1577	8011	1700	1577
2021	4461	36737	2026258	175902	1751	8899	1889	1751
2022	4950	40765	2248434	195189	1944	9875	2096	1944
2023	5487	45192	2492591	216384	2155	10947	2324	2155
2024	6078	50058	2760981	239684	2387	12126	2574	2387
2025	6728	55408	3056093	265303	2642	13422	2849	2642

Tahun	Nilai Ekonomi Kesehatan di Wilayah Jakarta Barat (Juta Rp.)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	1440	11857	653962	56771	565	2872	610	696227
2006	1621	13346	736124	63904	636	3233	686	783699
2007	1818	14973	825873	71695	714	3627	770	879249
2008	2034	16752	923947	80209	799	4058	861	983661
2009	2270	18695	1031159	89516	891	4529	961	1097802
2010	2528	20821	1148406	99694	993	5044	1071	1222626
2011	2811	23147	1276677	110830	1104	5607	1190	1359188
2012	3120	25692	1417065	123017	1225	6224	1321	1508648
2013	3458	28479	1570771	136360	1358	6899	1464	1672288
2014	3829	31531	1739125	150975	1503	7638	1621	1851523
2015	4235	34875	1923590	166989	1663	8448	1793	2047910
2016	4680	38541	2125787	184542	1838	9336	1982	2263175
2017	5168	42561	2347500	203789	2029	10310	2188	2499217
2018	5703	46971	2590703	224902	2239	11378	2415	2758138
2019	6291	51809	2857574	248069	2470	12550	2664	3042257
2020	6936	57120	3150519	273500	2723	13837	2937	3354135
2021	7644	62952	3472198	301425	3001	15250	3237	3696604
2022	8422	69359	3825548	332100	3307	16802	3566	4072791
2023	9277	76398	4213819	365806	3642	18507	3928	4486155
2024	10216	84136	4640597	402855	4011	20381	4326	4940516
2025	11249	92644	5109853	443592	4417	22442	4764	5440099

## Lampiran 11 Nilai Ekonomi Kesehatan per Wilayah (lanjutan)

Tahun	Nilai Ekonomi Kesehatan di Wilayah Jakarta Pusat (Juta Rp.)							
	RHA	ERV	RSD	RAD	LRI	AA	BC	PM
2005	846	6969	384392	33369	332	1688	358	409235
2006	944	7772	428657	37212	371	1883	400	456361
2007	1050	8651	477132	41420	412	2096	445	507969
2008	1167	9613	530236	46030	458	2329	494	564505
2009	1295	10668	588429	51082	509	2584	549	626458
2010	1436	11825	652220	56620	564	2865	608	694373
2011	1590	13093	722171	62692	624	3172	673	768844
2012	1759	14484	798900	69353	691	3509	745	850533
2013	1944	16011	883093	76662	763	3879	823	940167
2014	2148	17686	975504	84684	843	4284	909	1038550
2015	2371	19526	1076967	93493	931	4730	1004	1146571
2016	2616	21546	1188405	103167	1027	5219	1108	1265211
2017	2886	23766	1310834	113795	1133	5757	1222	1395553
2018	3182	26205	1445380	125475	1249	6348	1347	1538794
2019	3508	28887	1593285	138315	1377	6998	1485	1696258
2020	3866	31836	1755924	152434	1518	7712	1637	1869408
2021	4259	35079	1934814	167963	1672	8498	1804	2059860
2022	4693	38647	2131635	185049	1843	9362	1987	2269401
2023	5170	42575	2348244	203853	2030	10313	2189	2500009
2024	5695	46898	2586691	224553	2236	11361	2411	2753867
2025	6273	51658	2849249	247346	2463	12514	2656	3033394

## Lampiran 12 Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan per Wilayah

Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan Jakarta Utara					
Tahun	Biaya Kesehatan	Biaya Non-Kesehatan	Biaya Degradasi	Manfaat bersih	nilai NPV
2005	1199626	194057	1393683	16127719	15341161
2006	1303208	210813	1514021	17317365	31813949
2007	1414807	228866	1643673	18608978	49515357
2008	1535140	248331	1783472	20011969	68551331
2009	1664996	269338	1934333	21536657	89037634
2010	1805241	292024	2097265	23194337	111100770
2011	1956829	316546	2273375	24997410	134879043
2012	2120807	343072	2463879	26959460	160523676
2013	2298328	371788	2670117	29095383	188200061
2014	2490663	402901	2893564	31421513	218089129
2015	2699208	436637	3135845	33955773	250388860
2016	2925504	473243	3398747	36717806	285315918
2017	3171247	512996	3684243	39729175	323107479
2018	3438305	556196	3994501	43013531	364023216
2019	3728740	603179	4331919	46596813	408347476
2020	4044825	654310	4699135	50507497	456391694
2021	4389066	709996	5099062	54776818	508497017
2022	4764228	770684	5534912	59439074	565037214
2023	5173364	836868	6010231	64531882	626421839
2024	5619841	909092	6528932	70096551	693099742
2025	6107378	987958	7095336	76178415	765562894

Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan Jakarta Timur					
Tahun	Biaya Kesehatan	Biaya Non-Kesehatan	Biaya Degradasi	Manfaat bersih	nilai NPV
2005	819335	132540	951875	19352181	18408364
2006	944537	152793	1097330	20874978	38265258
2007	1091108	176503	1267611	22523461	59690237
2008	1251039	202374	1453413	24321248	82825325
2009	1425622	230615	1656237	26282545	107826055
2010	1616278	261457	1877735	28422948	134862801
2011	1824578	295152	2119730	30759565	164122204
2012	2052248	331981	2384230	33311170	195808770
2013	2301198	372253	2673450	36098378	230146611
2014	2573530	416306	2989837	39143806	267381351
2015	2871565	464518	3336083	42472285	307782240
2016	3197867	517302	3715169	46111068	351644445
2017	3555261	575116	4130377	50090087	399291611
2018	3946871	638464	4585336	54442186	451078622
2019	4376144	707906	5084050	59203429	507394667
2020	4846887	784055	5630943	64413426	568666615
2021	5363308	867594	6230902	70115644	635362680
2022	5930054	959273	6889327	76357843	707996510
2023	6552261	1059925	7612186	83192443	787131612
2024	7235604	1170465	8406069	90677015	873386260
2025	7986358	1291911	9278269	98874792	967438873

## Lampiran 12 Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan per Wilayah (lanjutan)

Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan Jakarta Selatan					
Tahun	Biaya Kesehatan	Biaya Non-Kesehatan	Biaya Degradasi	Manfaat bersih	nilai NPV
2005	646172	104528	750700	19883419	18913693
2006	745715	120630	866346	21383166	39253991
2007	854520	138231	992752	23013635	61145238
2008	973484	157475	1130959	24787031	84723392
2009	1103592	178522	1282114	26716737	110137138
2010	1245933	201548	1447481	28817428	137549125
2011	1410843	228225	1639068	31094584	167127209
2012	1602268	259190	1861459	33562811	199053143
2013	1812020	293121	2105141	36252684	233537763
2014	2041920	330311	2372230	39185206	270811884
2015	2293972	371084	2665056	42383418	311128240
2016	2570395	415799	2986194	45872601	354763609
2017	2873632	464852	3338484	49680501	402021165
2018	3206383	518680	3725062	53837566	453233044
2019	3571628	577763	4149392	58377194	508763150
2020	3972659	642636	4615295	63336073	569010288
2021	4413111	713886	5126997	68754439	634411535
2022	4897001	792162	5689162	74676485	705446008
2023	5428766	878183	6306948	81150709	782638953
2024	6013308	972741	6986049	88230358	866566268
2025	6656050	1076714	7732764	95973892	957859462

Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan Jakarta Barat					
Tahun	Biaya Kesehatan	Biaya Non-Kesehatan	Biaya Degradasi	Manfaat bersih	nilai NPV
2005	818396	230402	1654705	20532014	19530656
2006	898970	259349	1862599	22108898	40561291
2007	987088	290969	2089689	23825579	63224883
2008	1083496	325522	2337842	25695208	87666922
2009	1189018	363295	2609118	27732209	114046615
2010	1304562	404603	2905786	29952396	142538217
2011	1431130	449795	3230349	32373121	173332483
2012	1569823	499256	3585567	35013412	206638272
2013	1721877	553409	3974486	37894150	242684304
2014	1888628	612723	4400468	41038233	281721080
2015	2071565	677714	4867217	44470801	324023015
2016	2272337	748951	5378831	48219419	369890747
2017	2492759	827065	5939828	52314348	419653695
2018	2734838	912749	6555198	56788798	473672872
2019	3000794	1006772	7230456	61679192	532343936
2020	3293075	1109982	7971689	67025542	596100605
2021	3614394	1223315	8785627	72871717	665418329
2022	3967742	1347806	9679700	79265914	740818401
2023	4356437	1484601	10662133	86261000	822872403
2024	4784136	1634962	11742001	93915020	912207135
2025	5254893	1800289	12929348	102291706	1009510019

## Lampiran 12 Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan per Wilayah (lanjutan)

Tahun	Nilai Ekonomi Kerusakan Lingkungan Jakarta Pusat				
	Biaya Kesehatan	Biaya Non-Kesehatan	Biaya Degradasi	Manfaat bersih	nilai NPV
2005	837191	135428	972619	12138368	11546374
2006	933598	151023	1084551	13142291	24047708
2007	1039175	168102	1207133	14238304	37591601
2008	1154833	186811	1341424	15435216	52274033
2009	1281575	207314	1488589	16742702	68200184
2010	1420510	229788	1649916	18171374	85485331
2011	1572859	254433	1826824	19732883	104255830
2012	1739973	281466	2020882	21440022	124650211
2013	1923342	311129	2233820	23306830	146820355
2014	2124609	343687	2467550	25348720	170932804
2015	2345593	379434	2724180	27582613	197170197
2016	2588300	418695	3006045	30027087	225732846
2017	2854946	461829	3315718	32702544	256840470
2018	3147981	509232	3656045	35631375	290734082
2019	3470113	561342	4030172	38838181	327678104
2020	3824334	618642	4441574	42349958	367962630
2021	4213950	681668	4894093	46196361	411905969
2022	4642618	751012	5391977	50409963	459857409
2023	5114383	827327	5939925	55026513	512200249
2024	5633712	911336	6543128	60085293	569355149
2025	6205553	1003839	7207332	65629432	631783797

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim

- (001) "125"= motor\*fr 125  
Units: kendaraan
- (002) "250"= fr 250\*motor  
Units: kendaraan
- (003) "50"= motor\*fr 50  
Units: kendaraan
- (004) A= var phi\*var ab\*var xb  
Units: Dmnl
- (005) AA= delta kons\*slope AA\*penddk x\*1.675 /100  
Units: org
- (006) angka kematian kasar= 0.0036  
Units: Dmnl
- (007) awal AA= 0.047947  
Units: jt rp/org
- (008) awal BC= 0.090804  
Units: jt rp/org
- (009) awal bis= 842529  
Units: kendaraan
- (010) awal bis x= 56089  
Units: kendaraan
- (011) awal ERV= 0.459131  
Units: jt rp/org
- (012) awal jmh mobil= 219640  
Units: kendaraan
- (013) awal jmh motor= 199370  
Units: kendaraan
- (014) awal jmh truk= 219640  
Units: kendaraan
- (015) awal LRI= 0.032575  
Units: jt rp/org

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (016) awal mob  $x = 376797$   
Units: kendaraan
- (017) awal mobil =  $6.33794e+006$   
Units: kendaraan
- (018) awal motor =  $7.93711e+006$   
Units: kendaraan
- (019) awal motor  $x = 471869$   
Units: kendaraan
- (020) awal pdrb =  $7.08427e+007$   
Units: jt rp
- (021) awal penddk  $x = 713799$   
Units: org
- (022) awal RAD = 0.0225  
Units: jt rp/org
- (023) awal RHA = 1.09362  
Units: jt rp/org
- (024) awal RSD = 0.032575  
Units: jt rp/org
- (025) awal truk = 240721  
Units: kendaraan
- (026) awal truk  $x = 17173$   
Units: kendaraan
- (027) awal VOSL = 1836.37  
Units: jt rp/org
- (028) BC =  $\text{delta kons} * \text{slope BC} * \text{penddk } x$   
Units: org
- (029) Biaya Degradasi = "Biaya Non-Kesehatan" + Biaya Sosial  
Units: jt rp
- (030) "Biaya Non-Kesehatan" =  $(11/100) * \text{Damage cost}$   
Units: jt rp

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (031) Biaya Sosial= ekon AA+ekon BC+ekon ERV+ekon LRI+ekon PM+ekon RAD+ekon RHA+ekon RSD  
Units: jt rp
- (032) bis= INTEG (+rate bis, awal bis)  
Units: kendaraan
- (033) bis besar diesel= fr bis besar diesel\*bis  
Units: kendaraan
- (034) bis kecil bensin= fr bis kecil bensin\*bis  
Units: kendaraan
- (035) bis kecil diesel= fr bis kecil diesel\*bis  
Units: kendaraan
- (036) bis x= INTEG (+rate bis x, awal bis x)  
Units: kendaraan
- (037) BM PM10= 50  
Units: mikro gr/(m\*m\*m)
- (038) Damage cost= (100/68)\*Biaya Sosial  
Units: jt rp
- (039) decay= kons x\*exp(-lamda)  
Units: mikro gr/(m\*m\*m)
- (040) delta kons= IF THEN ELSE ((konsentrasi ambien-BM PM10)>0, (konsentrasi ambien-BM PM10),0)  
Units: mikro gr/(m\*m\*m)
- (041) dum ind= 0.5542  
Units: Dmnl
- (042) E 125= (fe motor\*VKT 125)  
Units: ton/Year
- (043) E 250= (fe motor\*VKT 250)  
Units: ton/Year
- (044) E 50= (fe motor\*VKT 50)  
Units: ton/Year

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (045)  $E_{\text{bis besar diesel}} = (fe_{\text{bis besar diesel}} * VKT_{\text{bis besar diesel}})$   
Units: ton/Year
- (046)  $E_{\text{bis kecil bensin}} = (fe_{\text{bis kecil bensin}} * VKT_{\text{bis kecil bensin}})$   
Units: ton/Year
- (047)  $E_{\text{bis kecil diesel}} = (fe_{\text{bis kecil diesel}} * VKT_{\text{bis kecil diesel}})$   
Units: ton/Year
- (048)  $E_{\text{tot bis}} = E_{\text{bis besar diesel}} + E_{\text{bis kecil bensin}} + E_{\text{bis kecil diesel}}$   
Units: ton/Year
- (049)  $E_{\text{tot bis } x} = E_{\text{tot bis}} * (\text{bis } x / \text{bis})$   
Units: ton/Year
- (050)  $E_{\text{tot mobil}} = E_{\text{pen bensin}} + E_{\text{pen diesel}} + E_{\text{taxi bensin}} + E_{\text{taxi diesel}}$   
Units: ton/Year
- (051)  $E_{\text{tot mobil } x} = E_{\text{tot mobil}} * (\text{mob } x / \text{mobil})$   
Units: ton/Year
- (052)  $E_{\text{tot motor}} = E_{125} + E_{250} + E_{50}$   
Units: ton/Year
- (053)  $E_{\text{tot motor } x} = E_{\text{tot motor}} * (\text{motor } x / \text{motor})$   
Units: ton/Year
- (054)  $E_{\text{tot truk}} = E_{\text{truk besar diesel}} + E_{\text{truk kecil bensin}} + E_{\text{truk kecil diesel}}$   
Units: ton/Year
- (055)  $E_{\text{tot truk } x} = E_{\text{tot truk}} * (\text{truk } x / \text{truk})$   
Units: ton/Year
- (056)  $E_{\text{truk besar diesel}} = fe_{\text{truk besar diesel}} * VKT_{\text{truk besar diesel}}$   
Units: ton/Year
- (057)  $E_{\text{truk kecil bensin}} = (fe_{\text{truk kecil bensin}} * VKT_{\text{truk kecil bensin}})$   
Units: ton/Year
- (058)  $E_{\text{truk kecil diesel}} = (fe_{\text{truk kecil diesel}} * VKT_{\text{truk kecil diesel}})$   
Units: ton/Year
- (059)  $edom = fe_{\text{dom}} * \text{penddk}$   
Units: ton/Year

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (060)  $\text{edom } x = \text{edom} * (\text{luas } x / \text{luas total})$   
Units: ton/Year
- (061)  $\text{eind} = (\text{pdrb} / \text{pdrb } 95) * \text{eind } 95$   
Units: ton/Year
- (062)  $\text{eind } 95 = 2336$   
Units: ton/Year
- (063)  $\text{eind } x = \text{eind} * \text{fr ind} * (\text{dum ind} * \text{luas } x) / \text{sigma dum } x$   
Units: ton/Year
- (064)  $\text{ekon AA} = \text{AA} * \text{awal AA}$   
Units: jt rp
- (065)  $\text{ekon BC} = \text{awal BC} * \text{BC}$   
Units: jt rp
- (066)  $\text{ekon ERV} = \text{awal ERV} * \text{ERV}$   
Units: jt rp
- (067)  $\text{ekon LRI} = \text{awal LRI} * \text{LRI}$   
Units: jt rp
- (068)  $\text{ekon PM} = \text{awal VOSL} * \text{PM}$   
Units: jt rp
- (069)  $\text{ekon RAD} = \text{awal RAD} * \text{RAD}$   
Units: jt rp
- (070)  $\text{ekon RHA} = \text{awal RHA} * \text{RHA}$   
Units: jt rp
- (071)  $\text{ekon RSD} = \text{awal RSD} * \text{RSD}$   
Units: jt rp
- (072)  $\text{emisi grid } x = \text{emisi total } x * (\text{equi berat} / \text{equi waktu})$   
Units: mikro gr/s
- (073)  $\text{emisi kendaraan } x = \text{E tot bis } x + \text{E tot mobil } x + \text{E tot motor } x + \text{E tot truk } x$   
Units: ton/Year
- (074)  $\text{emisi per luas} = (\text{emisi grid } x / \text{luas } x)$   
Units: mikro gr/(s\*m\*m)

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (075) emisi total x= edom x+emisi kendaraan x+eind x  
Units: ton/Year
- (076) Epen bensin= (fe mob bensin\*VKT pen bensin)  
Units: ton/Year
- (077) Epen diesel= (fe mob diesel\*VKT pen diesel)  
Units: ton/Year
- (078) equi berat= 1e+012  
Units: mikro gr/ton
- (079) equi waktu= (365\*24\*60)  
Units: s/Year
- (080) ERV= delta kons\*slope ERV\*penddk x  
Units: org
- (081) Etaxi bensin= (fe mob bensin\*VKT taxi bensin)  
Units: ton/Year
- (082) Etaxi diesel= (fe mob diesel\*VKT taxi diesel)  
Units: ton/Year
- (083) fe bis besar diesel= 1.243\*(1/1e+006)  
Units: ton/km
- (084) fe bis kecil bensin= 0.124\*(1/1e+006)  
Units: ton/km
- (085) fe bis kecil diesel= 0.559\*(1/1e+006)  
Units: ton/km
- (086) fe dom= 3.17e-005  
Units: ton/org/Year
- (087) fe mob bensin= 0.081\*(1/1e+006)  
Units: ton/km
- (088) fe mob diesel= 0.435\*(1/1e+006)  
Units: ton/km
- (089) fe motor= 0.205\*(1/1e+006)  
Units: ton/km

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (090) fe truk besar diesel=  $1.243 \cdot (1/1e+006)$   
Units: ton/km
- (091) fe truk kecil bensin=  $0.124 \cdot (1/1e+006)$   
Units: ton/km
- (092) fe truk kecil diesel=  $0.559 \cdot (1/1e+006)$   
Units: ton/km
- (093) FINAL TIME = 2025  
Units: Year  
The final time for the simulation.
- (094) fr 125= 0.3702  
Units: Dmnl
- (095) fr 250= 0.2596  
Units: Dmnl
- (096) fr 50= 0.3702  
Units: Dmnl
- (097) fr bis besar diesel= 0.23  
Units: Dmnl
- (098) fr bis kecil bensin= 0.385  
Units: Dmnl
- (099) fr bis kecil diesel= 0.385  
Units: Dmnl
- (100) fr ind= 0.124  
Units: Dmnl
- (101) fr pen bensin= 0.6712  
Units: Dmnl
- (102) fr pen diesel= 0.1678  
Units: Dmnl
- (103) fr taxi bensin= 0.1047  
Units: Dmnl

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (104) fr taxi diesel= 0.0564  
Units: Dmnl
- (105) fr truk besar diesel= 0.439  
Units: Dmnl
- (106) fr truk kecil bensin= 0.2805  
Units: Dmnl
- (107) fr truk kecil diesel= 0.2805  
Units: Dmnl
- (108) fraksi mobil x= 0.06  
Units: Dmnl
- (109) fraksi truk x= 0.07  
Units: Dmnl
- (110) frek wd 1= 0.109  
Units: Dmnl
- (111) frek wd 2= 0.325  
Units: Dmnl
- (112) frek wd 3= 0.039  
Units: Dmnl
- (113) frek wd 4= 0.084  
Units: Dmnl
- (114) frek wd 5= 0.028  
Units: Dmnl
- (115) frek wd 6= 0.062  
Units: Dmnl
- (116) frek wd 7= 0.049  
Units: Dmnl
- (117) frek wd 8= 0.305  
Units: Dmnl
- (118) gr bis= 0  
Units: fraction/Year

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (119) gr jmh mobil= 0.1  
Units: fraction/Year
- (120) gr jmh motor= 0.058  
Units: fraction/Year
- (121) gr jmh truk= 0.044  
Units: fraction/Year
- (122) gr mobil= 0.1  
Units: fraction/Year
- (123) gr motor= 0.0586  
Units: fraction/Year
- (124) gr pdrb= 0.02  
Units: fraction/Year
- (125) gr penddk= 0.0083  
Units: fraction/Year
- (126) gr truk= 0.044  
Units: fraction/Year
- (127) "harga rata-rata mobil"= 270.73  
Units: jt rp/kendaraan
- (128) "harga rata-rata motor"= 14  
Units: jt rp/kendaraan
- (129) "harga rata-rata truk"= 143.43  
Units: jt rp/kendaraan
- (130) INITIAL TIME = 2005  
Units: Year  
The initial time for the simulation.
- (131) interest rate= 0.05  
Units: fraction/Year
- (132) jarak x= (luas x<sup>0.5</sup>)/100  
Units: km

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (133)  $\text{jmh mobil} = \text{INTEG} (+\text{rate jmh mobil}, \text{awal jmh mobil})$   
Units: kendaraan
- (134)  $\text{jmh motor} = \text{INTEG} (+\text{rate jmh motor}, \text{awal jmh motor})$   
Units: kendaraan
- (135)  $\text{jmh truk} = \text{INTEG} (+\text{rate jmh truk}, \text{awal jmh truk})$   
Units: kendaraan
- (136)  $\text{kons x} = (\text{Q1} + \text{Q2} + \text{Q3} + \text{Q4} + \text{Q5} + \text{Q6} + \text{Q7} + \text{Q8}) / 8$   
Units: mikro gr/(m\*m\*m)
- (137)  $\text{konsentrasi ambien} = \text{kons x} - \text{decay}$   
Units: mikro gr/(m\*m\*m)
- (138)  $\text{lamda} = 0.825 * 0.84$   
Units: Dmnl
- (139)  $\text{LRI} = \text{delta kons} * \text{slope LRI} * \text{penddk x} * (9.36 / 100)$   
Units: org
- (140)  $\text{luas total} = 6.4931e+008$   
Units: m\*m
- (141)  $\text{luas x} = 5.533e+007$   
Units: m\*m
- (142)  $\text{manfaat bersih} = (\text{manfaat mobil x} + \text{manfaat motor x} + \text{manfaat truk x}) - \text{Biaya Degradasi}$   
Units: jt rp
- (143)  $\text{manfaat mobil x} = \text{fraksi mobil x} * \text{jmh mobil} * \text{"harga rata-rata mobil"}$   
Units: jt rp
- (144)  $\text{manfaat motor x} = \text{fraksi mobil x} * \text{jmh motor} * \text{"harga rata-rata motor"}$   
Units: jt rp
- (145)  $\text{manfaat truk x} = \text{fraksi truk x} * \text{jmh truk} * \text{"harga rata-rata truk"}$   
Units: jt rp
- (146)  $\text{mob x} = \text{INTEG} (+\text{rate mob x}, \text{awal mob x})$   
Units: kendaraan

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (147) mobil= INTEG (+rate mobil, awal mobil)  
Units: kendaraan
- (148) motor= INTEG (+rate motor, awal motor)  
Units: kendaraan
- (149) motor x= INTEG (+rate motor x,awal motor x)  
Units: kendaraan
- (150) Nilai NPV= $\exp(-\text{interest rate}) \cdot \text{manfaat bersih}$   
Units: jt rp
- (151) pdrb= INTEG (+rate pdrb,awal pdrb)  
Units: jt rp
- (152) pdrb 95=  
6.06487e+007  
Units: jt rp
- (153) pen bensin=fr pen bensin\*mobil  
Units: kendaraan
- (154) pen diesel=fr pen diesel\*mobil  
Units: kendaraan
- (155) penddk= INTEG (+rate penddk,penddk awal)  
Units: org
- (156) penddk awal= 8.32784e+006  
Units: org
- (157) penddk x= INTEG (+rate penddk x,awal penddk x)  
Units: org
- (158) PM=delta kons\*slope PM\*penddk x\*angka kematian kasar  
Units: org
- (159) Q1=(frek wd 1/wav)\*emisi per luas\*A  
Units: mikro gr/m/m/m
- (160) Q2=(frek wd 2/wav)\*emisi per luas\*A  
Units: mikro gr/m/m/m

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (161)  $Q3 = (\text{frek wd } 3/\text{wav}) * \text{emisi per luas} * A$   
Units: mikro gr/m/m/m
- (162)  $Q4 = (\text{frek wd } 4/\text{wav}) * \text{emisi per luas} * A$   
Units: mikro gr/m/m/m
- (163)  $Q5 = (\text{frek wd } 5/\text{wav}) * \text{emisi per luas} * A$   
Units: mikro gr/m/m/m
- (164)  $Q6 = (\text{frek wd } 6/\text{wav}) * \text{emisi per luas} * A$   
Units: mikro gr/m/m/m
- (165)  $Q7 = (\text{frek wd } 7/\text{wav}) * \text{emisi per luas} * A$   
Units: mikro gr/m/m/m
- (166)  $Q8 = (\text{frek wd } 8/\text{wav}) * \text{emisi per luas} * A$   
Units: mikro gr/m/m/m
- (167)  $RAD = \text{delta kons} * \text{slope RAD} * 0.4 * \text{penddk} * x$   
Units: org
- (168)  $\text{rate bis} = \text{gr bis} * \text{bis}$   
Units: kendaraan/Year
- (169)  $\text{rate bis } x = \text{gr bis} * \text{bis } x$   
Units: kendaraan/Year
- (170)  $\text{rate jmh mobil} = \text{gr jmh mobil} * \text{jmh mobil}$   
Units: kendaraan/Year
- (171)  $\text{rate jmh motor} = \text{gr jmh motor} * \text{jmh motor}$   
Units: kendaraan/Year
- (172)  $\text{rate jmh truk} = \text{gr jmh truk} * \text{jmh truk}$   
Units: kendaraan/Year
- (173)  $\text{rate mob } x = \text{gr mobil} * \text{mob } x$   
Units: kendaraan/Year
- (174)  $\text{rate mobil} = \text{gr mobil} * \text{mobil}$   
Units: kendaraan/Year

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (175)  $\text{rate motor} = \text{gr motor} * \text{motor}$   
Units: kendaraan/Year
- (176)  $\text{rate motor x} = \text{gr motor} * \text{motor x}$   
Units: kendaraan/Year
- (177)  $\text{rate pdrb} = \text{gr pdrb} * \text{pdrb}$   
Units: jt rp/Year
- (178)  $\text{rate penddk} = \text{gr penddk} * \text{penddk}$   
Units: org/Year
- (179)  $\text{rate penddk x} = \text{gr penddk} * \text{penddk x}$   
Units: org/Year
- (180)  $\text{rate truk} = \text{gr truk} * \text{truk}$   
Units: kendaraan/Year
- (181)  $\text{rate truk x} = \text{gr truk} * \text{truk x}$   
Units: kendaraan/Year
- (182)  $\text{RHA} = \text{delta kons} * \text{slope RHA} * \text{penddk x}$   
Units: org
- (183)  $\text{RSD} = \text{delta kons} * \text{slope RSD} * \text{penddk x}$   
Units: org
- (184)  $\text{SAVEPER} = \text{TIME STEP}$   
Units: Year [0,?]   
The frequency with which output is stored.
- (185)  $\text{sigma dum x} = 7.26385e+007$   
Units: m\*m
- (186)  $\text{slope AA} = 0.0326$   
Units: m\*m\*m/mikro gr
- (187)  $\text{slope BC} = 6.12e-005$   
Units: m\*m\*m/mikro gr
- (188)  $\text{slope ERV} = 0.0002354$   
Units: m\*m\*m/mikro gr

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (189) slope LRI=0.00169  
Units: m\*m\*m/mikro gr
- (190) slope PM=0.00096  
Units: m\*m\*m/mikro gr
- (191) slope RAD=0.0575  
Units: m\*m\*m/mikro gr
- (192) slope RHA=1.2e-005  
Units: m\*m\*m/mikro gr
- (193) slope RSD=0.183  
Units: m\*m\*m/mikro gr
- (194) taxi bensin=fr taxi diesel\*mobil  
Units: kendaraan
- (195) taxi diesel=fr taxi bensin\*mobil  
Units: kendaraan
- (196) TIME STEP = 1  
Units: Year [0,?]  
The time step for the simulation.
- (197) truk= INTEG (+rate truk,awal truk)  
Units: kendaraan
- (198) truk besar diesel=fr truk besar diesel\*truk  
Units: kendaraan
- (199) truk kecil bensin=fr truk kecil bensin\*truk  
Units: kendaraan
- (200) truk kecil diesel=fr truk kecil diesel\*truk  
Units: kendaraan
- (201) truk x= INTEG (+rate truk x,awal truk x)  
Units: kendaraan
- (202) util bis besar=1845  
Units: km/(Year\*kendaraan)

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (203) util bis kecil=1934  
Units: km/(kendaraan\*Year)
- (204) util motor=959  
Units: km/(kendaraan\*Year)
- (205) util pen=3945  
Units: km/(kendaraan\*Year)
- (206) util taxi=2068  
Units: km/(kendaraan\*Year)
- (207) util truk besar=13322  
Units: km/(Year\*kendaraan)
- (208) util truk kecil=17087  
Units: km/(Year\*kendaraan)
- (209) var ab= $1/(0.15*(1-0.75))$   
Units: 1/km
- (210) var phi= $(14/22)^{0.5}$   
Units: Dmnl
- (211) var xb=jarak x $^{(1-0.75)}$   
Units: km
- (212) VKT 125="125"\*util motor  
Units: km/Year
- (213) VKT 250="250"\*util motor  
Units: km/Year
- (214) VKT 50="50"\*util motor  
Units: km/Year
- (215) VKT bis besar diesel=bis besar diesel\*util bis besar  
Units: km/Year
- (216) VKT bis kecil bensin=bis kecil bensin\*util bis kecil  
Units: km/Year
- (217) VKT bis kecil diesel= bis kecil diesel\*util bis kecil  
Units: km/Year

## Lampiran 13 Dokumen Model Vensim (lanjutan)

- (218)  $VKT_{pen\ bensin} = pen\ bensin * util\ pen$   
Units: km/Year
- (219)  $VKT_{pen\ diesel} = pen\ diesel * util\ pen$   
Units: km/Year
- (220)  $VKT_{taxi\ bensin} = taxi\ bensin * util\ taxi$   
Units: km/Year
- (221)  $VKT_{taxi\ diesel} = taxi\ diesel * util\ taxi$   
Units: km/Year
- (222)  $VKT_{truk\ besar\ diesel} = truk\ besar\ diesel * util\ truk\ besar$   
Units: km/Year
- (223)  $VKT_{truk\ kecil\ bensin} = truk\ kecil\ bensin * util\ truk\ kecil$   
Units: km/Year
- (224)  $VKT_{truk\ kecil\ diesel} = truk\ kecil\ diesel * util\ truk\ kecil$   
Units: km/Year
- (225)  $wav = 1.46$   
Units: m/s

UNIVERSITAS TERBUKA