

**LAPORAN PENELITIAN  
HIBAH BERSAING UNTUK TAHUN 2013**



**PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI DAN SIMULASI  
UNTUK PENYULUHAN TENTANG RUANG TERBUKA HIJAU  
DI JAKARTA GUNA MEMINIMALISIR DAMPAK  
PERUBAHAN IKLIM**

Oleh:

**Dr. Sri Listyarini, M.Ed.  
Dr. Lina Warlina, M.Ed.  
Ir. Endang Indrawati, M.A.  
Drs. Timbul Pardede, M.Si.**

**UNIVERSITAS TERBUKA**

**2014**

## LEMBAR PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Pengembangan Model Optimasi Dan Simulasi untuk Penyuluhan Tentang Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Jakarta Guna Meminimalisir Dampak Perubahan Iklim

### 2. Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Dr. Sri Listyarini, M.Ed.
- b. Jenis Kelamin : Perempuan
- c. NIP : 19610407 198602 2 001
- d. Jabatan Struktural : Pembina
- e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
- f. Fakultas/Jurusan : FMIPA/ Biologi
- g. Pusat Penelitian : LPPM-UT
- h. Alamat : Jl. Cabe Raya – Pondok Cabe – Pamulang  
Tangerang Selatan, 15418
- i. Telepon/Faks : 021-7490941/ 021-7434691
- j. Alamat Rumah : Jl. Kakaktua VI Bolk B2 No. 13 – Permata Pamulang
- k. Telepon/e-mail : 021-7562315/listyarini@ut.ac.id

3. Jangka Waktu Penelitian : 2 tahun

### 4. Pembiayaan

- a. Jumlah biaya yang dibiayai oleh Dikti : Rp 79.000.000,-
- b. Jumlah biaya tahun ke 1 : Rp 39.000.000,-
  - Biaya tahun ke 1 yang dibiayai oleh Dikti : Rp 39.000.000,-
  - Biaya tahun ke 1 dari Institusi lain : Rp 0
- c. Jumlah biaya tahun ke 2 : Rp 40.000.000,-
  - Biaya tahun ke 2 yang dibiayai oleh Dikti : Rp 40.000.000,-
  - Biaya tahun ke 2 dari Institusi lain : Rp 0

Mengetahui:  
Dekan FMIPA-UT

Pondok Cabe, 21 April 2014  
Ketua Peneliti,

Dr. Ir. Sri Harijati, M.A.  
NIP. 19620911 198803 2 002

Dr. Sri Listyarini, M.Ed.  
NIP. 19610407 198602 2 001

Mengetahui,  
Ketua LPPM-UT

Menyetujui,  
Kepala Pusat Keilmuan

Dra.Dewi Artati Padmo Putri, M.A.,Ph.D  
NIP. 19610724 198701 2 001

Dr. Herman, M.A.  
NIP. 19560525 1986031004

## I. Identitas Penelitian

1. Judul Penelitian : Pengembangan Model Optimasi Dan Simulasi untuk Penyuluhan Tentang Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Jakarta Guna Meminimalisir Dampak Perubahan Iklim

2. Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Dr. Sri Listyarini, M.Ed.
- b. Bidang Keahlian : Lingkungan
- c. Jabatan Struktural : Pembina
- d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
- e. Unit Kerja : FMIPA Universitas Terbuka
- f. Alamat Surat : Jl. Cabe Raya – Pondok Cabe – Pamulang  
Tangerang Selatan, 15418
- g. Telepon/Faks : 021-7490941/ 021-7434691
- h. E-mail : listyarini@ut.ac.id

3. Anggota Peneliti

No	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Instansi	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1	Dr. Lina Warlina, M.Ed.	Lingkungan	FMIPA-UT	8
2	Ir. Endang Indrawati, MA.	Penyuluhan	FMIPA-UT	6
3	Drs. Timbul Pardede, M.Si.	Statistika	FMIPA-UT	6

4. Objek penelitian: Kondisi lingkungan DKI Jakarta

5. Masa pelaksanaan penelitian:

- Mulai : Januari 2012
- Berakhir : Desember 2013

6. Anggaran yang digunakan:

- Tahun pertama : Rp 39.000.000,-
- Anggaran keseluruhan : Rp 79.000.000,-

7. Lokasi penelitian: DKI Jakarta

8. Hasil yang ditargetkan (temuan baru/paket teknologi/hasil lain) adalah: model optimasi, model simulasi, dan media penyuluhan

9. Institusi lain yang terlibat: tidak ada

10. Keterangan lain yang dianggap perlu: -

## II. Substansi Penelitian

### PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI DAN SIMULASI UNTUK PENYULUHAN TENTANG RUANG TERBUKA HIJAU DI JAKARTA GUNA MEMINIMALISIR DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

#### ABSTRAK

Beberapa penelitian terkait perubahan iklim di Jakarta menyatakan bahwa pencemaran udara dan ketersediaan air bersih sudah mencapai tingkat kritis, dan salah satu upaya mereduksinya adalah peningkatan Ruang Terbuka Hijau (RTH). Berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 proporsi ideal RTH di kota besar seperti Jakarta adalah 30 persen dari luas daerah tersebut, tetapi sekarang RTH di Jakarta hanya sekitar 9 persen. Di satu sisi peningkatan luas RTH di Jakarta membutuhkan biaya sangat besar, karena harga tanah di Jakarta sangat mahal. Di sisi lain RTH sangat penting untuk menyediakan udara dan air bersih. Penelitian ini akan mencari jumlah optimum luas RTH Jakarta, dan memprediksi kerugian yang akan dihadapi Jakarta jika RTH tidak diperluas. Optimasi akan dilakukan dengan metode *Goal Programming*, sedangkan prediksi menggunakan simulasi sistem dinamik. Hasil penelitian berupa model optimasi dan simulasi menjadi dasar pengembangan media penyuluhan mengenai pentingnya RTH.

Kata kunci: model optimasi, model simulasi, perubahan iklim, Ruang Terbuka Hijau (RTH), media penyuluhan

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Penelitian yang dilakukan oleh Listyarini, *et al.* (2007) menyatakan mulai tahun 2012 diprediksi akan ada sejumlah 1933 penduduk DKI Jakarta yang mengalami sakit simptom pernafasan akibat polusi udara gas-gas oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) terutama yang berasal dari kendaraan bermotor, dan jumlahnya akan terus meningkat. Penelitian strategis nasional yang dilaksanakan oleh Warlina, *et al.* (2009) menyatakan bahwa telah terjadi perubahan iklim di Jakarta yang berupa kenaikan suhu dan curah hujan. Hal ini memberikan dampak yang signifikan terhadap sumberdaya air dan kasus penyakit. Salah satu saran yang diberikan untuk mengurangi emisi  $\text{CO}_2$  dan meningkatkan kadar  $\text{O}_2$  adalah dengan meningkatkan luas RTH.

Upaya peningkatan luas RTH di Jakarta memerlukan biaya yang tidak sedikit. Selama ini Pemprov DKI Jakarta memperoleh dana yang cukup besar dari pajak dan retribusi serta reklame di kawasan RTH yang telah beralih fungsi menjadi areal

komersial. Meskipun demikian, Pemprov DKI Jakarta bertekad menambah luas RTH dari sekitar 9 persen menjadi minimal 13,9 persen dari total luas wilayah Jakarta, sekalipun risikonya antara lain dengan menggusur 27 stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) dan areal komersial lainnya (Suharjono, 2008).

Mengingat pentingnya RTH untuk menanggulangi pencemaran air, tanah dan udara, dan mengingat besarnya biaya yang harus dikeluarkan untuk meningkatkan luas RTH di Jakarta, maka diperlukan penelitian untuk mengetahui berapa luas optimum RTH. Luas optimum RTH dapat diperoleh dengan menghitung berapa besar biaya yang harus dikeluarkan guna memperoleh luas RTH yang paling sesuai dengan kebutuhan. Penelitian mengenai prediksi dampak yang akan terjadi jika luas RTH tidak ditingkatkan juga perlu dilaksanakan, agar pengambil kebijakan maupun masyarakat luas peduli akan masalah pentingnya RTH bagi kita.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan suatu media penyuluhan berisi model optimasi dan model simulasi yang dapat digunakan untuk memprediksi dampak turunan perubahan iklim global dalam kaitannya dengan penambahan RTH. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mencari jumlah optimum luas RTH Jakarta dengan menggunakan metode *Goal Programming*.
2. Memprediksi kerugian yang akan dihadapi Jakarta jika RTH tidak diperluas, menggunakan simulasi sistem dinamik.
3. Mengembangkan materi penyuluhan akan pentingnya RTH berdasarkan model optimasi dan simulasi yang merupakan hasil penelitian pada poin 1 dan 2.

## **1.3. Urgensi Penelitian**

Penelitian ini penting dilakukan karena berdasarkan hasil berbagai penelitian diprediksi bahwa kualitas udara dan air DKI Jakarta akan terus menurun, jika kita tidak melakukan tindakan apa-apa. Hal ini terutama disebabkan oleh meningkatnya pencemaran udara dan air. Penurunan kualitas udara dan air tersebut telah menyebabkan

berbagai penyakit yang akan membebani masyarakat dengan jumlah finansial sangat besar untuk menjaga kesehatan.

Berbagai tindakan dalam upaya peningkatan kualitas udara dan air telah dilaksanakan oleh Pemprov DKI Jakarta. Hasil-hasil penelitian menyatakan bahwa keberadaan RTH di areal perkotaan dalam jumlah yang cukup juga dapat berfungsi untuk menanggulangi pencemaran udara dan air. Oleh karena itu, perluasan RTH Jakarta merupakan suatu keharusan mengingat fungsi penghijauan dalam mereduksi pencemaran udara. Namun demikian peningkatan luas RTH membutuhkan dana yang cukup besar, sehingga perlu dilakukan analisis berapa luas optimum RTH yang dibutuhkan. Selain itu juga dibutuhkan prediksi mengenai berapa jumlah kerugian secara finansial yang akan diderita, jika luas RTH tidak ditambah. Data luas optimum RTH diperlukan agar pengambil keputusan mempunyai dasar dalam menetapkan jumlah perluasan RTH terkait dengan jumlah dana yang harus dikeluarkan. Sedangkan simulasi untuk memprediksi dampak diperlukan sebagai salah satu alat untuk memberikan penjelasan kepada pengambil keputusan maupun kepada masyarakat mengenai dampak yang harus kita tanggung jika RTH tidak diperluas.

#### **1.4. Keluaran Penelitian**

Hasil penelitian akan didiseminasikan dalam bentuk materi penyuluhan yang dikemas dalam CD (*compact disc*) dan makalah yang dipresentasikan pada seminar dan publikasi ilmiah. Materi penyuluhan akan dikirim ke institusi terkait, sedangkan presentasi dan publikasi dilaksanakan dalam skala nasional maupun internasional. Melalui diseminasi ini diharapkan kepedulian pengambil keputusan dan masyarakat akan pentingnya RTH bagi kota besar seperti Jakarta akan meningkat.

## **BAB II. STUDI PUSTAKA**

Menurut Undang-undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang yang dimaksud dengan Ruang Terbuka Hijau (RTH) adalah area memanjang/jalur dan/atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam. Undang-undang ini mengatur bahwa proporsi RTH pada wilayah kota paling sedikit 30 (tiga puluh) persen dari luas wilayah kota. Menurut Joga (2003) Pemprov DKI Jakarta hanya menargetkan RTH seluas 13,94 persen (9,545 hektar), yang berarti jauh di bawah kondisi ideal. Hal ini disebabkan tingginya dana yang harus dikeluarkan oleh Pemprov DKI Jakarta untuk membebaskan lahan yang akan digunakan sebagai RTH. Di samping itu, banyak dana yang hilang dari pajak dan retribusi serta reklame yang selama ini diterima dari lahan yang akan digunakan sebagai RTH.

Mengapa Undang-Undang menetapkan proporsi luas RTH di kota yang cukup besar? Hal ini disebabkan oleh berbagai fungsi RTH, seperti dijelaskan pada sub-bab berikut.

### **2.1. Fungsi Ruang Terbuka Hijau (RTH)**

Perluasan areal RTH di DKI Jakarta merupakan salah satu bentuk penghijauan. Penghijauan dalam arti luas adalah segala upaya untuk memulihkan, memelihara, dan meningkatkan kondisi lahan agar dapat berproduksi dan berfungsi secara optimal, baik sebagai pengatur tata air atau pelindung lingkungan. Penghijauan kota adalah suatu usaha untuk menghijaukan kota dengan melaksanakan pengelolaan taman-taman kota, taman-taman lingkungan, jalur hijau dan sebagainya. Pada keadaan ini penghijauan perkotaan merupakan kegiatan pengisian ruang terbuka perkotaan dengan berbagai jenis tanaman.

Dalam rangka memenuhi kebutuhan di perkotaan terutama di areal pemukiman, seringkali lahan hijau menjadi korban pembangunan. Di Jakarta banyak taman-taman kota yang sudah beralih fungsi menjadi tempat pengisian bahan bakar (SPBU), pertokoan, atau bangunan lainnya (Sinar Harapan, 2003). Keadaan ini diperparah dengan keberadaan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang semakin meningkat dengan meningkatnya kebutuhan transportasi dan industri di kota besar seperti Jakarta. Meningkatnya jumlah gas CO<sub>2</sub> secara global telah menjadi keprihatinan dunia, yang dijabarkan dalam konvensi

lingkungan hidup sedunia di Jepang pada tahun 1997 dan menghasilkan Protokol Kyoto (Murdiyarto, 2003).

Untuk menangani krisis lingkungan baik dalam skala global maupun regional, maka secara konseptual penghijauan merupakan kegiatan penting yang harus dilaksanakan. Dalam ekosistem, tumbuhan yang berklorofil (berhijau daun) berperan sebagai produsen pertama yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi potensial untuk digunakan oleh makhluk hidup lainnya. Tumbuhan berklorofil mampu melaksanakan proses fotosintesis, yaitu proses perubahan zat-zat anorganik, yang berupa  $H_2O$  dan  $CO_2$ , dengan bantuan sinar matahari dan enzim menjadi zat organik yang berupa karbohidrat dalam bentuk glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) dan gas  $O_2$  (Odum, 1971). Seperti kita ketahui gas  $O_2$  sangat dibutuhkan untuk pernafasan, sedangkan glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) merupakan sumber energi bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Selain fotosintesis, banyak lagi berbagai proses metabolisme dalam tumbuhan yang sangat berfungsi untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup lainnya dan juga meningkatkan kualitas lingkungan (Odum, 1971).

Dengan memahami pentingnya peranan tumbuhan dan adanya krisis lingkungan di perkotaan, maka sangat tepat jika keberadaan tumbuhan mendapat perhatian serius dalam pelaksanaan penghijauan perkotaan. Pembangunan kota sering lebih banyak dicerminkan oleh adanya perkembangan fisik kota, yang lebih banyak ditentukan oleh sarana dan prasarana yang ada. Pembangunan kota selama ini mempunyai kecenderungan untuk meminimalkan RTH. Lahan-lahan yang memiliki tumbuhan banyak dialih-fungsikan menjadi pertokoan, permukiman, industri, tempat rekreasi, dan sebagainya (Sinar Harapan, 2003). Keadaan ini menyebabkan adanya ketidakseimbangan atau ketidakharmonisan hubungan antara manusia di perkotaan dengan tumbuhan, akibatnya keadaan lingkungan perkotaan menjadi hanya maju secara fisik atau ekonomi tetapi mundur secara ekologi. Padahal kestabilan kota secara ekologi sangat penting, sama pentingnya dengan nilai kestabilan ekonomi (Soemarwoto, 2001).

Ketidakstabilan ekologi di kota Jakarta ditunjukkan dengan adanya peningkatan suhu udara, penurunan air tanah, banjir, intrusi air laut, abrasi pantai, pencemaran air berupa air tanah yang berbau atau mengandung logam berat, pencemaran udara seperti meningkatnya kadar  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $O_3$  (ozon),  $NO_x$  dan  $SO_x$ , banyaknya debu, bising, dan

kotor. Setelah mengalami ketidaknyamanan ini, manusia di perkotaan, khususnya penduduk kota Jakarta, baru menyadari pentingnya lahan bervegetasi.

Fungsi lahan bervegetasi di areal perkotaan, seperti Jakarta, antara lain sebagai penjerap dan penyerap partikel padat dari udara. Adanya areal bervegetasi di kota Jakarta menyebabkan debu yang dihasilkan dari kendaraan bermotor dapat dibersihkan oleh tajuk pepohonan. Debu yang merupakan partikel padat di lapisan biosfer bumi dapat dibersihkan oleh tumbuhan melalui proses jerapan (adsorpsi) maupun serapan (absorpsi). Permukaan daun, khususnya daun yang berbulu, mempunyai kemampuan menjerap partikel debu. Sedangkan ruang stomata (mulut daun) dapat menyerap debu.

Tumbuhan di perkotaan juga dapat berfungsi sebagai penjerap dan penyerap partikel Timbal (Pb). Kendaraan bermotor merupakan sumber utama pencemaran Pb yang mengotori udara perkotaan. Fungsi lain dari vegetasi di perkotaan adalah sebagai peredam kebisingan. Pohon memiliki kemampuan meredam suara dengan cara mengabsorpsi gelombang suara melalui daun, cabang dan ranting. Jenis tumbuhan yang paling efektif untuk meredam suara adalah yang mempunyai tajuk tebal dengan daun yang rindang (Departemen Kehutanan RI, 2002). Dengan menanam berbagai jenis tanaman dalam berbagai strata yang cukup rapat dan tinggi akan dapat mengurangi kebisingan, khususnya kebisingan yang sumbernya berasal dari bawah.

Tumbuhan di perkotaan juga dapat mengurangi bahaya hujan asam. Pohon dapat membantu mengatasi dampak negatif hujan asam melalui proses fisiologis tanaman yang disebut proses gutasi (Departemen Kehutanan RI, 2002). Hujan yang mengandung asam  $H_2SO_4$  atau  $HNO_3$  bila sampai di permukaan daun akan mengalami reaksi kimia. Asam seperti  $H_2SO_4$  yang turun bersama hujan akan bereaksi dengan Ca (kalsium) yang terdapat pada permukaan daun membentuk garam  $CaSO_4$  yang bersifat netral. Dengan demikian pH air hujan yang semula rendah (asam) dinaikkan oleh daun melalui proses intersepsi dan gutasi, sehingga air hujan tersebut tidak berbahaya lagi bagi lingkungan.

Fungsi berikutnya dari tumbuhan yang sangat penting adalah sebagai penyerap karbon-monoksida (CO). Proses pembakaran dalam kendaraan tidak selalu berlangsung dengan sempurna, sehingga kendaraan sering mengemisikan gas CO yang sangat berbahaya bagi manusia atau hewan. Mikroorganisme dan tanah di lahan yang bervegetasi dapat menyerap gas CO. Vegetasi juga memiliki fungsi sebagai penyerap

karbon-dioksida (CO<sub>2</sub>) dan penghasil Oksigen (O<sub>2</sub>). Seperti telah dijelaskan sebelumnya, cahaya matahari dimanfaatkan oleh semua tumbuhan untuk melakukan proses fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat dan gas O<sub>2</sub> dari gas CO<sub>2</sub> dan air. Penyerapan gas CO<sub>2</sub> oleh tumbuhan ini sangat penting, karena konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang terlalu besar akan membahayakan manusia dan hewan, serta dalam skala global akan menimbulkan efek rumah kaca (Murdiyarso, 2003).

Tanaman yang terdapat pada RTH juga dapat berfungsi sebagai ameliorasi iklim. Masalah yang cukup mengurangi kenyamanan di Jakarta adalah meningkatnya suhu. Perluasan RTH di Jakarta dapat digunakan untuk mengelola lingkungan kota agar pada siang hari tidak terlalu panas, sebaliknya pada malam hari dapat lebih hangat karena tajuk pepohonan dapat menahan radiasi balik (reradiasi) dari bumi (Departemen Kehutanan RI, 2002). Selain itu Irwan dan Zoer'aini (1997) menyatakan bahwa suhu juga berpengaruh terhadap kelembaban udara, sedangkan kelembaban udara menunjukkan kandungan uap air di atmosfer. Kelembaban udara berhubungan dengan kesetimbangan energi dan merupakan ukuran banyaknya energi radiasi berupa panas laten yang dipakai untuk menguapkan air yang terdapat di permukaan yang menerima radiasi. Makin banyak air yang diuapkan, makin banyak energi yang berbentuk panas laten diperlukan. Tanaman yang melakukan evapotranspirasi akan kehilangan panas laten sehingga menyebabkan suhu di sekitar tanaman menjadi lebih sejuk.

## **2.2. Pencemaran di DKI Jakarta**

Penelitian tentang pencemaran udara di Jakarta yang dilakukan oleh Ostro (1994) menunjukkan bahwa pencemaran udara di Jakarta mengakibatkan munculnya 1.200 kasus kematian prematur, 32 juta kasus gejala penyakit pernafasan dan 464 ribu kasus penyakit asma. Kerugian finansial akibat kasus-kasus ini diperkirakan sebesar Rp. 500 Triliun. Studi yang dilakukan oleh Syahril *et al.* (2002) mengenai kualitas udara Jakarta menunjukkan bahwa emisi gas-gas pencemar udara pada tahun 1995 sampai dengan tahun 1998 terus meningkat. Penelitian tersebut juga memprediksi bahwa peningkatan emisi gas-gas tersebut masih akan terus terjadi sampai tahun 2015.

Penelitian yang dilakukan oleh Listyarini, *et al.* (2007) menyatakan mulai tahun 2012 diprediksi akan ada sejumlah 1933 penduduk DKI Jakarta yang mengalami sakit

simptom pernafasan akibat polusi udara gas-gas oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) terutama yang berasal dari kendaraan bermotor, dan jumlahnya akan terus meningkat. Biaya yang harus dikeluarkan setiap tahun terkait dengan permasalahan kesehatan yang berasal dari pencemaran udara tersebut diperkirakan mencapai hampir 1 Triliun Rupiah pada tahun 2025, apabila tidak ada tindakan-tindakan pengendalian yang dilakukan. Penelitian lanjutan dari Listyarini (2008) memprediksi biaya kesehatan yang harus dikeluarkan akibat adanya pencemaran gas  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  sebagai penyebab hujan asam di Jakarta adalah Rp.985,29 Triliun pada tahun 2025. Tingginya biaya kesehatan dalam penelitian ini karena memperhitungkan adanya kematian prematur penduduk yang diakibatkan oleh pencemaran gas  $\text{SO}_2$ .

Menurut Zaini (2008) yang mengutip perhitungan kasar dari World Bank tahun 1994 pada kasus kota Jakarta, jika konsentrasi partikulat dapat diturunkan sesuai standar WHO, diperkirakan tiap tahunnya akan terjadi penurunan terhadap: 1400 kasus kematian bayi prematur; 2000 kasus rawat di RS, 49.000 kunjungan ke gawat darurat; 600.000 serangan asma; 124.000 kasus bronchitis pada anak; 31 juta gejala penyakit saluran pernapasan serta peningkatan efisiensi 7,6 juta hari kerja yang hilang akibat penyakit saluran pernapasan, dan ini merupakan suatu jumlah yang sangat signifikan dari sudut pandang kesehatan masyarakat. Dari sisi ekonomi pembiayaan kesehatan akibat polusi udara di Jakarta diperkirakan mencapai hampir 220 juta dolar pada tahun 1999.

### **2.3. Penyebab Pencemaran dan Upaya Mengatasinya Menggunakan RTH**

Menurut PE-UI (2004) sekitar 70 persen dari pencemaran udara diakibatkan oleh transportasi. Menurut Zaini (2008), kendaraan bermotor di Indonesia merupakan sumber utama polusi udara di perkotaan. Zaini juga mengutip data World Bank yang menyatakan dalam kurun waktu 6 tahun sejak 1995 hingga 2001 terdapat pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia sebesar hampir 100 persen. Sebagian besar kendaraan bermotor tersebut menghasilkan emisi gas buang yang merupakan polutan, baik akibat perawatan yang kurang memadai ataupun dari penggunaan bahan bakar dengan kualitas kurang baik, seperti adanya Pb (timbal) pada bahan bakar. World Bank juga menempatkan Jakarta menjadi salah satu kota dengan kadar polutan/partikulat tertinggi setelah Beijing, New Delhi dan Mexico City.

Data BPS Jakarta (2007) menyatakan bahwa Jakarta pada tahun 2006 terdapat 7,967 juta kendaraan bermotor yang lalu-lalang setiap hari di sepanjang jalan. Jumlah tersebut meliputi motor sebanyak 5,310 juta, mobil penumpang 1,835 juta, truk 504.727 unit, dan bus 317.050 unit. Kendaraan bermotor ini mengemisikan gas-gas yang merupakan pencemar udara, seperti CO (karbon monoksida), HC (hidrokarbon), NO<sub>x</sub> (nitrogen oksida), SO<sub>2</sub> (sulfur dioksida), Pb (timbal), CO<sub>2</sub> (karbon dioksida), dan debu atau partikulat.

Selain diakibatkan oleh meningkatnya transportasi, penurunan kualitas udara Jakarta juga dapat dikaitkan dengan berkurangnya RTH. Menurut Suara Pembaharuan (2008) pada rencana induk Jakarta tahun 1965-1985 terdapat 37,2 persen atau 241,8 kilometer persegi RTH dipersiapkan untuk Ibukota Jakarta dan jumlah ini sangat ideal. Namun, pada 1971 Gubernur Ali Sadikin melepaskan 13 hektar RTH Senayan untuk pembangunan hotel dalam rangka Konferensi Pariwisata Asia Pasifik. Tahun 1984, RTH di Jakarta hanya tersisa 28,8 persen. Tahun 1985-2005 meski dikatakan cukup ideal dengan 26,1 persen sampai 31,5 persen RTH, namun adanya pembangunan perumahan di Pantai Indah Kapuk, Taman Anggrek, Hotel Atlet Century, Plaza Senayan, dan Hotel Mulia semakin mengurangi luas RTH Jakarta. Tahun 2000-2010 hanya 13,94 persen RTH yang tersisa dan dinyatakan sebagai kondisi tidak ideal. Sedangkan menurut Antara (2007) telah terjadi pengurangan 4.000 hektar RTH pada tahun 2000 sampai dengan 2005 di Jakarta.

Menurut Widyawati, *et al.* (2006) hasil penelitian Puslitbang Jalan Departemen PU menunjukkan bahwa tanaman-tanaman yang terdapat di RTH dapat mereduksi polusi udara kota sekitar 5 hingga 45 persen. Penurunan polusi udara oleh tumbuhan dapat terjadi karena setiap saat tumbuh-tumbuhan berfotosintesis dengan mereaksikan gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dengan menghasilkan gas oksigen (O<sub>2</sub>) ke udara dan zat-zat organik. Setiap jam seluas 1 hektar daun-daun hijau menyerap 8 kg gas CO<sub>2</sub> yang ekuivalen dengan gas CO<sub>2</sub> yang dihembuskan oleh nafas sekitar 200 orang dalam waktu yang sama. Dari data kuantitatif yang dikemukakan oleh Irwan dan Zoer'aini (1997) ini terlihat betapa pentingnya peranan tumbuhan hijau bagi mahluk hidup di dunia ini. Data ini diperkuat oleh Bappenas (2007) yang menyatakan satu hektar RTH mampu menghasilkan 0,6 ton oksigen. Jumlah tersebut dapat dikonsumsi 1.500 penduduk per hari, mengurangi suhu 5-

8 Celsius, dan meredam kebisingan 25-80 persen, serta menyerap gas polutan 75-80 persen.

Penelitian Djamal Irwan (1994, dalam Irwan dan Zoer'aini, 1997) menunjukkan bahwa hutan kota dapat menurunkan kadar debu sebesar 46,13% di siang hari pada permulaan musim hujan. Penelitian juga telah dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi dari Departemen Kimpraswil (Badan Litbang, Kimpraswil, ....) mengenai dampak tanaman pinggir jalan terhadap pengurangan polutan yang berupa gas  $\text{NO}_x$ , CO dan  $\text{SO}_2$ .

Selain dapat mengabsorpsi dan mengadsorpsi polusi debu dan gas di udara, tanaman juga dapat mengurangi kebisingan. Beberapa penelitian di Amerika (Irwan dan Zoer'aini, 1997) menyatakan bahwa pengurangan kebisingan yang disebabkan oleh kendaraan yang berkecepatan tinggi dan truk di daerah pedesaan dicapai dengan hasil terbaik melalui penanaman pohon dan semak selebar 20 – 30 meter dan penyangga tepinya 16 – 20 meter dari pusat jalur lalu lintas terdekat. Deretan pusat pohon dengan ketinggian minimal 14 meter. Menurut Irwan dan Zoer'aini (1997) hutan dapat menyerap 6 – 8 desibel suara per 30 m pada frekuensi sekitar 1000 cps (cycles/putaran per second/detik). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa hutan kota dapat menurunkan kebisingan sebesar 18,94% pada siang hari diawal musim hujan.

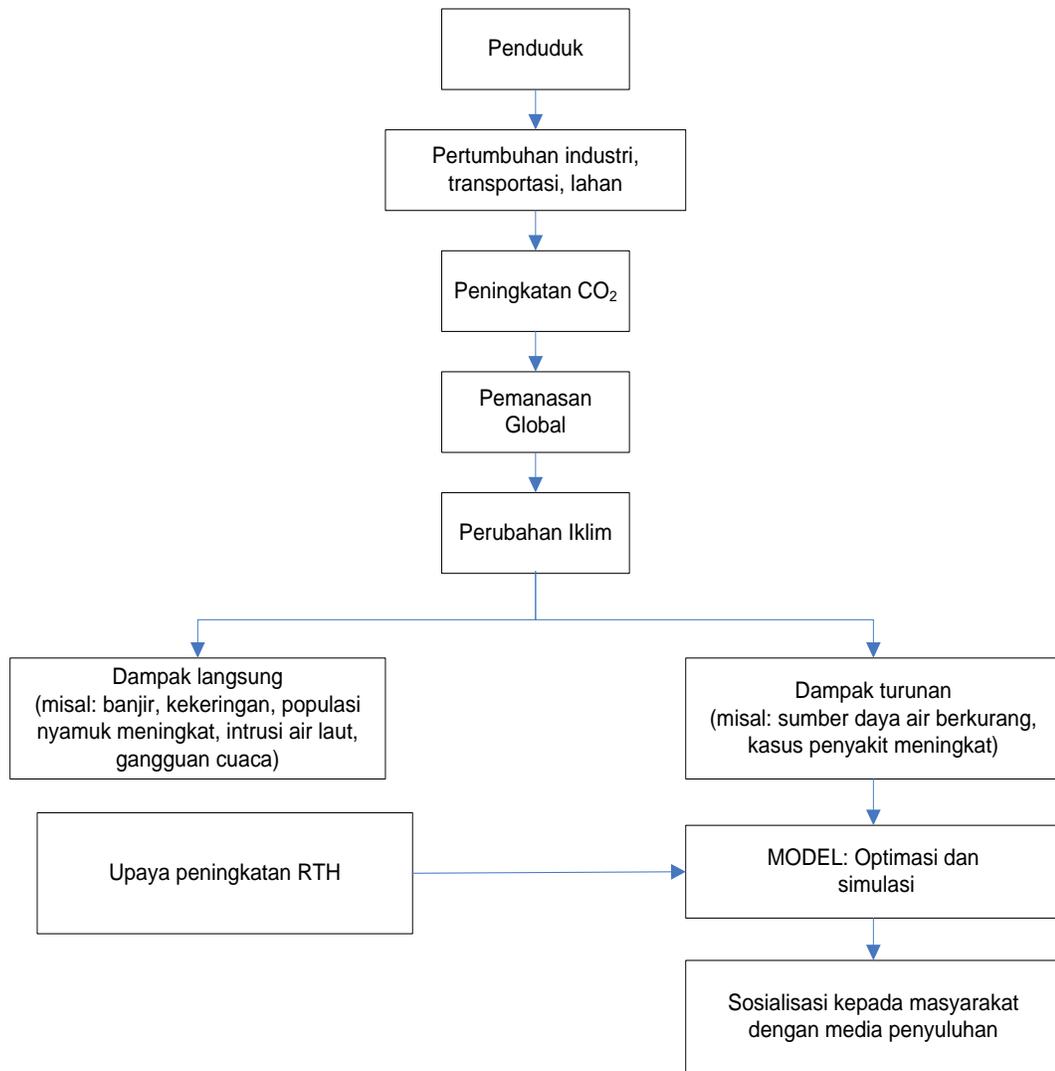
Di samping mengurangi kebisingan, ternyata sebatang pohon yang terisolir akan menguapkan air sekitar 400 Liter/hari, jika air tanah cukup tersedia (Kramer dan Kozlowski, dalam Irwan dan Zoer'aini, 1997). Hutan kota yang cukup bervariasi tumbuhannya juga dapat meningkatkan kelembaban udara sampai dengan 3,48% (Irwan dan Zoer'aini, 1997). Telah dijelaskan bahwa kelembaban udara ini sangat berkaitan dengan suhunya.

Suhu udara pada daerah bervegetasi lebih nyaman daripada daerah yang tidak ditumbuhi tanaman. Wenda (dalam Departemen Kehutanan RI, 2002) telah melakukan pengukuran suhu dan kelembaban udara di beberapa daerah kota Bogor. Penelitian Koto tahun 1991 (dalam Departemen Kehutanan RI, 2002) di sekitar Gedung Manggala Wanabakti – Jakarta Pusat juga menyimpulkan bahwa hutan memiliki suhu udara paling rendah dibandingkan taman parkir, padang rumput dan gedung beton.

## BAB III. METODE PENELITIAN

### 3.1. Kerangka Berpikir

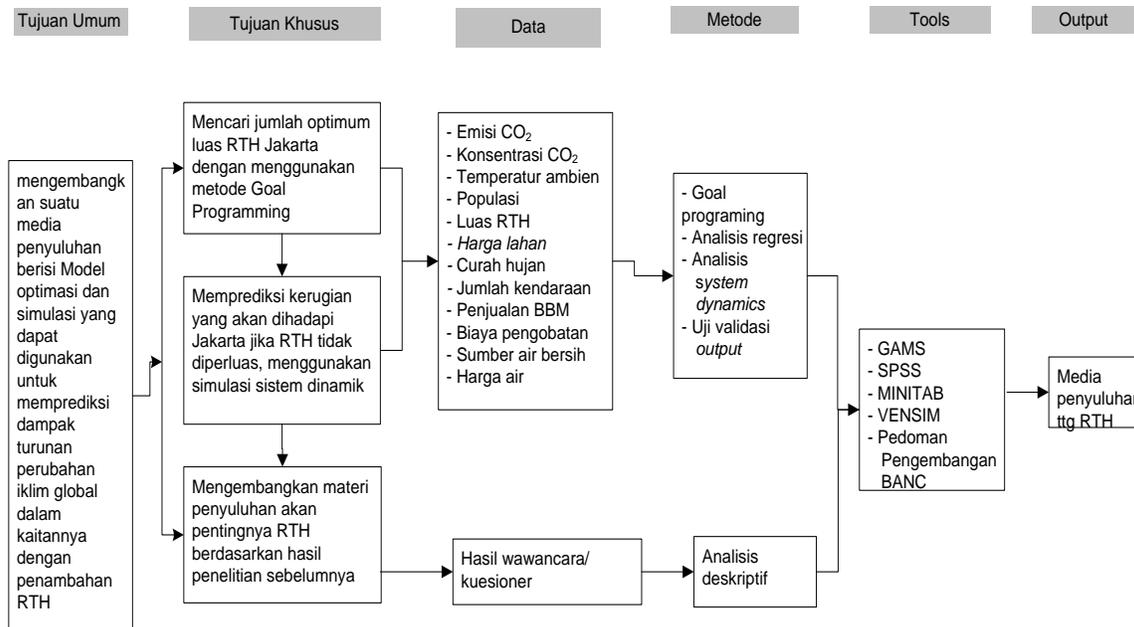
Di kota besar penambahan penduduk akan mengakibatkan terjadinya peningkatan industri, kebutuhan lahan perumahan dan aktivitas publik, serta transportasi. Yang juga menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan energi. Tentu saja, kesemua hal tersebut akan menaikkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer, menyebabkan pemanasan global yang akan diikuti pula dengan perubahan iklim dan pada akhirnya menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan. Perubahan iklim akan memberikan dampak langsung maupun dampak turunan, misalnya menurunnya produktivitas perikanan, sumber air bersih yang berkurang, menurunnya produktivitas pertanian, dan pangan. Semua dampak turunan ini akan mengakibatkan terganggunya kegiatan ekonomi. Dampak perubahan iklim ini dicoba untuk diminimalisir dengan meningkatkan luas RTH. Berapa jumlah optimal RTH di Jakarta agar dampak perubahan iklim minimal akan dianalisis dengan model optimasi menggunakan metode *Goal Programming*. Seberapa besar konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer yang mungkin terjadi dan dampak turunan yang diakibatkan perubahan iklim serta upaya meminimalisir dampak dapat disimulasikan dalam model sistem dinamik yang akan dibangun. Selanjutnya model optimasi dan model simulasi tersebut akan dituangkan dalam suatu media penyuluhan sebagai alat sosialisasi kepada masyarakat (Gambar 1).



Gambar 1. Kerangka berpikir penelitian

### 3.2. Desain Penelitian

Tujuan, data, metode, dan alat yang dipergunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Desain Penelitian

Berdasarkan tujuan umum, maka ada 3 (tiga) tujuan khusus yang dapat diuraikan. Pertama adalah mencari jumlah optimum luas RTH Jakarta dengan menggunakan metode *Goal Programming*. Hasil dari analisis optimasi dan data time series digunakan sebagai dasar merupakan dasar untuk memprediksi kerugian yang akan dihadapi Jakarta jika RTH tidak diperluas, menggunakan simulasi sistem dinamik. Selanjutnya, hasil model optimasi dan simulasi sistem dinamik ini menjadi dasar dari pembuatan media penyuluhan.

### 3.3. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Universitas Terbuka (Pusat). Penelitian dibagi dalam 2 tahap. Tahap pertama mulai dari Februari 2012 hingga Oktober 2012, dengan pelaporan beserta revisinya dilaksanakan pada November dan Desember 2012. Tahap Kedua dilaksanakan mulai dari Februari 2013 hingga Oktober 2013, dengan pelaporan beserta revisinya dilaksanakan pada November dan Desember 2013.

### **3.4. Subyek Penelitian**

Subyek penelitian adalah luas RTH, nilai lahan dan kondisi lingkungan yang difokuskan pada kondisi iklim yang terdapat pada lokasi penelitian dan dampak yang diakibatkan perubahan iklim. Subyek penelitian dimulai dari kondisi dan luas RTH yang ada, nilai jual dan nilai sewa lahan, lalu dampak terjadinya perubahan iklim, yaitu minimnya sumber air bersih dan pencemaran udara.

Lokasi penelitian adalah DKI Jakarta. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa Jakarta merupakan ibu kota negara, dan memiliki sistem pendataan yang cukup baik.

### **3.5. Metode Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan dengan metode pengumpulan data sekunder. Data sekunder tersebut didapat dari BPN (Badan Pertanahan Nasional), BPS (Badan Pusat Statistik), Departemen Perindustrian, Transportasi, Pertanian, Kesehatan, dan Energi serta BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). Data yang dikumpulkan merupakan data time series selama minimal 10 tahun. Data penelitian ini antara lain adalah:

- jumlah penduduk
- laju pertumbuhan penduduk
- luas RTH
- nilai jual/sewa lahan
- curah hujan
- suhu
- transportasi
- energi
- kondisi udara ambien
- sumber air bersih
- kasus penyakit

### 3.6. Model Optimasi

Model optimasi yang dikembangkan dengan metode *goal programming* (GP), yaitu metode yang digunakan untuk menghubungkan antara tujuan (*objective*) dan hambatan (*constraint*) yang tidak seluruhnya lengkap (Trick, 1996). Tujuan dari metode GP adalah untuk meminimalkan deviasi dari multi tujuan terhadap performans relatifnya.

GP dirumuskan dalam konteks masalah linier programming, tetapi prinsip-prinsipnya dibangun melalui masalah yang bersifat non linier. Menurut Thompson dan Thore (1992) linier GP dapat dirumuskan sebagai:

$$\sum_{i=1}^k a_{ij} x_j = g_i + g_i^+ - g_i^- \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana:

- $a_{ij}$  = jumlah unit input
- $x_j$  = jumlah unit produk
- $g_i$  = *goal* atau target dari variabel yang ingin dicapai, misalnya target luas lahan yang digunakan untuk RTH
- $g_i^+$  = ekses performans relatif terhadap *goal*, misalnya penalti akibat kelebihan CO<sub>2</sub> yang diemisikan
- $g_i^-$  = defisit performans relatif terhadap *goal*, misalnya penalti karena kekurangan dana untuk memperluas RTH
- $i$  dan  $j$  = bilangan bulat yang menyatakan tujuan ke  $i$  dan  $j$

Dalam penelitian ini, persamaan di atas dapat disederhanakan untuk menyatakan jumlah penalti minimal yang akan diperoleh, menjadi:

$$\text{Min } (qA)x + Mg^+ + Ng^- \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana:

- $qA$  = jumlah input
- $x$  = biaya per satuan input
- $M$  = biaya penalti per satuan kelebihan CO<sub>2</sub>
- $N$  = biaya kerugian per satuan biaya perluasan lahan RTH

dengan batasan:

$g^+ \cdot g^- = 0$  yang berarti kedua deviasi tidak boleh positif secara bersamaan

$x, g^+, g^- \geq 0$  yang berarti jumlah produk dan kedua deviasi tidak boleh bernilai negatif

Pengembangan model optimasi dilakukan dengan metode *Goal Programming*, menggunakan perangkat lunak GAMS atau *general algebraic modelling system* (Dellink, 2004 dan Rosenthal, 2007). Model optimasi yang dikembangkan dengan metode *goal programming* bersifat statis, sedangkan dampak lingkungan bersifat dinamis.

Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 1. Data yang dikumpulkan merupakan data *time series* selama tahun 2000-2010. Data tersebut antara lain adalah:

1. Jumlah penduduk = 8.524.152 orang, adalah jumlah penduduk DKI tahun 2010 yang diregistrasi tiap pertengahan tahun.
2. Luas RTH = 65.093.568 m<sup>2</sup> atau 9,84% luas wilayah DKI Jakarta seperti yang dinyatakan oleh (Bowo, 2011).
3. Nilai jual lahan per m<sup>2</sup> = Rp. 2.000.000,00 merupakan harga terendah dari kisaran harga lahan di DKI Jakarta yang dinyatakan oleh Nugroho (2012).
4. Transportasi (jumlah kendaraan) = 11,997,519 (jumlah kendaraan yang diregistrasi di DKI Jakarta tahun 2010).
5. Energi (jumlah penjualan BBM) = 11.661.356 ton/bulan, yang dirata-rata berdasarkan data BPS tahun 2002-2010.

Data tersebut diolah untuk diinputkan ke dalam model. Selain data tersebut, model juga menggunakan data dan asumsi dari hasil-hasil penelitian terdahulu, seperti tertera dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Matriks data sebagai rujukan pengembangan model optimasi

Produk	X	$g_1$	$g_2$	Eksisting	Satuan
Luas RTH	1	1	0	65093568	m <sup>2</sup>
CO <sub>2</sub>	825	0	-1	159675000	kg/hari
Harga		2	0,12		juta rupiah

Keterangan tabel:

- Produk (X): Lahan RTH seluas 1 m<sup>2</sup> akan mengabsorpsi gas CO<sub>2</sub> sebesar X kg (825 kg) per hari (diolah berdasarkan Bappenas, 2007).
- Eksisting: Luas RTH yang sekarang ada di DKI Jakarta (Bowo, 2011) yaitu 9,84% atau 65.093.568 m<sup>2</sup>.  
 CO<sub>2</sub> adalah jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan oleh penduduk, kendaraan bermotor, dan penjualan BBM (data dihitung berdasarkan Warlina, dkk. 2009).  
 Emisi CO<sub>2</sub> dari jumlah penduduk per hari adalah: jumlah penduduk x (0,6/1500) x 44/32. Angka 44/32 adalah perbandingan berat molekul (BM) CO<sub>2</sub> terhadap BM O<sub>2</sub>.  
 Rata-rata emisi Hidrokarbon (HC) dari kendaraan = emisi HC (kg/tahun)/jumlah kendaraan = 58,402.  
 Emisi CO<sub>2</sub> dari kendaraan = 44/16 x emisi HC. Asumsi BBM rata-rata mempunyai rantai C sebanyak 8, BBM dikonversi ke CO<sub>2</sub> = (1 mol BBM = 114 gr; 1 mol CO<sub>2</sub> = 44; BJ BBM = 0,8).  
 Berat BBM = penjualan BBM x 0,8. Emisi CO<sub>2</sub> dari BBM = berat BBM x 44/114. Total emisi CO<sub>2</sub> = Emisi CO<sub>2</sub> dari penduduk + Emisi CO<sub>2</sub> dari kendaraan + Emisi CO<sub>2</sub> dari BBM = 159.675.000 kg.
- Harga: menyatakan harga tiap penambahan satuan luas RTH, dan abatemen akibat kelebihan CO<sub>2</sub> per ton
  - Harga lahan 1 m<sup>2</sup> (Rp. 2 juta) ditentukan berdasarkan harga yang relatif rendah (Nugroho, 2012).
  - Biaya abatemen akibat kelebihan CO<sub>2</sub> diasumsikan sebagai biaya pengobatan akibat polusi udara adalah Rp. 0,12 juta atau

Rp.120.000,00 per hari (biaya pengobatan tanpa rawat inap, menurut Fatmawati, 2010).

Tabel 3.1 memperlihatkan jenis data yang digunakan dalam model optimasi untuk menganalisis luas RTH optimal yang dapat digunakan sebagai sumber udara dan air bersih agar biaya abatement kelebihan CO<sub>2</sub>-nya minimal. Berdasarkan data pada Tabel 3.1 dikembangkan persamaan matematik untuk mencari jumlah RTH maksimal berdasarkan rumus (2.1) sebagai berikut:

$$\text{Jumlah emisi CO}_2 \text{ maksimal} = \text{target CO}_2 + \text{surplus emisi} - \text{defisit RTH} \dots\dots\dots (3.1)$$

Jumlah emisi CO<sub>2</sub> maksimal dari persamaam (3.1) akan memberikan penalti (biaya abatement polutan atau biaya kesehatan) minimal yang diturunkan dari rumus (2.2), yaitu:

$$\text{Penalti Minimal} = \text{Min (RTH)} * \text{Harga lahan per m}^2 + \text{biaya penalti kelebihan emisi CO}_2 + \text{defisit RTH} \dots\dots\dots (3.2)$$

Persamaan matematik yang dikembangkan dan nilai-nilai pada matriks Tabel 3.1 diolah untuk memperoleh nilai optimal dari luas RTH, dengan emisi CO<sub>2</sub> di bawah target dengan menggunakan perangkat lunak GAMS (*General Algebraic Modelling System*) yang dapat diunduh gratis dari <http://www.gams.com/>. GAMS merupakan bahasa pemrograman, sehingga untuk menggunakannya diperlukan penulisan program sebagai *input file*, dengan memasukkan nilai-nilai pada matriks data (Tabel 3.1) beserta persamaan matematiknya (Dellink, 2004 dan Rosenthal, 2007).

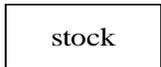
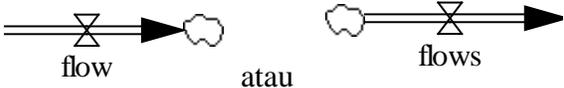
Sebagai penyempurnaan model optimasi, dilakukan pengembangan model estimasi dengan menggunakan metode simulasi sistem dinamik.

### **3.6. Model simulasi *System Dynamics***

Pengembangan model estimasi menggunakan metode simulasi sistem dinamik yang dikembangkan menggunakan perangkat lunak VENSIM (Pedercini, 2003 dan Barney *et al.*, 1998). Sistem dinamik digunakan untuk menganalisis perubahan perilaku sejalan dengan perubahan waktu dari sebuah sistem yang kompleks (Ford, 1999), dalam hal ini perubahan lingkungan dan ekonomi yang disebabkan adanya perubahan iklim yang dicoba diatasi dengan Ruang Terbuka Hijau (RTH). Melalui simulasi sistem dinamik dapat dilihat perubahan dalam sistem, terutama untuk mengkaji efektivitas

perencanaan dari kebijakan yang dibuat. Penggunaan sistem dinamik dalam penelitian-penelitian telah banyak dilakukan. Pembuatan model dan simulasi model sebagai bagian dari metode sistem dinamik juga menerapkan beberapa tahapan kegiatan yaitu pembuatan konsep, pembuatan model, simulasi model, validasi model, serta analisis kebijakan (Muhammadi *et al.*, 2001).

Identifikasi permasalahan dan timbulnya suatu masalah menjadi tahap pertama untuk membangun pola yang disebut mental model. Kemudian dibangun model komputer yang dituangkan dalam diagram alir atau *stock flow diagram* (SFD). Semua data baik yang diperoleh secara primer maupun sekunder menjadi masukan bagi SFD. Data yang dimasukkan ke SFD dapat berupa *stock (level)*, *flow (rate)*, *auxillary*, dan tetapan (konstanta). *Stock* dan *Flow* dapat dianalogikan dengan bak air dan keran air. *Stock* atau *level* dapat digambarkan sebagai bak air atau suatu tempat penampungan. Sedangkan *flow* atau *rate* dilukiskan sebagai keran air atau aliran keluar/masuk dari dan ke *stock*. Cara pengosongan/pengisian *stock* digambarkan dengan *link*-nya terhadap berbagai variabel atau konstanta. Berbagai notasi yang terdapat dalam diagram *stock flow* yang dibangun dengan perangkat lunak Vensim (Repenning, 1998) adalah:

1. *Stock* : 
2. *Flow* : 
3. Hubungan (*link*) : 
4. Variabel : merupakan variabel atau konstanta yang digunakan

Setiap *stock* dan variabel serta satuan yang digunakan dalam pengembangan model simulasi sistem dinamik di-*input*-kan berdasarkan persamaan-persamaan yang telah diperoleh sebelumnya, berdasarkan data sekunder yang diolah secara statistik. Setelah pengembangan model simulasi sistem dinamik, selanjutnya dilakukan simulasi dengan variabel waktu (*time range*). Model selanjutnya divalidasi untuk membandingkan

hasil simulasi dengan karakteristik data empirik, sehingga model dapat dinyatakan sebagai model yang valid.

Salah satu bentuk validasi adalah validasi *output* atau validasi kinerja yang merupakan keyakinan sejauhmana kinerja model sesuai dengan kinerja sistem nyata, yaitu dengan memvalidasi kinerja model dengan data empiris. Salah satu cara uji validasi *output* adalah uji statistik dengan AME (*Absolute Means Error*) untuk melihat penyimpangan nilai simulasi dan nilai empiris, dengan persamaan (3.3) yang digunakan:

$$AME = \left| \frac{(X_s - X_E)}{X_E} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$X_s$  = rata-rata hasil simulasi

$X_E$  = rata-rata data empirik

Batas penyimpangan yang dapat diterima adalah  $\leq 10\%$  untuk penelitian dalam laboratorium (hampir semua variabel dapat dikontrol) dan  $\leq 30\%$  untuk penelitian lapangan (Muhammadi *et al.*, 2001).

### 3.7. Media Penyuluhan

Media penyuluhan yang digunakan untuk menyadarkan masyarakat dapat dikatakan sebagai teknologi pembawa pesan (informasi) yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan penyuluh dalam memberikan materi penyuluhan, atau sebagai sarana fisik untuk menyampaikan isi/materi penyuluhan. Secara umum, manfaat media dalam proses penyuluhan adalah memperlancar interaksi antara penyuluh dan masyarakat, yang pada akhirnya akan membantu meningkatkan penyadaran masyarakat secara optimal. Sedangkan secara khusus manfaat media dalam penyuluhan adalah penyampaian materi dapat diseragamkan, proses penyuluhan menjadi lebih menarik, proses penyuluhan kepada masyarakat menjadi lebih interaktif, jumlah waktu untuk membahas suatu materi dapat dikurangi, kualitas penyuluhan dapat ditingkatkan, proses penyuluhan dapat terjadi di mana saja dan kapan saja, sikap positif masyarakat terhadap materi penyuluhan dapat ditingkatkan, peran penyuluh dapat berubah ke arah yang lebih positif. Penggunaan media dalam penyuluhan tidak bermaksud mengganti cara penyuluhan tatap-muka yang baik, melainkan untuk melengkapi penyuluh dalam menyampaikan informasi.

Heinich, *et. al*, (1996) menyatakan terdapat berbagai bentuk dan jenis media penyuluhan yang dapat dipilih, antara lain: CAI (*Computer Assisted Instruction*), OHP/OHT, *Power Point*, Video, Audio, Media Interaktif, *Slide*, Foto, dan Poster. Media interaktif merupakan media penyuluhan yang dapat digunakan masyarakat untuk melakukan suatu interaksi dalam penyuluhan. Salah satu media interaktif yang dapat digunakan dalam penyuluhan adalah media berbasis komputer. Penyajian materi penyuluhan dalam penelitian ini didesain dalam media cetak dan non-cetak. Untuk materi dalam media non-cetak informasi disajikan secara interaktif agar masyarakat dan penyuluh dapat memberikan jawaban atau isian untuk kemudian memberikan *feedback* secara langsung.

Penggunaan berbagai media (multi media) dalam penyuluhan dapat memberikan beberapa fleksibilitas bagi masyarakat, diantaranya fleksibel dalam tempat dan waktu serta efektif dari sisi pelibatan banyak indera dalam proses penyadaran sehingga diharapkan mampu meningkatkan pemahaman. Di samping itu, multi media juga fleksibel dalam hal menyesuaikan dengan kecepatan belajar seorang. Media komputer dapat dimanfaatkan untuk melakukan pencatatan kemajuan belajar masing-masing individu sehingga diperoleh informasi kelompok individu yang belajar dengan cepat, sedang, atau lambat, yang pada akhirnya dapat diberikan perlakuan yang berbeda sesuai dengan kebutuhan kelompok yang telah diidentifikasi.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Kondisi Umum Lokasi Penelitian**

Kota Jakarta merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata sekitar 7 meter di atas permukaan laut, terletak pada posisi 6°12' Lintang Selatan dan 106°48' Bujur Timur. Provinsi DKI Jakarta memiliki luas wilayah daratan 661,52 km<sup>2</sup> dan wilayah lautan seluas 6.977,5 km<sup>2</sup>. Di sebelah utara kota Jakarta membentang pantai dari barat sampai ke timur sepanjang sekitar 35 km, yang menjadi tempat bermuaranya 9 buah sungai dan 2 buah kanal, sementara di sebelah selatan serta timur berbatasan dengan wilayah Provinsi Jawa Barat (Bogor dan Depok, serta Bekasi), sebelah barat dengan

Provinsi Banten (Tangerang), sedangkan di sebelah utara berbatasan dengan Laut Jawa. Peta Provinsi DKI Jakarta dapat dilihat pada gambar berikut.

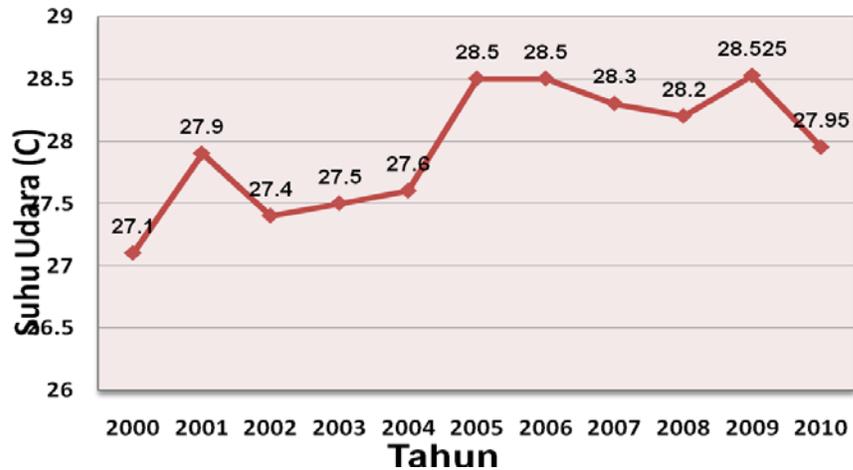


Sumber: online [www.jakarta.go.id](http://www.jakarta.go.id)

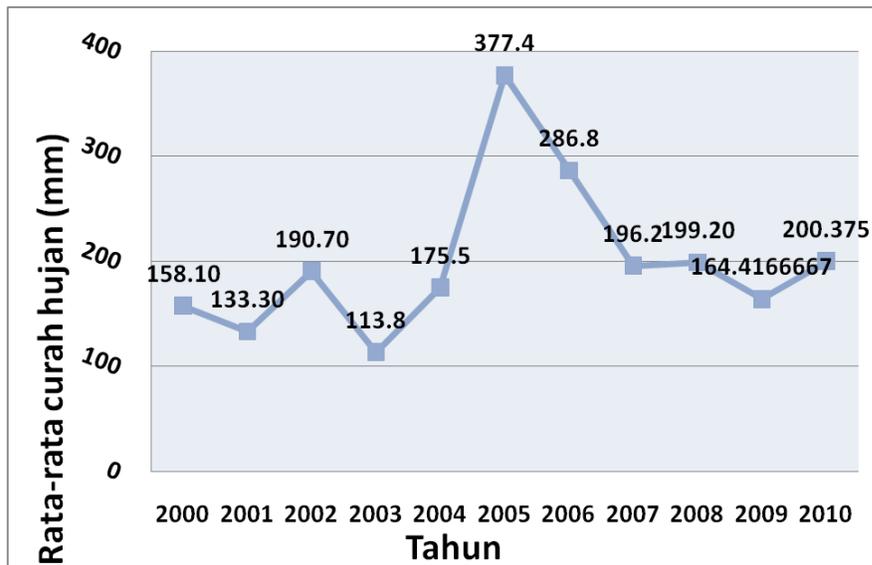
Gambar 4.1. Peta Provinsi DKI Jakarta

## 4.2 Hasil dan Pembahasan

Secara umum keadaan iklim kota Jakarta adalah panas dengan suhu maksimum udara berkisar  $33,8^{\circ}\text{C}$  pada siang hari dan suhu minimum udara berkisar  $23,1^{\circ}\text{C}$  pada malam hari. Curah hujan rata-rata tahun 2004 mencapai 4,808 mm, dengan tingkat kelembaban udara mencapai 78,4% dan kecepatan angin rata-rata mencapai 3,4 m/detik. Kondisi suhu dan curah hujan rata-rata di Jakarta secara umum dapat diperlihatkan pada Gambar 4.2. Pada Gambar 4.2.b. terlihat tahun 2005 terjadi anomali curah hujan di Jakarta, hal ini sesuai dengan pendapat Susandi (2011).



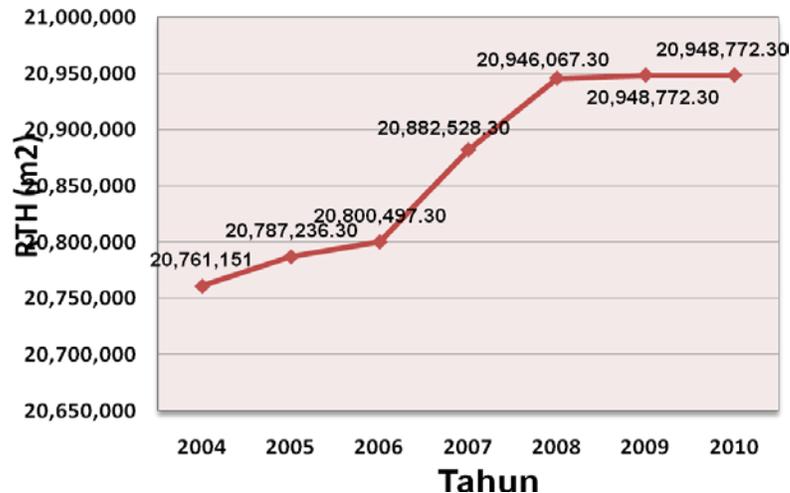
Gambar 4.2.a. Rata-rata Suhu di Jakarta



Gambar 4.2.b. Rata-rata Curah Hujan di Jakarta

Di daerah selatan dan timur Jakarta terdapat rawa atau situ. Kedua wilayah ini cocok digunakan sebagai daerah resapan air, dengan iklimnya yang lebih sejuk sehingga ideal dikembangkan sebagai wilayah permukiman penduduk. Adapun wilayah Jakarta Barat masih tersedia cukup lahan untuk dikembangkan sebagai daerah perumahan. Kegiatan industri lebih banyak terdapat di Jakarta Utara dan Jakarta Timur, sedangkan untuk kegiatan usaha dan perkantoran banyak terdapat di Jakarta Barat, Jakarta Pusat dan Jakarta Selatan.

Di semua wilayah Jakarta terjadi mutasi atau alih fungsi lahan untuk keperluan perumahan dan industri, sehingga mempengaruhi jumlah luas RTH (Gambar 4.3).



Gambar 4.3. Perubahan Luas RTH di Jakarta

Perubahan penggunaan lahan di DKI Jakarta juga terjadi pada pengembangan perumahan di daerah yang jauh dari kegiatan usaha, perkantoran dan industri yang menyebabkan kemacetan. Kemacetan terjadi karena pembangunan kawasan perumahan banyak yang tidak disertai dengan pembangunan jalan raya dan pembangunan sistem transportasi. Akibatnya, masyarakat yang tinggal di kawasan perumahan terpaksa menggunakan kendaraan pribadi karena ketiadaan sistem angkutan yang memadai. Pergerakan kendaraan dalam jumlah yang besar secara bersamaan mengakibatkan kemacetan.

Kemacetan menyebabkan peningkatan pembakaran bahan bakar dan akan meningkatkan pencemaran udara, yang pada akhirnya menimbulkan hujan asam. Kemacetan selain disebabkan oleh terjadinya alih fungsi lahan juga oleh adanya peningkatan jumlah penduduk, yang akan dibahas pada bagian berikut.

#### 4.2.1. Penduduk

Jumlah penduduk DKI Jakarta pada tahun 2010, berdasarkan data yang diperoleh dari BPS, tercatat sebanyak 9,607 juta jiwa. Dengan luas wilayah 661,52 km<sup>2</sup> berarti kepadatan penduduknya mencapai 14.524 orang tiap km<sup>2</sup>, sehingga menjadikan provinsi ini sebagai wilayah terpadat penduduknya di Indonesia. Jumlah penduduk cenderung

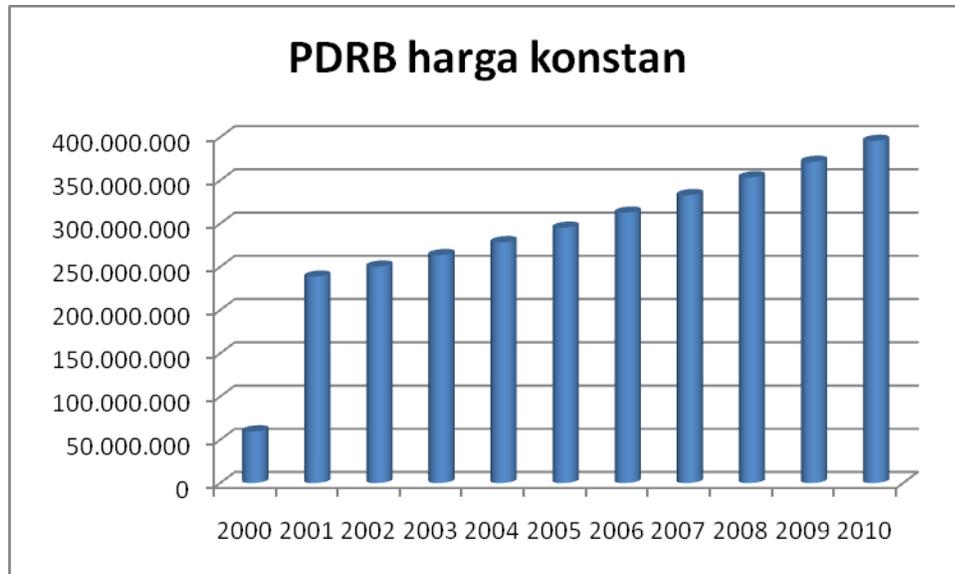
selalu meningkat (Gambar 4.4), karena sebagai ibu kota negara, DKI Jakarta menawarkan lebih banyak peluang untuk meningkatkan kualitas hidup, pekerjaan, pendidikan dan hiburan dibandingkan dengan provinsi lain, sehingga makin banyak penduduk dari provinsi lain yang tertarik untuk berurbanisasi ke Jakarta. Urbanisasi ini akan meningkatkan kebutuhan perumahan, lapangan pekerjaan dan transportasi, yang pada akhirnya juga akan meningkatkan pencemaran udara. Kebutuhan pekerjaan serta transportasi akan dibahas pada sub-bab berikut, mengenai kondisi ekonomi dan sosial.



Gambar 4.4. Jumlah Penduduk di Provinsi DKI Jakarta

#### 4.2.2. Kondisi Ekonomi dan Sosial

Perekonomian DKI Jakarta meningkat dari tahun ke tahun, seperti terlihat pada Gambar 4.5. Tahun 2001 Produk Domestik Bruto (PDRB) Provinsi DKI Jakarta sebesar Rp. 239 triliun dan meningkat terus sampai tahun 2009 sebesar Rp. 368 triliun.

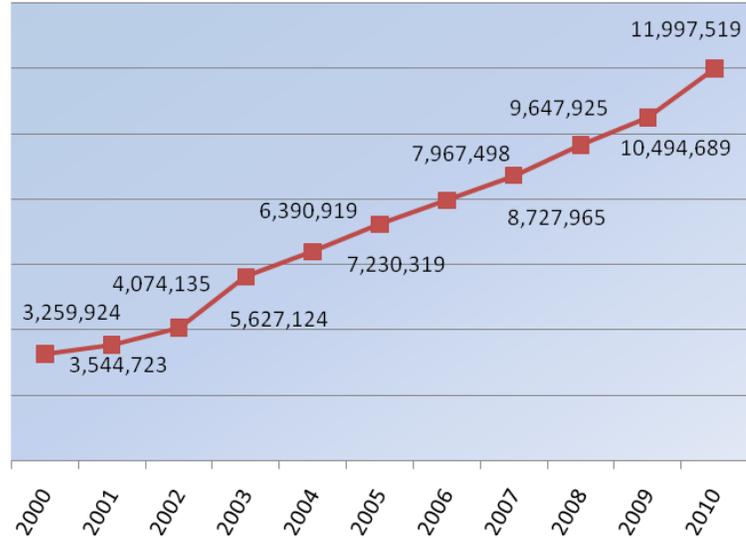


Gambar 4.5. Pendapatan Agregat Penduduk Provinsi DKI Jakarta

Tahun 2000 PDRB DKI Jakarta sebesar Rp.60 triliun, jauh di bawah PDRB tahun 2001. Hal ini disebabkan perhitungan PDRB tahun 2001-2009 didasarkan pada harga konstan tahun 2000, sedangkan perhitungan PDRB tahun 2000 berdasarkan harga konstan tahun 1995.

Gambar 4.5 memperlihatkan terjadinya peningkatan PDRB) penduduk Provinsi DKI Jakarta yang cukup signifikan. Peningkatan nilai PDRB menyebabkan terjadinya perubahan gaya hidup penduduk DKI Jakarta sebagai dampak dari meningkatnya pendapatan. Meningkatnya pendapatan ditambah dengan berbagai kemudahan yang diberikan perbankan telah menyebabkan masyarakat DKI Jakarta berlomba untuk membeli mobil dan sepeda motor. Bagi sebagian masyarakat, kepemilikan kendaraan bermotor dianggap sebagai peningkatan status sosial. Data peningkatan jumlah kendaraan bermotor di DKI Jakarta dapat dilihat pada Gambar 4.6.

## Transportasi (kendaraan)

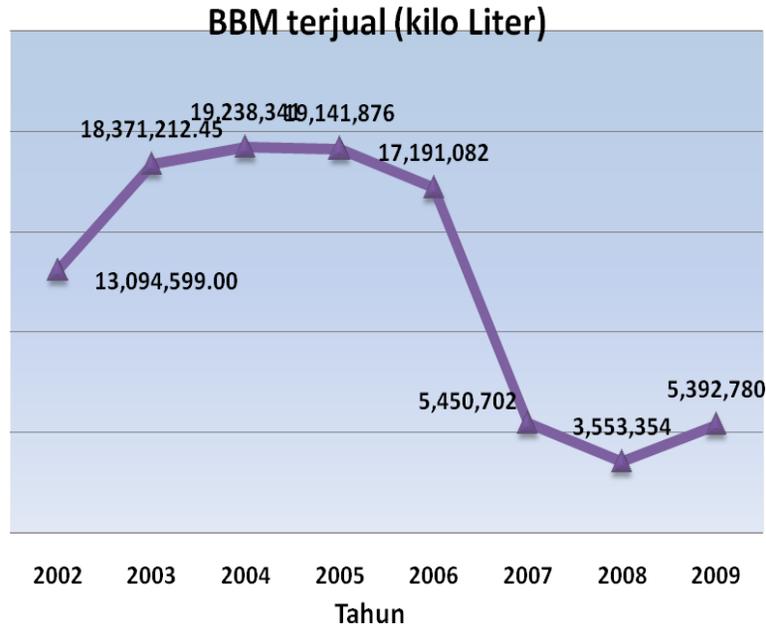


Gambar 4.6. Jumlah Kendaraan Bermotor Yang Terdaftar di DKI Jakarta  
(Tidak Termasuk TNI, Polri dan Corps Diplomatik)

Penambahan jumlah kendaraan bermotor di DKI Jakarta tentunya akan meningkatkan kebutuhan energi berupa bahan bakar dan pada akhirnya akan menambah pencemaran udara. Kebutuhan energi penduduk DKI Jakarta akan dibahas pada bagian berikut.

### 4.2.3. Kebutuhan energi

Provinsi DKI Jakarta sangat bergantung pada sumber energi yang berasal dari minyak bumi. Gambar 4.7 memperlihatkan data penjualan BBM di DKI Jakarta.



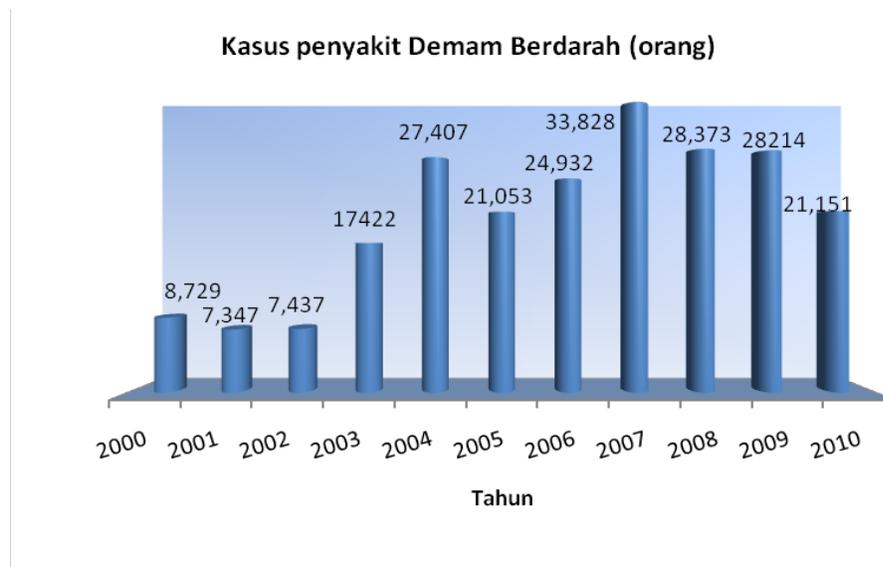
Gambar 4.7. Volume Penjualan BBM di DKI Jakarta

Terjadi penurunan volume penjualan BBM yang drastis dari tahun 2006 ke 2007. Berdasarkan pengumpulan data dari BPS hal ini disebabkan mulai tahun 2007 telah dilakukan diversifikasi jenis BBM, yaitu adanya Pertamina, Pertamina Plus, Pertamina Dex, dan Biopertamax. Meskipun secara total volume penjualan BBM menurun, tetapi bukan berarti konsumsi BBM berkurang, karena jumlah kendaraan terus meningkat (Gambar 4.6). Adanya diversifikasi jenis BBM tersebut dapat mengurangi volume penjualan BBM, karena BBM jenis baru dapat menghasilkan energi yang sama dengan jenis BBM lama dengan volume yang lebih kecil.

Meskipun volume penjualan BBM menurun pada tahun 2007, namun demikian penjualan BBM terus meningkat. Dengan kondisi tersebut, dapat dimengerti mengapa pencemaran udara di DKI Jakarta juga meningkat. Selain dari jenis bahan bakar, jenis bahan baku dan teknologi yang digunakan pada kendaraan maupun proses industri sangat mempengaruhi emisi pencemar. Idealnya pemerintah dapat memberikan informasi mengenai kandungan polutan pada berbagai jenis bahan bakar. Bahkan pemerintah dapat mengeluarkan kebijakan yang mengatur penggunaan bahan bakar bagi kendaraan dan sektor industri guna mengurangi pencemaran udara. Perlu diingat bahwa kebijakan

pemerintah untuk mengatur bahan bakar yang digunakan tidak hanya untuk mengurangi pencemaran udara semata, tetapi juga untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Selama ini Pemda DKI Jakarta terus melakukan upaya untuk menyusun tata ruang perkotaan yang tepat dan memikirkan bagaimana memberi ruang hidup, makanan, air bersih, pelayanan kesehatan, obat-obatan, pendidikan, pekerjaan, perumahan dan prasarana transportasi serta berbagai kebutuhan lainnya kepada penduduk DKI Jakarta. Namun berbagai upaya Pemda DKI ini belum sepenuhnya dapat dirasakan oleh masyarakat, salah satu contohnya adalah masih berfluktuasinya kasus demam berdarah yang melanda penduduk DKI Jakarta (Gambar 4.8).



Gambar 4.8. Kasus Penyakit Demam Berdarah

Selain berdampak pada penyakit demam berdarah, dampak pencemaran udara akibat penggunaan BBM dan minimnya RTH, yang pada akhirnya juga akan menurunkan kesejahteraan masyarakat belum begitu disadari. Karena itu penelitian ini berupaya memberikan gambaran berapa luas optimum RTH bagi DKI Jakarta agar dampak pencemaran udara yang ditimbulkan akibat emisi CO<sub>2</sub> minimal.

#### 4.2.4. Pengembangan Model Optimasi

Pengembangan model optimasi untuk menghitung berapa luas optimum RTH bagi DKI Jakarta agar dampak pencemaran udara yang ditimbulkan akibat emisi CO<sub>2</sub> minimal diawali dengan menetapkan beberapa asumsi. Dalam penelitian ini emisi CO<sub>2</sub> di Jakarta

diasumsikan hanya berasal dari penduduk, kendaraan dan pembakaran BBM, yang nilai totalnya sebesar 159.675.000 kg/hari. Guna menyerap emisi CO<sub>2</sub> ini diperlukan tanaman yang memiliki hijau daun yang akan mengabsorpsi CO<sub>2</sub> dalam proses asimilasinya.

Luas RTH digunakan untuk menyatakan seberapa banyak tanaman yang terdapat di wilayah DKI Jakarta. Bappenas (2007) menyatakan satu hektar RTH mampu menghasilkan 0,6 ton oksigen (O<sub>2</sub>), yang merupakan hasil dari proses fotosintesis penyerapan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O) oleh hijau daun (klorofil). Dengan mengkonversi berat O<sub>2</sub> menjadi berat CO<sub>2</sub> berdasarkan reaksi fotosintesis diperoleh nilai 825 kg CO<sub>2</sub> per hari yang dapat diserap oleh tiap m<sup>2</sup> RTH.

Emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari berbagai kegiatan di DKI Jakarta tidak dapat diabsorpsi seluruhnya oleh tanaman yang berada di Jakarta, akibatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara ambien meningkat terus dan terjadi pemanasan lokal yang ditandai dengan peningkatan suhu rata-rata. Hal ini dibuktikan dengan data *time series* yang diperoleh dari BPS (Gambar 4.2), yang menyatakan bahwa suhu rata-rata Jakarta tahun 2000 adalah 27,1 °C dan pada tahun 2010 sebesar 27,95 °C. Penambahan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara tidak hanya akan meningkatkan suhu, tetapi juga akan menyebabkan perubahan iklim dan memicu berbagai penyakit.

Perubahan iklim di Jakarta dapat ditandai dari meningkatnya curah hujan rata-rata dari tahun ke tahun (Gambar 4.2), di tahun 2000 sebesar 158,1 mm meningkat terus hingga 240,45 tahun 2010. Sedangkan peningkatan kasus penyakit dapat diketahui dari kasus demam berdarah (Gambar 4.8) tahun 2000 tercatat sebanyak 8.729 dan berfluktuasi dari tahun ke tahun hingga tahun 2010 tercatat 21.151 kasus. Hubungan antara peningkatan suhu udara dengan kasus penyakit dikemukakan oleh Junaedy (2008) yang menyatakan bahwa naiknya suhu udara akan menyebabkan masa inkubasi nyamuk semakin pendek, sehingga menyebabkan meluasnya berbagai macam penyakit. Akibatnya, penyakit yang ditularkan oleh nyamuk akan berlangsung lebih cepat. Penyebaran penyakit ini umumnya terjadi di daerah Tropis, seperti demam berdarah, diare, malaria dan leptospirosis karena bertambahnya populasi serangga, terutama nyamuk, sebagai vektor penyakit. Pada penelitian ini kasus penyakit tidak diperinci satu-per-satu tetapi diasumsikan dengan biaya pengobatan sebesar Rp.120.000 per hari (Fatmawati, 2010).

Seluruh angka yang dihasilkan diolah dengan perangkat lunak GAMS dalam *Input file*, setelah di-*run* hasil pengolahannya berupa *output file*, yang dapat dilihat pada Lampiran 2. Hasil pengolahan GAMS menyatakan bahwa luas RTH optimum yang diperlukan oleh DKI adalah 129.800.045 m<sup>2</sup>, atau 19,62% dari luas wilayah. Luas optimum ini dihitung berdasarkan biaya yang harus dikeluarkan untuk memperluas RTH sebesar Rp. 2 juta tiap m<sup>2</sup> dan biaya abatement yang harus dikeluarkan jika emisi gas CO<sub>2</sub> yang tidak dapat diabsorpsi oleh RTH menyebabkan masyarakat terkena penyakit. Untuk meningkatkan luas RTH dari 9,84% yang sekarang telah ada menjadi 19,62% luas optimum diperlukan biaya sebesar Rp.129,413 Triliun.

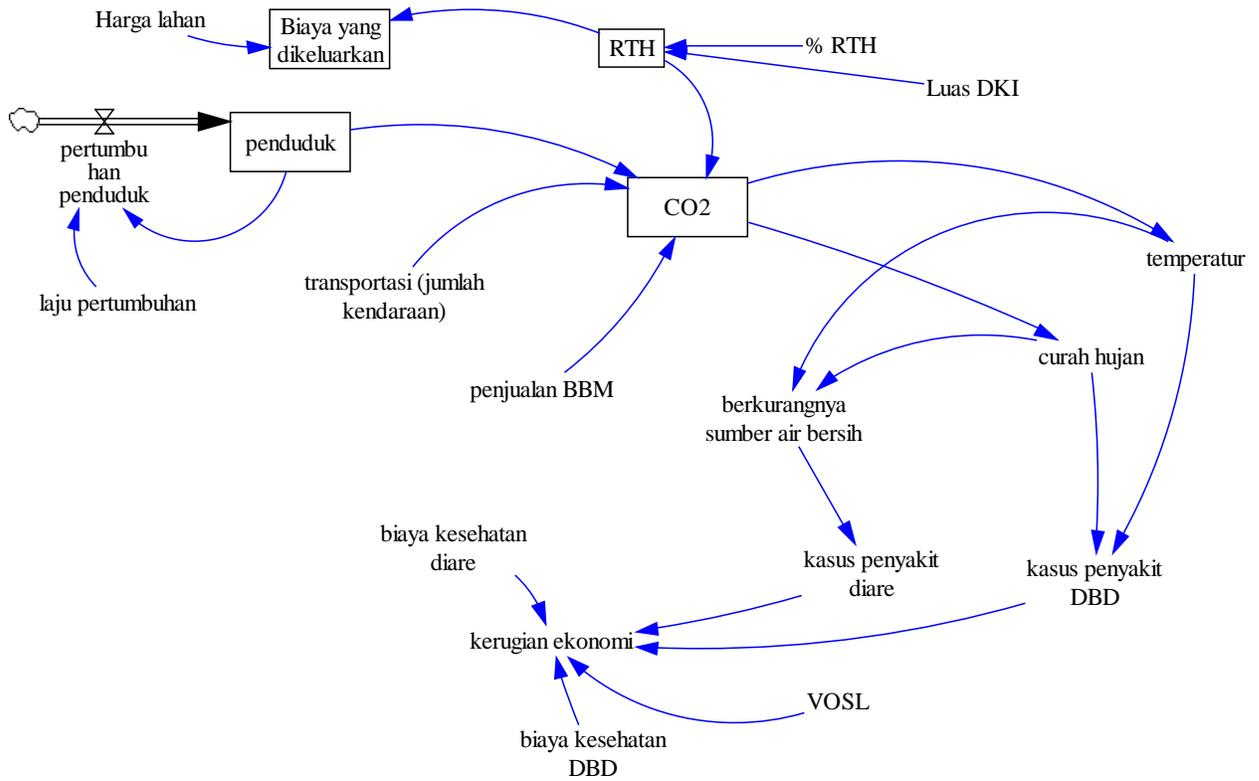
Biaya yang sangat besar ini tidak dimiliki oleh Pemda DKI Jakarta, karena itu Pemda DKI Jakarta hanya menargetkan 13,94% luas RTH (Bowo, 2011). Target Pemda DKI dan hasil penelitian ini masih jauh di bawah luas RTH yang ditetapkan dalam Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007, yaitu 30%. Dengan luas RTH yang dimiliki DKI Jakarta saat ini adalah 65.093.568 m<sup>2</sup> atau 9,84% luas wilayahnya, maka target Pemda DKI berniat meningkatkan jumlah RTH-nya sampai seluas 95.450.000 atau 13,94% artinya DKI Jakarta harus menambah RTH seluas 35.913.200 m<sup>2</sup>. Sementara itu di tahun 2012 Pemda DKI hanya akan menambah RTH seluas 22,8 hektar (Bowo, 2011). Jika tiap tahun penambahan RTH hanya sekitar 22,8 hektar, maka target untuk memperoleh luas RTH 13,94% luas wilayah akan dicapai dalam waktu 15 tahun. Dalam kurun waktu 15 tahun masyarakat harus membayar biaya kesehatan sebagai akibat yang ditimbulkan oleh tingginya konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara.

Hasil penelitian ini menyatakan bahwa RTH optimum yang perlu dimiliki DKI Jakarta seluas 19,62% dari luas wilayah, angka ini tidak terlalu jauh dari target jangka panjang Pemda DKI. Karena Pemda DKI Jakarta memang merasa tidak mungkin memiliki RTH seluas 30% luas wilayah, seperti tuntutan Undang Nomor 26 Tahun 2007. Hal ini diungkapkan oleh Gubernur bahwa Pemprov DKI Jakarta hanya mampu menyediakan 20% RTH, yang dibagi 14% publik (13,94% Pemda) dan 6% privat (Bowo, 2011). Artinya perluasan RTH DKI Jakarta sampai sekitar 20% luas wilayah tidak sepenuhnya harus ditanggung oleh Pemda DKI Jakarta, tetapi juga menjadi tanggung jawab seluruh warga untuk meningkatkan luas RTH agar kesehatan kita semua tidak terganggu akibat tingginya konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara.

#### 4.2.5. Pengembangan Model Simulasi

Pengembangan model simulasi didasarkan atas analisis hubungan dengan logika dan berdasarkan Stock Flow Diagram (SFD):

1. kadar CO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh jumlah penduduk (laju pertumbuhan penduduk), jumlah kendaraan, penjualan BBM, RTH ( $CO_2 = a * \text{penduduk} + b * \text{kendaraan} + c * \text{BBM} - d * \text{RTH}$ )
  2. curah hujan, suhu udara dipengaruhi oleh kadar CO<sub>2</sub>
  3. Kasus DBD dipengaruhi oleh suhu udara, curah hujan, kadar CO<sub>2</sub>
  4. Penyakit diare dipengaruhi oleh suhu udara, kurangnya air bersih, kadar CO<sub>2</sub>
  5. Penyakit malaria dipengaruhi oleh suhu udara, .....
- 
1. kadar CO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh jumlah penduduk (laju pertumbuhan penduduk), jumlah kendaraan, penjualan BBM, RTH
    - Kaitan jumlah penduduk terhadap kadar CO<sub>2</sub>
    - Kaitan jumlah kendaraan terhadap kadar CO<sub>2</sub>
    - Kaitan penjualan BBM terhadap kadar CO<sub>2</sub>
    - Kaitan RTH terhadap kadar CO<sub>2</sub>
    - Kaitan jumlah penduduk (laju pertumbuhan penduduk), jumlah kendaraan, penjualan BBM, RTH terhadap kadar CO<sub>2</sub>
  2. curah hujan, suhu udara dipengaruhi oleh kadar CO<sub>2</sub>
    - kadar CO<sub>2</sub> terhadap curah hujan
    - kadar CO<sub>2</sub> terhadap suhu udara
  3. Kasus DBD dipengaruhi oleh suhu udara, curah hujan, kadar CO<sub>2</sub>
    - Suhu udara terhadap penyakit DBD
    - Curah hujan terhadap penyakit DBD
    - kadar CO<sub>2</sub> terhadap penyakit DBD
    - kadar CO<sub>2</sub> , Suhu udara , Curah hujan terhadap penyakit DBD
  4. Penyakit diare dipengaruhi oleh suhu udara, kurangnya air bersih, kadar CO<sub>2</sub>
    - Suhu udara terhadap penyakit diare
    - kurangnya air bersih terhadap penyakit diare
    - kadar CO<sub>2</sub> terhadap penyakit diare
    - Suhu udara, kurangnya air bersih, kadar CO<sub>2</sub> terhadap penyakit diare



Gambar 4.9. Stock Flow Diagram

Dari hasil simulasi

#### 4.2.6. Pengembangan Media Penyuluhan

Media video interaktif yang dikembangkan berdasarkan naskah (Lampiran 2) dan hasil simulasi

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengembangan model optimasi dengan metode *goal programming* dalam penelitian ini menghasilkan bahwa jumlah optimal luas RTH bagi DKI Jakarta adalah sebesar 129.800.045 m<sup>2</sup>, atau 19,62% dari luas wilayah. Angka ini mendekati target jangka panjang Pemda DKI Jakarta untuk memiliki RTH seluas 20% wilayah. Perluasan RTH dari yang sekarang ada, yaitu 9,84%, tidak sepenuhnya harus ditanggung oleh Pemda, tetapi juga menjadi tanggung jawab masyarakat. Kesadaran untuk memperluas RTH oleh masyarakat dapat terlaksana, jika masyarakat menyadari pentingnya RTH bagi kita semua. Terlebih lagi jika masyarakat diberi informasi bahwa kerugian juga harus dibayar oleh seluruh masyarakat berupa biaya kesehatan, akibat tingginya konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara yang tidak dapat diabsorpsi oleh RTH yang sekarang ada.

Dari pengembangan model simulasi sistem dinamik yang telah memperhitungkan dinamika lingkungan diperoleh bahwa

Hasil pengembangan model simulasi sistem dinamik yang dituangkan dalam media video interaktif untuk penyuluhan terlihat bahwa

Penelitian ini baru memperhitungkan biaya kesehatan yang harus ditanggung masyarakat akibat tingginya konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara, padahal selain mengakibatkan penyakit, perubahan iklim yang diakibatkan oleh CO<sub>2</sub> juga mengakibatkan tingginya curah hujan yang berdampak banjir. Penelitian lanjutan yang memperhitungkan kerugian akibat banjir dan dampak negatif lain dari minimnya RTH perlu dilakukan, sebagai bahan untuk menyadarkan masyarakat dan pengambil kebijakan akan pentingnya RTH.

Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa kemampuan RTH menyerap CO<sub>2</sub> berbanding lurus dengan luas RTH, kenyataannya kemampuan tiap jenis tanaman yang tumbuh di RTH berbeda. Karena itu perlu penelitian lanjutan mengenai jenis tanaman apa yang paling banyak menyerap CO<sub>2</sub>, agar konsentrasi CO<sub>2</sub> DKI Jakarta dapat diminimalkan. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk menyadarkan masyarakat agar mereka menanam pada setiap bidang lahan yang dapat ditanami, bahkan menanam tanaman tanpa perlu lahan, seperti pada pot.

## Daftar Pustaka

- Antara. (2007). Iklim berubah, Jakarta benar-benar kian panas.  
<http://www.antara.co.id/arc/2007/8/27/iklim-berubah-jakarta-benar-benar-kian-panas/>. 15 Sept 2008.
- Badan Litbang, Kimpraswil. (...). Pengaruh Tanaman Terhadap Polutan Lalu Lintas.  
[http://www.kimpraswil.go.id/balitbang/pustrans/ttg\\_trans/ttg\\_trans\\_reduksi\\_lja.htm](http://www.kimpraswil.go.id/balitbang/pustrans/ttg_trans/ttg_trans_reduksi_lja.htm). 09 Maret 2004.
- Bappenas. (2007). Hijau Kotaku Biru Langitku.  
<http://udarakota.bappenas.go.id/view.php?page=newsdetil&id=55>. 19 Sept 2008.
- Barney G.O, Qu W, dan Bogdonoff P. 1998. *Sustainable Development for Italy, Part I: An Integrated Model-Based Report*.  
<http://www.millenniuminstitute.net/publications/ItalyReport.pdf>. [02 Jan 2006].
- BPS Jakarta. (2007). Jakarta Dalam Angka Tahun 2007.  
<http://bps.jakarta.go.id/JDA/JDA2006/JDA2007.pdf>. 30 Juni 2008.
- Dellink R. 2004. *GAMS for environmental-economic Modelling*. Wageningen University.  
<http://www.sls.wau.nl/enr/gams/GAMSreader1.pdf>. [12 April 2006].
- Departemen Kehutanan RI. (2002). HUTAN KOTA: Untuk Pengelolaan dan Peningkatan Kualitas Lingkungan Hidup.  
<http://mofrinet.cbn.net.id/informasi/hutkot/hutkot.htm>. 12 Maret 2004.
- Ford, A. (1999). *Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems*. USA: Island Press.
- Heinich, R., Molenda, M., Russell, J., dan Smaldino, S. 1996. *Instructional Media and Technologies for learning*. New Jersey: Prentice Hall.
- Irwan, D. dan Zoer'aini. (1997). *Tantangan Lingkungan dan Lansekap Hutan Kota*, Jakarta: PT Pustaka CIDESINDO.
- Joga, N. (2003). Krisis Lingkungan dan Inkonsistensi Pengembangan RTH Kota.  
<http://library.pelangi.or.id/?pilih=arsip&topik=7&nid=149>. 19 Sept 2008.
- Listyarini, S., Tarumingkeng, R.C., Fauzi, A., dan Hutagaol, P. (2007). Estimasi Nilai Penurunan Kesehatan Akibat Polusi Gas NO<sub>x</sub> di Udara DKI Jakarta. *Jurnal Matematika, Sains, dan Teknologi* (8: 109-125).
- Listyarini, S. (2008). *Model Kebijakan Untuk Pengendalian Pencemaran Deposisi Asam di Provinsi DKI Jakarta*. Bogor: Disertasi S3-IPB.
- Muhammadi, E. Aminullah, B. Soesilo. (2001). *Analisis Sistem Dinamis – Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen*. Pusat Studi Kebijakan dan Dinamika Sistem UMJ. Jakarta: UMJ Press.
- Murdiyarso, D. (2003). *Protokol Kyoto: Implikasinya bagi Negara Berkembang*. Jakarta: Kompas.
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology, third ed.*, Philadelphia: Saunders Co.
- Ostro, B. (1994). Estimating the Health Effects of Air Pollutants: A Method With an Application to Jakarta.  
[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 2006.
- Pedercini M. 2003. *Working Papers in System Dynamics*.  
<http://www.threshold21.com/BergenReview.pdf>. [28 Des 2005].
- Pengkajian Energi Universitas Indonesia (PE-UI). (2004). *Indonesia Energy Outlook and Statistics 2004*. Depok: PE-UI.

- Repenning, N. (1998). *Formulating Models of Simple Systems using Vensim PLE*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Rosenthal RE. 2007. *GAMS: A User's Guide*.  
<http://www.gams.com/docs/gams/GAMSUsersGuide.pdf>. [5 Sept 2007].
- Sinar Harapan (Kamis, 11 September 2003), *Ratusan Hektare Lahan Hijau Beralih Fungsi*, <http://www.sinarharapan.co.id/berita/0309/11/jab02.html>, dikunjungi 10/03/2004.
- Soemarwoto, O. (2001), *Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan*, Djambatan, Jakarta.
- Suara Pembaharuan. 2008. *Pengusuran, RTH dan Nasib Pedagang*.  
<http://www.suarapembaruan.com/News/2008/01/24/Jabotabe/jab06.htm>. [15 Sept 2008].
- Suharjono, H. 2008. Mengembangkan Hutan Kota di Jakarta.  
[http://mediaindonesia.com/index.php?ar\\_id=MTEwMDg=](http://mediaindonesia.com/index.php?ar_id=MTEwMDg=). [19 SEPT 2008].
- Syahril, S., Resosudarmo, B.P., dan Tomo, H.S. (2002). *Study on air quality in Jakarta, Indonesia: Future trends, health impacts, economic value and policy options*. ADB
- Thompson GL, dan Thore S. 1992. *Computational Economics: Economic Modeling with Optimization Software*. South San Francisco: The Scientific Press.
- Trick MA. 1996. *Goal Programming*. <http://mat.gsia.cmu.edu/mstc/multiple/node2.html>. [20 Juli 2005].
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. 2007. [http://www.bktrn.org/public/UU\\_No26\\_2007.pdf](http://www.bktrn.org/public/UU_No26_2007.pdf). dikunjungi 15/09/ 2008.
- Warlina, L., Listyarini, S., Sugiarti, H., Kusumaningrum, E.N., dan Siregar, H. (2009). *Model Dampak Perubahan Iklim terhadap Sumberdaya Air dan Kasus Penyakit (Studi Kasus DKI Jakarta)*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Widyawati, Setiadi H., dan Rahmawati F., 2006. *Upaya Penataan Ruang Perkotaan yang Komprehensif berdasarkan Kondisi Kualitas Udara*.  
<http://www.geografiana.com/makalah/fisik/kondisi-udara-sebagai-cermin-penataan-ruang-kota-3>. [19 Sept 2008].
- Zaini, J. 2008. *Dampak Polusi Udara Terhadap Kesehatan*. <http://io.ppi-jepang.org/article.php?id=244>. [6 Okt 2008]



LAMPIRAN 1. Data yang digunakan dalam penelitian

No	Variabel (satuan)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	jumlah penduduk (orang)	7.578.701	7.423.379	7.461.472	7.456.931	7.471.866,00	8.842.346	8.979.716	9.064.591	9.146.181	9.223.000	9.607.787
2	luas RTH (m <sup>2</sup> )	1.314,23	1.270,11	9.430,60	800,91	914,69	20.787.236,30	20.800.497,30	20.882.528,30	20.946.067,30	20.948.772,30	20.948.772,30
3	Rata2 curah hujan (mm)	1.897,0	1.599,0	1.599,0	2.289,0	2.106,0	4.524,0	1.680,0	2.354,0	1.909,2	1.973,0	2.404,5
4	suhu rata-rata (°C)	27,1	27,9	27,4	27,5	27,6	28,5	28,5	28,3	28,2	28,52	27,95
5	transportasi (kendaraan)	4.519.819	5.318.814	6.021.712	7.132.611	6.390.919	7.230.319	7.967.498	8.727.965	9.647.925	10.494.689	11.997.519
6	BBM terjual (Ton/bulan)	0	0	13.094,60	18.371.212,45	19.238.341	19.141.876	17.191.082	5.450.702	3.553.354	5.392.780	0
7	kasus penyakit Demam Berdarah (orang)	8.729	7.347	7.437	14.071	27.407	21.053	24.932	33.828	28.373	28.214	21.151
8	kasus penyakit Tipus/Typoid Fever (orang)	6.866	5.071	1.621	0	30.979	31.329					
9	kasus penyakit Dipteria (orang)	0	3	0	58	3	4	6	2	9	6	5

No	Variabel (satuan)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
10	PDRB ad Harga konstan 2000 (juta Rp)	59.694.419	238.656.138	250.331.157	263.624.242	278.524.823	295.270.319	312.700.301	332.971.255	353.539.057	371.469.500	395.664.500

## LAMPIRAN 2. Hasil Kompilasi GAMS

GAMS Rev 138 MS Windows 06/09/12 07:44:05 Page 1

General Algebraic Modeling System

Compilation

1 \* Green Area Model: The Jakarta Province should have an area of green space 30% (198.456.000m<sup>2</sup>),

2 \* now the area of green space in Jakarta only 9,84% ( 65.093.568 m<sup>2</sup>)

3 \* the green space expansion requires substantial funding, if green area is not expanded

4 \* the CO<sub>2</sub> concentration in the Jakarta air will increase and causes some illness and the cost of care (Rp. 120000/day)

5 \* Land prices Rp.2.000.000/m<sup>2</sup>)

6

7 SETS

8 I goals / RTH,CO<sub>2</sub>/;

9

10 PARAMETERS

11 MPENALTY(I) penalty or loss if the green area produced less than a target

12 /RTH 0

13 CO<sub>2</sub> 0.12/

14 NPENALTY(I) costs that must be incurred if the resulting of the green space on target

15 /RTH 2

16 CO<sub>2</sub> 0/

17 B(I) output per 1 m<sup>2</sup> RTH to absorb CO<sub>2</sub>

18 /RTH 1

19 CO<sub>2</sub> 825/

20 GOAL(I) target of green area to be obtained and the precise amount of CO<sub>2</sub>

21 /RTH 65093568

22 CO<sub>2</sub> 159675000/ ;

23

24 VARIABLES

25 COSTS total penalty and cost

26

27 POSITIVE VARIABLES

28 X green area result

29 GPLUS(I) excess relative to the goals

30 GMINUS(I) deficit relative to the goals;

31

32 EQUATIONS

33 OBJECTIVE function to calculate the total penalties and costs

34 DEFGOAL(I) definitions of each goal I;

35

36 OBJECTIVE.. COSTS =E= SUM(I,MPENALTY(I)\*GPLUS(I)+

37 NPENALTY(I)\*GMINUS(I));

```

38 DEFGOAL(I).. B(I)*X-GPLUS(I)+GMINUS(I) =E= GOAL(I);
39
40 MODEL RTH /ALL/;
41 SOLVE RTH USING LP MINIMIZING COSTS;

```

```

COMPILATION TIME = 0.000 SECONDS 3.2 Mb WIN213-138 Feb 03, 2004
GAMS Rev 138 MS Windows 06/09/12 07:44:05 Page 2

```

General Algebraic Modeling System

Equation Listing SOLVE RTH Using LP From line 41

---- OBJECTIVE =E= function to calculate the total penalties and costs

OBJECTIVE.. COSTS - 0.12\*GPLUS(CO2) - 2\*GMINUS(RTH) =E= 0 ; (LHS = 0)

---- DEFGOAL =E= definitions of each goal I

DEFGOAL(RTH).. X - GPLUS(RTH) + GMINUS(RTH) =E= 65093568 ;  
(LHS = 0, INFES = 65093568 \*\*\*)

DEFGOAL(CO2).. 825\*X - GPLUS(CO2) + GMINUS(CO2) =E= 159675000 ;  
(LHS = 0, INFES = 159675000 \*\*\*)

```

GAMS Rev 138 MS Windows 06/09/12 07:44:05 Page 3

```

General Algebraic Modeling System

Column Listing SOLVE RTH Using LP From line 41

---- COSTS total penalty and cost

COSTS

(.LO, .L, .UP = -INF, 0, +INF)

1 OBJECTIVE

---- X green area result

X

(.LO, .L, .UP = 0, 0, +INF)

1 DEFGOAL(RTH)

825 DEFGOAL(CO2)

---- GPLUS excess relative to the goals

GPLUS(RTH)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, +INF)

-1 DEFGOAL(RTH)

GPLUS(CO2)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, +INF)

-0.12 OBJECTIVE

-1 DEFGOAL(CO2)

---- GMINUS deficit relative to the goals

GMINUS(RTH)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, +INF)

-2 OBJECTIVE

1 DEFGOAL(RTH)

GMINUS(CO2)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, +INF)

1 DEFGOAL(CO2)

```

GAMS Rev 138 MS Windows 06/09/12 07:44:05 Page 4

```

General Algebraic Modeling System

Model Statistics SOLVE RTH Using LP From line 41  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 2 SINGLE EQUATIONS 3  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 6  
 NON ZERO ELEMENTS 9  
 GENERATION TIME = 0.016 SECONDS 3.9 Mb WIN213-138 Feb 03, 2004  
 EXECUTION TIME = 0.016 SECONDS 3.9 Mb WIN213-138 Feb 03, 2004  
 GAMS Rev 138 MS Windows 06/09/12 07:44:05 Page 5

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE RTH Using LP From line 41

S O L V E S U M M A R Y

MODEL RTH OBJECTIVE COSTS  
 TYPE LP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER CPLEX FROM LINE 41

\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION

\*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL

\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE **129800045.0909**

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.000 1000.000

ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000

GAMS/Cplex Jan 19, 2004 WIN.CP.NA 21.3 025.027.041.VIS For Cplex 9.0

Cplex 9.0.0, GAMS Link 25

Optimal solution found.

**Objective : 129800045.090909**

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU OBJECTIVE . . . 1.000

OBJECTIVE function to calculate the total penalties and costs

---- EQU DEFGOAL definitions of each goal I

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

RTH 6.5094E+7 6.5094E+7 6.5094E+7 2.000

CO2 1.5968E+8 1.5968E+8 1.5968E+8 -0.002

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- VAR COSTS -INF 1.2980E+8 +INF .

---- VAR X . 1.9355E+5 +INF .

COSTS total penalty and cost

X green area result

---- VAR GPLUS excess relative to the goals

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

RTH . . +INF 2.000

CO2 . . +INF 0.118

---- VAR GMINUS deficit relative to the goals

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

RTH . 6.4900E+7 +INF .

CO2 . . +INF 0.002

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT

0 INFEASIBLE

0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 2.2 Mb WIN213-138 Feb 03, 2004  
USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC G871201:0000CA-ANY  
Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com DC9999

LAMPIRAN 3. Naskah Video Interaktif

**NASKAH VIDEO INTERAKTIF  
RTH JAKARTA**

Judul Program : Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Jakarta untuk Meminimalisir Dampak Perubahan Iklim  
 Durasi : -  
 Penulis : Sri Listyarini, Lina Warlina, Endang Indrawati, Timbul Pardede  
 Penelaah Materi :  
 Penelaah Media : .....

No	VISUAL	AUDIO	DURASI
1	Pembukaan Tugu UT Logo UT Judul : Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Jakarta untuk Meminimalisir Dampak Perubahan Iklim  Latar Belakang: Gambar beberapa RTH di Jakarta (dari yang kondisi tidak terawat sampai kondisi baik). Misalnya Taman Suropati,	In MUSIK	
2	PRESENTER  Visual Insert gambar contoh RTH sesuai narasi presenter, dari yang terawat baik hingga yang tidak terawat.  Outline -ikuti kerangka berpikir penelitian - penduduk dst .....  - Kondisi RTH - Definisi - Fungsi RTH - dampak	Narasi: Tayangan yang baru saja Anda saksikan adalah beberapa contoh kondisi Ruang Terbuka Hijau atau yang biasa disingkat RTH di wilayah DKI Jakarta. Dari tayangan terlihat contoh RTH yang terawat dengan baik hingga yang kondisinya buruk.  Sebenarnya apakah yang disebut RTH itu?  Menurut Undang-undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang yang dimaksud dengan Ruang Terbuka Hijau (RTH) adalah area	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- perubahan iklim</li> <li>- simulasi (prediksi)</li> <li>- usaha yang dilakukan (what to do)</li> <li>- what next</li> </ul>	<p>memanjang/jalur dan/atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam.</p> <p>Dan Undang-undang ini juga mengatur bahwa proporsi RTH pada wilayah kota paling sedikit 30 (tiga puluh) persen dari luas wilayah kota.</p> <p>Sekarang kita lihat apakah luas areal untuk RTH di Jakarta, sudah sesuai dengan yang dipersyaratkan oleh Undang-undang?</p> <p>Kenyataannya di Jakarta sampai dengan tahun 2010 hanya tersisa 13,94 persen untuk RTH. Hal ini tentu saja jauh dibawah kondisi ideal.</p> <p>Mengapa Undang-Undang menetapkan proporsi luas RTH di kota yang cukup besar? Hal ini disebabkan oleh berbagai fungsi RTH.</p> <p>Fungsi RTH diantaranya adalah</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. RTH memiliki fungsi sebagai penyerap karbon-dioksida (CO<sub>2</sub>) dan penghasil Oksigen (O<sub>2</sub>). Penjelasannya sebagai berikut: Cahaya matahari dimanfaatkan oleh semua tumbuhan untuk melakukan proses fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat dan gas O<sub>2</sub> dari gas CO<sub>2</sub> dan air. Penyerapan gas CO<sub>2</sub> oleh tumbuhan ini sangat penting, karena konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang terlalu besar akan membahayakan manusia dan</li> </ol>	
--	--	---	--

		<p>hewan, serta dalam skala global akan menimbulkan efek rumah kaca</p> <p>2. Fungsi kedua dari RTH adalah sebagai penjerap dan penyerap partikel padat dari udara. Adanya areal bervegetasi di kota Jakarta menyebabkan debu yang dihasilkan dari kendaraan bermotor dapat dibersihkan oleh tajuk pepohonan. Debu yang merupakan partikel padat di lapisan biosfer bumi dapat dibersihkan oleh tumbuhan melalui proses jerapan (adsorpsi) maupun serapan (absorpsi). Permukaan daun, khususnya daun yang berbulu, mempunyai kemampuan menjerap partikel debu. Sedangkan ruang stomata (mulut daun) dapat menyerap debu.</p> <p>3. Tumbuhan di RTH juga dapat berfungsi sebagai penjerap dan penyerap partikel Timbal (Pb). Kendaraan bermotor merupakan sumber utama pencemaran Pb yang mengotori udara perkotaan.</p> <p>4. Fungsi lain dari vegetasi di RTH adalah sebagai peredam kebisingan. Pohon memiliki kemampuan meredam suara dengan cara mengabsorpsi gelombang suara melalui daun, cabang dan ranting. Jenis tumbuhan yang paling efektif untuk meredam suara adalah yang mempunyai tajuk tebal dengan daun yang rindang (Departemen Kehutanan RI, 2002).</p>	
--	--	--	--

		<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Fungsi selanjutnya dari RTH juga sebagai pengatur tata air atau pelindung lingkungan. Tentu dengan banyaknya tumbuhan maka ketersediaan air tanah akan terjaga.</li> <li>6. Tumbuhan di perkotaan juga dapat mengurangi bahaya hujan asam. Pohon dapat membantu mengatasi dampak negatif hujan asam melalui proses fisiologis tanaman yang disebut proses gutasi.</li> <li>7. Fungsi berikutnya dari RTH yang sangat penting adalah sebagai penyerap karbon-monoksida (CO). Proses pembakaran dalam kendaraan tidak selalu berlangsung dengan sempurna, sehingga kendaraan sering mengemisikan gas CO yang sangat berbahaya bagi manusia atau hewan. Mikroorganisme dan tanah di lahan yang bervegetasi dapat menyerap gas CO.</li> <li>8. Tanaman yang terdapat pada RTH juga dapat berfungsi sebagai ameliorasi iklim. Masalah yang cukup mengurangi kenyamanan di Jakarta adalah meningkatnya suhu. Perluasan RTH di Jakarta dapat digunakan untuk mengelola lingkungan kota agar pada siang hari tidak terlalu panas, sebaliknya pada malam hari dapat lebih hangat karena tajuk pepohonan dapat menahan radiasi balik (reradiasi) dari bumi (Departemen Kehutanan RI,</li> </ol>	
--	--	---	--

		<p>2002). Selain itu Irwan dan Zoer'aini (1997) menyatakan bahwa suhu juga berpengaruh terhadap kelembaban udara, sedangkan kelembaban udara menunjukkan kandungan uap air di atmosfer. Kelembaban udara berhubungan dengan kesetimbangan energi dan merupakan ukuran banyaknya energi radiasi berupa panas laten yang dipakai untuk menguapkan air yang terdapat di permukaan yang menerima radiasi. Makin banyak air yang diuapkan, makin banyak energi yang berbentuk panas laten diperlukan. Tanaman yang melakukan evapotranspirasi akan kehilangan panas laten sehingga menyebabkan suhu di sekitar tanaman menjadi lebih sejuk.</p> <p>Dengan banyaknya fungsi RTH tadi, maka kita harus berperan dalam menjaga RTH yang telah ada dan bila mungkin meningkatkan luasan RTH yang sudah ada di Jakarta.</p> <p>Kalau tadi sudah tadi sudah dijelaskan tentang berbagai fungsi RTH, sekarang kita akan membahas tentang dampak yang akan ditimbulkan apabila jumlah dan luasan RTH ternyata jauh dari kondisi ideal.</p> <p>Dampak yang sangat kita rasakan bersama adalah kondisi pencemaran udara yang kian parah tiap tahun. Di samping itu terjadinya banjir karena kurangnya vegetasi tumbuhan di</p>	
--	--	---	--

		Jakarta.	
19	<p>VIDEO: Taman-taman dengan tanaman yang melambai-lambai</p> <p>Jalan raya pada saat bebas kebdaraan bermotor</p>	<p>PRESENTER</p> <p>Adanya ruang terbuka hijau akan memberi dampak yang signifikan akan pengurangan pencemaran udara. Tanaman-tanaman tersebut dapat menyerap pencemar yang terdapat di udara.</p> <p>Sedangkan untuk hari bebas kendaran bermotor (<i>car free day</i>) tentu saja akan mengurangi polusi yang disebabkan kendaraan tersebut. Hari bebas bermotor yang sudah dicanangkan pemerintah DKI Jakarta yaitu pada setiap minggu, sebaiknya tidak saja hanya di jalan protokol, tapi dapat diperluas ke jalan lainnya.</p>	
20	PRESENTER	<p>Pemirsa sekalian, sebagai penutup dari penjelasan mengenai pentingnya Ruang Terbuka Hijau atau RTH ini, maka harus diingat bahwa RTH seharusnya dilihat dengan kaca mata yang lebih makro, agar pengelolaan lingkungan menjadi cermin politik lingkungan suatu pemerintahan yang memiliki implikasi kepada aspek sosial dan ekonomi masyarakatnya.</p> <p>Kita harus dapat menjaga lingkungan kita, agar kita dapat mewariskan lingkungan yang sehat kepada generasi mendatang .</p>	