

**LAPORAN PENELITIAN TAHAP I
HIBAH BERSAING**



**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
DESEMBER, 2012**

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 Blok 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 diajukan ke Dikti : Rp 86.000.000,-
 - b. Jumlah biaya tahun ke 1 : Rp 39.000.000,-
 - Biaya tahun ke 1 yang diajukan ke Dikti : Rp 39.000.000,-
 - Biaya tahun ke 1 dari Institusi lain : Rp 0
 - c. Jumlah biaya tahun ke 2 : Rp 47.000.000,-
 - Biaya tahun ke 2 yang diajukan ke Dikti : Rp 47.000.000,-
 - Biaya tahun ke 2 dari Institusi lain : Rp 0

Mengetahui:
Dekan FMIPA-UT

Pondok Cabe, 6 Desember 2012
Ketua Peneliti,

Dr. Nuraini Soleiman, M.Ed.
NIP. 19540730 198601 2 001

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

Dra. Endang Nugraheni, M.Ed, M.Si
NIP. 19570422 198503 2 001

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 dibiayai oleh Dikti:

- Tahun pertama : Rp 39.000.000,-
- Anggaran keseluruhan : Rp 86.000.000,-

7. Lokasi penelitian: DKI Jakarta

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

9. Institusi lain yang terlibat: tidak ada

10. Keterangan lain yang dianggap perlu: -

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 dengan peningkatan Ruang Terbuka Hijau (RTH). Berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 proporsi ideal RTH di kota besar seperti Jakarta adalah 30% dari luas daerah tersebut, tetapi sekarang RTH di Jakarta hanya 9,84%. 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 bersih. Penelitian ini bertujuan untuk mencari jumlah optimum luas RTH Jakarta. Optimasi dilakukan dengan metode Goal Programming. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa luas optimum RTH di DKI Jakarta adalah 19,62% atau 129.800.045 m². Dengan asumsi harga lahan Rp.2 juta per m², maka biaya yang harus dikeluarkan untuk meningkatkan luas RTH dari 9,84% menjadi 19,62% adalah Rp.129,413 triliun. Diharapkan temuan dalam penelitian dapat menjadi dasar kebijakan untuk perluasan RTH di Jakarta.

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, maka Laporan Penelitian Hibah Bersaing dengan judul “Pengembangan Model Optimasi Dan Simulasi Untuk Penyuluhan Tentang Ruang Terbuka Hijau di Jakarta Guna Meminimalisir Dampak Perubahan Iklim” telah dapat diselesaikan. Penulisan Laporan ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat dalam penelitian Hibah Bersaing yang didanai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dikti). Kami menyadari bahwa laporan penelitian ini belum sempurna, sehingga masih perlu perbaikan dan masukan.

Dalam kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berperan dalam penelitian yaitu:

1. Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dikti), Kemdikbud yang telah mendanai penelitian ini;
2. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Terbuka (LPPM-UT) yang telah memberi informasi dan kesempatan sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan; dan
3. Para Narasumber yang telah memberikan masukan dan perbaikan hingga penelitian ini dapat diselesaikan.

Akhir kata, kami berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya laporan penelitian ini. Semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua dalam upaya menjaga kualitas lingkungan di DKI Jakarta khususnya dan di Indonesia pada umumnya.

Tangerang, Desember 2012

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	ix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Urgensi Penelitian	2
1.4 Keluaran penelitian	3
 BAB II STUDI PUSTAKA	
2.1 Fungsi Ruang Terbuka Hijau	4
2.2 Pencemaran di DKI Jakarta	7
2.3 Penyebab Pencemaran dan Upaya Mengatasi dengan Menggunakan RTH	8
2.4 Model Optimasi	11
2.5 Model Simulasi <i>System Dynamics</i>	12
2.6 Media Penyuluhan	14
 BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Kerangka Pikir	16
3.2 Desain Penelitian	17
3.3 Tempat dan Waktu penelitian	18
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	19
3.5 Data, Asumsi dan Pengembangan Model Optimasi	19
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian	22
4.2 Hasil dan Pembahasan	23
4.2.1 Penduduk	25
4.2.2 Kondisi Ekonomi dan Sosial	26
4.2.3 Kebutuhan Energi	27
4.2.4 Pengembangan Model Optimasi	29
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	32

5.2 Saran 32

DAFTAR PUSTAKA 34

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penelitian 36
Lampiran 2 Hasil (Output) dari General Algebraic Modeling System
(GAMS) 37
Lampiran 3 Draft Artikel yang akan diterbitkan pada Jurnal
Internasional 40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Kerangka berpikir penelitian	17
Gambar 3.2	Desain Penelitian	18
Gambar 4.1	Peta Provinsi DKI Jakarta	22
Gambar 4.2a	Rata-rata suhu di Jakarta	23
Gambar 4.2b	Rata-rata Curah Hujan di Jakarta	23
Gambar 4.3	Perubahan Luas RTH di Jakarta	24
Gambar 4.4	Jumlah penduduk di DKI Jakarta	25
Gambar 4.5	Pendapatan Agregat Penduduk Prov. DKI Jakarta	26
Gambar 4.6	Jumlah Kendaraan Bermotor yang Terdaftar di DKI Jakarta	27
Gambar 4.7	Volume Penjualan BBM di Jakarta	28
Gambar 4.8	Kasus Penyakit Demam Berdarah	29

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Matriks data sebagai rujukan pengembangan model optimasi	20
-----------	--	----

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 (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 CO₂ dan meningkatkan kadar O₂ adalah dengan meningkatkan luas Ruang Terbuka Hijau (RTH).

Upaya peningkatan luas RTH di Jakarta memerlukan biaya yang tidak sedikit. Selama ini Pemerintah Provinsi (Pemprov) DKI Jakarta memperoleh dana yang cukup besar dari pajak dan retribusi serta reklame di kawasan RTH yang telah beralih fungsi menjadi areal komersial. Pemprov DKI Jakarta terus berupaya menambah ruang terbuka hijau (RTH) di wilayahnya. Saat ini luas RTH di Jakarta baru sebesar 9,84% dari total luas wilayah (Bowo, 2011). Untuk mencapai target luas RTH 30% (Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007), Pemprov DKI Jakarta hanya mampu menyediakan 20% RTH, yang dibagi 14% publik dan 6% privat. Pada tahun 2012 Pemprov DKI Jakarta menargetkan dapat menambah RTH seluas 22,8 hektar, atau sekitar 1% (Bowo, 2011).

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, dengan menggunakan simulasi sistem dinamik.
3. Mengembangkan materi penyuluhan akan pentingnya RTH berdasarkan hasil penelitian pada poin 1 dan 2.

Pada tahap awal (tahun pertama) penelitian ini akan menjawab tujuan penelitian poin 1. Pengembangan model simulasi sistem dinamik dan materi penyuluhan yang merupakan tujuan ke 2 dan 3 dari penelitian ini akan dilaksanakan pada tahap berikutnya (tahun kedua).

1.3. Urgensi Penelitian

2. Pentingnya dilakukan penelitian ini didasarkan pada kondisi bahwa 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.
3. 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, sehingga 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. Selain itu, 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 makalah yang dipresentasikan pada seminar dan publikasi ilmiah, 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% dari luas wilayah kota. Menurut Joga (2003) Pemprov DKI Jakarta hanya menargetkan RTH seluas 13,94% (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 (CO₂) yang semakin meningkat dengan meningkatnya

kebutuhan transportasi dan industri di kota besar seperti Jakarta. Meningkatnya jumlah gas CO₂ secara global telah menjadi keprihatinan dunia, yang dijabarkan dalam konvensi lingkungan hidup sedunia di Jepang pada tahun 1997 dan menghasilkan Protokol Kyoto (Murdiyarso, 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 H₂O dan CO₂, dengan bantuan sinar matahari dan enzim menjadi zat organik yang berupa karbohidrat dalam bentuk glukosa (C₆H₁₂O₆) dan gas O₂ (Odum, 1971). Seperti kita ketahui gas O₂ sangat dibutuhkan untuk pernafasan, sedangkan glukosa (C₆H₁₂O₆) 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).

Ketidastabilan 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, CO₂, O₃ (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 H₂SO₄ atau HNO₃ bila sampai di permukaan daun akan mengalami reaksi kimia. Asam seperti H₂SO₄ yang turun bersama hujan akan bereaksi dengan Ca (kalsium) yang terdapat pada permukaan daun membentuk garam CaSO₄ 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 (CO₂) dan penghasil Oksigen (O₂). Seperti telah dijelaskan sebelumnya, cahaya matahari dimanfaatkan oleh semua tumbuhan untuk melakukan proses fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat dan gas O₂ dari gas CO₂ dan air. Penyerapan gas CO₂ oleh tumbuhan ini sangat penting, karena konsentrasi gas CO₂ 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 (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 SO_2 dan 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 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: 1.400 kasus kematian bayi prematur; 2.000 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. Kasus-kasus 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 Mengatasi dengan Menggunakan RTH

Menurut Pengkajian Energi Universitas Indonesia (PE-UI,2004) sekitar 70% 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%. 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 (Bappenas, 2007).

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_x (nitrogen oksida), SO₂ (sulfur dioksida), Pb (timbal), CO₂ (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% atau 241,8 km² 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%. Tahun 1985-2005 meski dikatakan cukup ideal dengan 26,1% sampai 31,5% 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 % 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- 45%. Penurunan polusi udara oleh tumbuhan dapat terjadi karena setiap saat tumbuh-tumbuhan berfotosintesis dengan mereaksikan gas CO₂ dan H₂O dengan menghasilkan gas oksigen (O₂) ke udara dan zat-zat organik. Setiap jam seluas 1 hektar daun-daun hijau menyerap 8 kg gas CO₂ yang ekuivalen dengan gas CO₂ 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 makhluk 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 untuk 1.500 penduduk per hari, mengurangi suhu 5-8°C, dan meredam kebisingan 25-80%, serta menyerap gas polutan 75-80%.

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, tahun ...) mengenai dampak tanaman pinggir jalan terhadap pengurangan polutan yang berupa gas NO_x, CO dan SO₂.

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/second* atau putaran per detik). Hasil penelitian 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.

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

$$\sum_{j=1}^k a_{ij} x_j = g_i + g_i^+ - g_i^- \dots\dots\dots (2.1)$$

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 CO₂ 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 2.1 dapat disederhanakan untuk menyatakan jumlah penalti minimal yang akan diperoleh, menjadi:

$$\text{Min } (qA)x + Mg^+ + Ng^- \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

- qA = jumlah input

- x = biaya per satuan input
- M = biaya penalti per satuan kelebihan CO₂
- N = biaya kerugian per satuan biaya perluasan lahan RTH

dengan batasan:

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

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

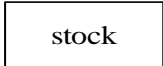


Pengembangan model optimasi dilakukan dengan metode *Goal Programming*, menggunakan perangkat lunak GAMS atau *general algebraic modelling system* (Dellink, 2004 dan Rosenthal, 2007). Model optimasi yang dikembangkan dengan metode *goal programming* bersifat statis, sedangkan dampak lingkungan bersifat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

2.5. 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. *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* :  atau
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:

$$AME = \left| \frac{(X_s - X_E)}{X_E} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

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).

2.6. 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 kesadaran masyarakat secara optimal. 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 masukan 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.

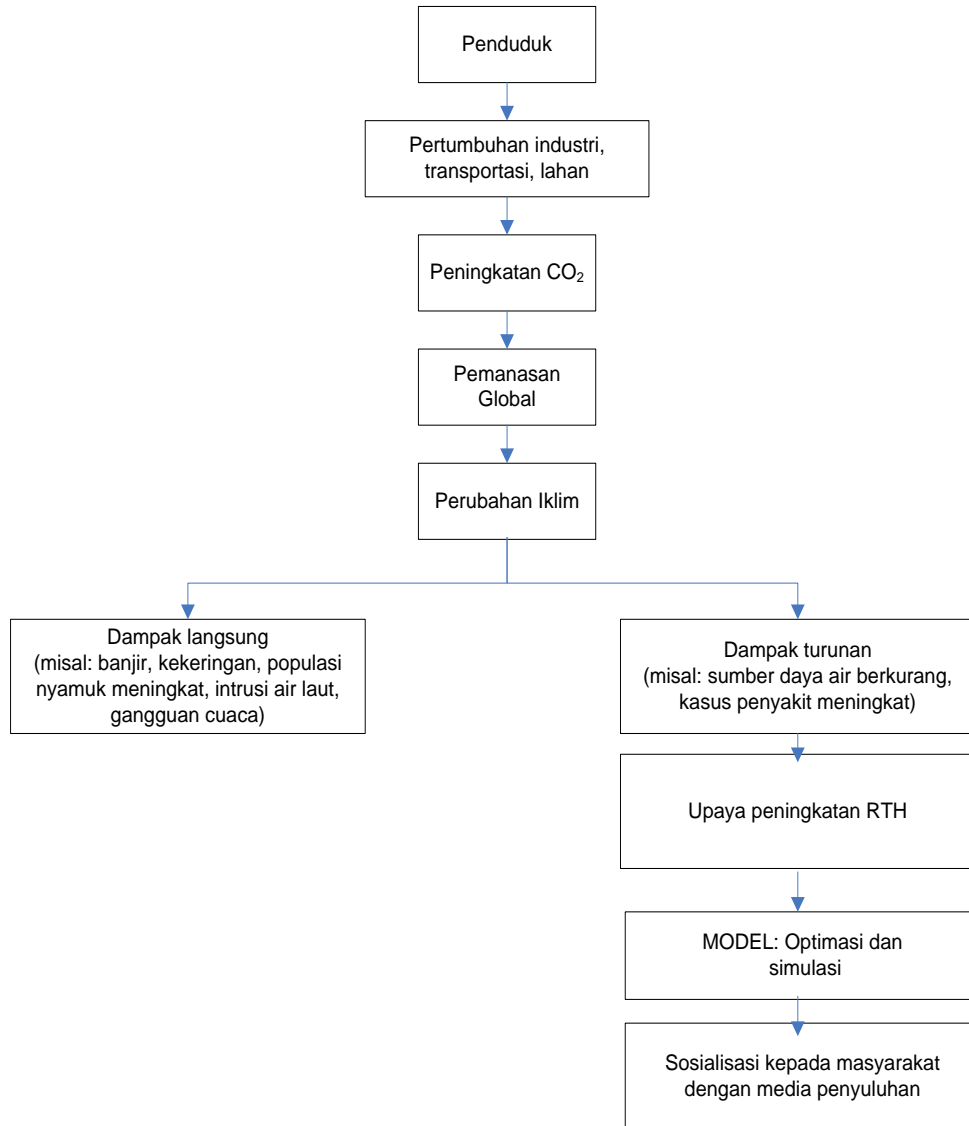
BAB III

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian adalah DKI Jakarta. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa Jakarta merupakan ibu kota negara, dan memiliki sistem pendataan yang cukup baik. Penelitian ini memiliki beberapa subyek antara lain: 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, serta penggunaan BBM sebagai sumber energi yang berdampak terjadinya perubahan iklim, yaitu adanya perubahan suhu dan curah hujan yang berakibat pada munculnya sejumlah penyakit.

3.1. Kerangka Pikir

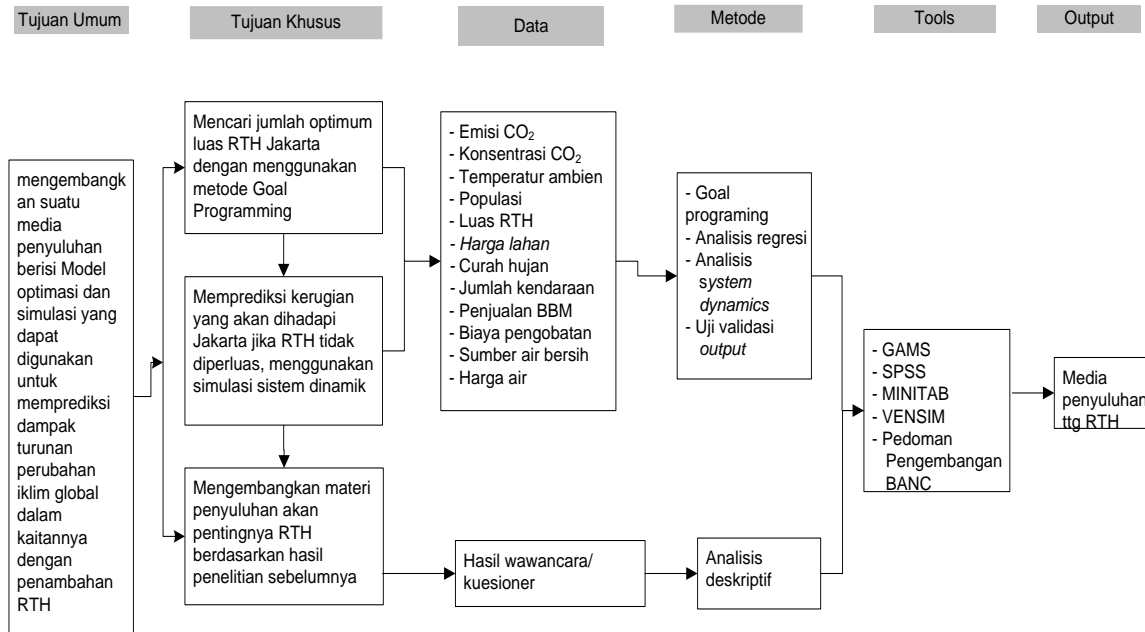
Di kota besar penambahan penduduk akan mengakibatkan terjadinya peningkatan industri, kebutuhan lahan perumahan dan aktivitas publik, serta transportasi, yang juga menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan energi. Tentu saja, ke semua hal tersebut akan menaikkan konsentrasi CO₂ di atmosfer, menyebabkan 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 CO₂ 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 3.1).



Gambar 3.1. Kerangka berpikir penelitian

3.2. Desain Penelitian

Tujuan, data, metode, dan alat yang dipergunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2. 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*, menggunakan perangkat lunak GAMS atau *general algebraic modelling system* (Dellink, 2004 dan Rosenthal, 2007). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari dari BPN (Badan Pertanahan Nasional), BPS (Badan Pusat Statistik), dan Dinas Pertamanan dan Pemakaman, serta Dinas Tata Ruang DKI Jakarta.

3.3. Tempat dan Waktu Penelitian

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

3.4. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode pengumpulan data sekunder. Data sekunder tersebut didapat dari BPN (Badan Pertanahan Nasional) dan BPS (Badan Pusat Statistik). Data yang dikumpulkan merupakan data *time series* selama minimal 10 tahun.

3.5. Data, Asumsi, dan Pengembangan Model optimasi

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 m² atau 9,84% luas wilayah DKI Jakarta seperti yang dinyatakan oleh (Bowo, 2011).
3. Nilai jual lahan per m² = 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 2002-2009.

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	g₁	g₂	Eksisting	Satuan
Luas RTH	1	1	0	65093568	m ²
CO ₂	825	0	-1	159675000	kg/hari
Harga		2	0,12		juta rupiah

Keterangan tabel:

1. Produk (X): Lahan RTH seluas 1 m² akan mengabsorpsi gas CO₂ sebesar X kg (825 kg) per hari (diolah berdasarkan Bappenas, 2007).
2. Eksisting: Luas RTH yang sekarang ada di DKI Jakarta (Bowo, 2011) yaitu 9,84% atau 65.093.568 m².
CO₂ adalah jumlah emisi CO₂ yang dikeluarkan oleh penduduk, kendaraan bermotor, dan penjualan BBM (data dihitung berdasarkan Warlina, dkk. 2009).
Emisi CO₂ dari jumlah penduduk per hari adalah: jumlah penduduk x (0,6/1500) x 44/32. Angka 44/32 adalah perbandingan berat molekul (BM) CO₂ terhadap BM O₂.
Rata-rata emisi Hidrokarbon (HC) dari kendaraan = emisi HC (kg/tahun)/jumlah kendaraan = 58,402.
Emisi CO₂ dari kendaraan = 44/16 x emisi HC. Asumsi BBM rata-rata mempunyai rantai C sebanyak 8, BBM dikonversi ke CO₂ = (1 mol BBM = 114 gr; 1 mol CO₂ = 44; BJ BBM = 0,8).
Berat BBM = penjualan BBM x 0,8. Emisi CO₂ dari BBM = berat BBM x 44/114. Total emisi CO₂ = Emisi CO₂ dari penduduk + Emisi CO₂ dari kendaraan + Emisi CO₂ dari BBM = 159.675.000 kg.
3. Harga: menyatakan harga tiap penambahan satuan luas RTH, dan abatemen akibat kelebihan CO₂ per ton
 - Harga lahan 1 m² (Rp. 2 juta) ditentukan berdasarkan harga yang relatif rendah (Nugroho, 2012).
 - Biaya abatemen akibat kelebihan CO₂ 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 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 CO₂-nya minimal. Berdasarkan data pada Tabel 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 CO₂ 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 1 diolah untuk memperoleh nilai optimal dari luas RTH, dengan emisi CO₂ 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 1) beserta persamaan matematiknya (Dellink, 2004 dan Rosenthal, 2007).

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 km² dan wilayah lautan seluas 6.977,5 km². 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.

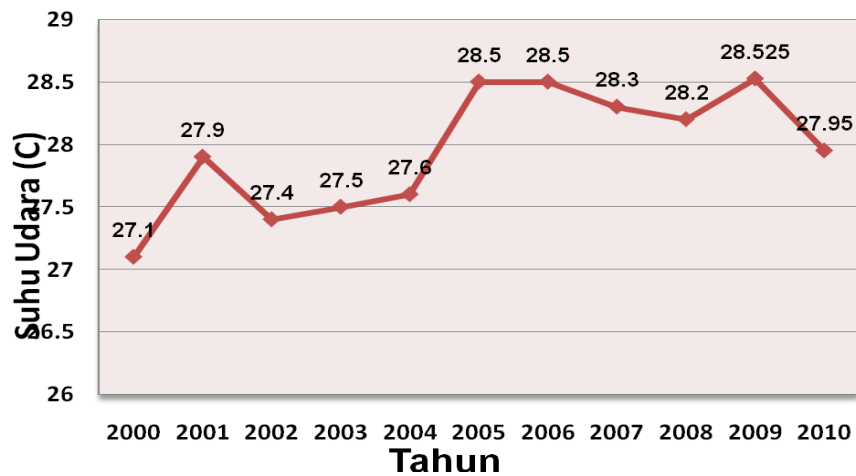


Sumber: online www.jakarta.go.id

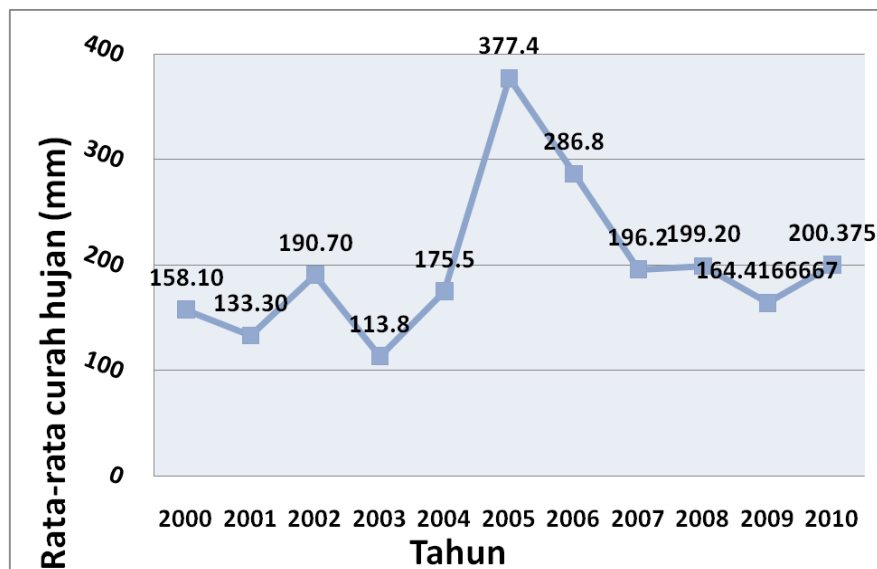
Gambar 4.1. Peta Provinsi DKI Jakarta

4.2 Hasil dan Pembahasan

Secara umum keadaan iklim kota Jakarta adalah panas dengan suhu maksimum udara berkisar 33,8 °C pada siang hari dan suhu minimum udara berkisar 23,1 °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).



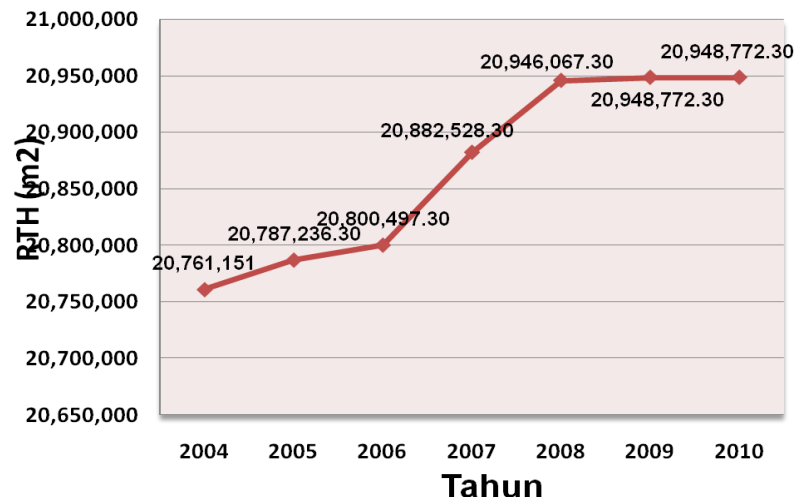
Gambar 4.2.a. Rata-rata Suhu di Jakarta



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

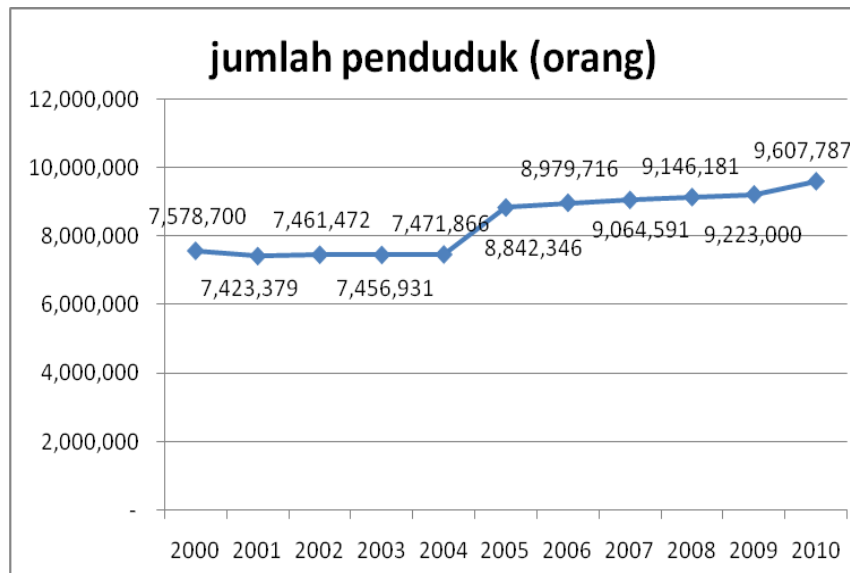
Perubahan penggunaan lahan di DKI Jakarta juga terjadi pada pengembangan perumahan di daerah yang jauh dari kegiatan usaha, perkantoran dan industri yang menyebabkan kemacetan. Kemacetan terjadi karena pembangunan kawasan perumahan banyak yang tidak disertai dengan pembangunan jalan raya dan pembangunan 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

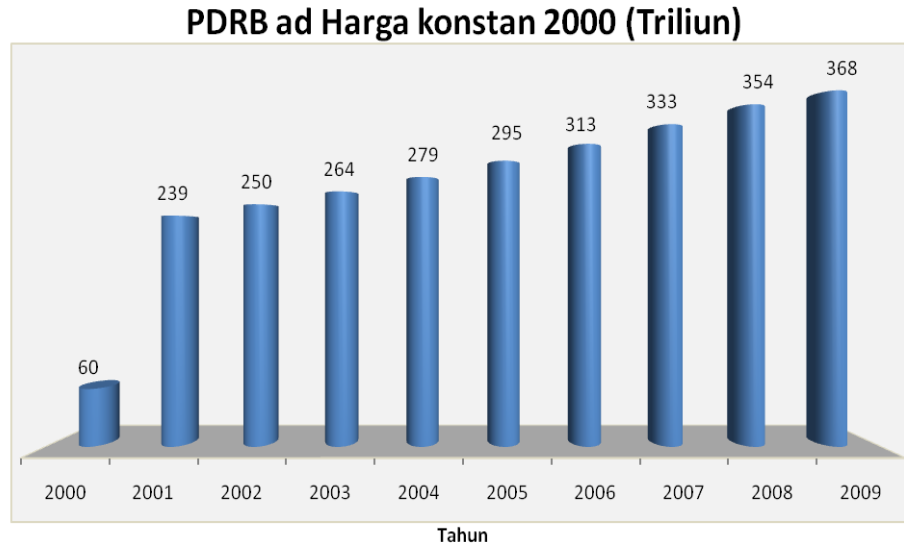
Jumlah penduduk DKI Jakarta pada tahun 2010, berdasarkan data yang diperoleh dari BPS, tercatat sebanyak 9,607 juta jiwa. Dengan luas wilayah 661,52 km² berarti kepadatan penduduknya mencapai 14.524 orang tiap km², sehingga menjadikan provinsi ini sebagai wilayah terpadat penduduknya di Indonesia. Jumlah 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

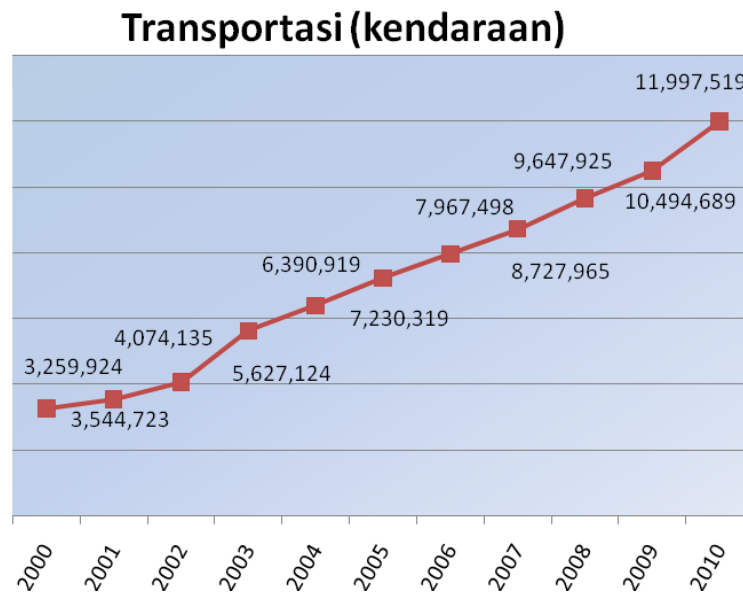
Perekonomian DKI Jakarta meningkat dari tahun ke tahun, seperti terlihat pada Gambar 4.5. Tahun 2001 Produk Domestik Bruto (PDRB) Provinsi DKI Jakarta sebesar Rp. 239 triliun dan meningkat terus sampai tahun 2009 sebesar Rp. 368 triliun.



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.

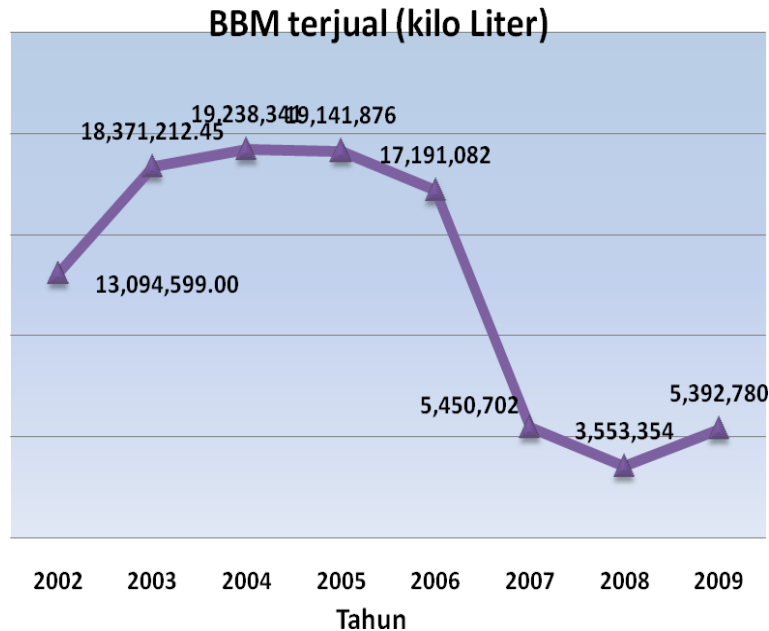


Gambar 4.6. Jumlah Kendaraan Bermotor Yang Teraftar di DKI Jakarta
(Tidak Termasuk TNI, Polri dan Corps Diplomatik)

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.



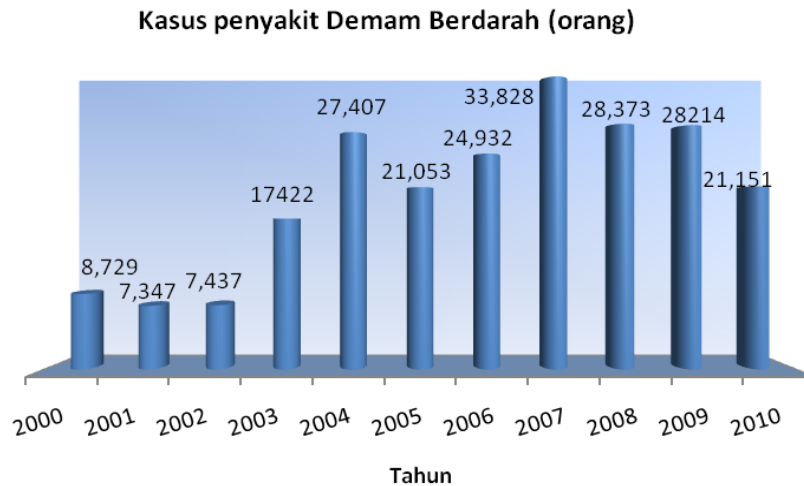
Gambar 4.7. Volume Penjualan BBM di DKI Jakarta

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 CO₂ 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 CO₂ minimal diawali dengan menetapkan beberapa asumsi. Dalam penelitian ini emisi CO₂ di Jakarta

diasumsikan hanya berasal dari penduduk, kendaraan dan pembakaran BBM, yang nilai totalnya sebesar 159.675.000 kg/hari. Guna menyerap emisi CO₂ ini diperlukan tanaman yang memiliki hijau daun yang akan mengabsorpsi CO₂ 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 (O₂), yang merupakan hasil dari proses fotosintesis penyerapan karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O) oleh hijau daun (klorofil). Dengan mengkonversi berat O₂ menjadi berat CO₂ berdasarkan reaksi fotosintesis diperoleh nilai 825 kg CO₂ per hari yang dapat diserap oleh tiap m² RTH.

Emisi CO₂ yang dihasilkan dari berbagai kegiatan di DKI Jakarta tidak dapat diabsorpsi seluruhnya oleh tanaman yang berada di Jakarta, akibatnya konsentrasi CO₂ 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 CO₂ 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 m², atau 19,62% dari luas wilayah. Luas optimum ini dihitung berdasarkan biaya yang harus dikeluarkan untuk memperluas RTH sebesar Rp. 2 juta tiap m² dan biaya abatement yang harus dikeluarkan jika emisi gas CO₂ 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 m² 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 m². 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 CO₂ 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 CO₂ di udara.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Pengembangan model optimasi dengan metode *goal programming* dalam penelitian ini menghasilkan bahwa jumlah optimal luas RTH bagi DKI Jakarta adalah sebesar 129.800.045 m², 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 CO₂ di udara yang tidak dapat diabsorpsi oleh RTH yang sekarang ada.

Penelitian ini hanya memperhitungkan biaya kesehatan yang harus ditanggung masyarakat akibat tingginya konsentrasi CO₂ di udara, padahal selain mengakibatkan penyakit, perubahan iklim yang diakibatkan oleh CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂, agar konsentrasi CO₂ 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.

5.2. Saran

Penelitian lanjutan dengan variabel yang lebih banyak perlu dilakukan, agar pengambilan kebijakan dapat dilakukan berbasis kajian akademik. Kebijakan yang didasarkan atas penelitian akan relatif lebih mudah diterapkan, mengingat pemangku

kepentingan yang terkait dapat memperoleh penjelasan yang logis mengapa suatu kebijakan ditetapkan. Jika penelitian ini dijadikan dasar, maka akan lebih mudah bagi Pemda DKI Jakarta untuk menjelaskan kepada DPRD maupun masyarakat mengenai target jumlah perluasan RTH yang hanya 20%, tidak 30% seperti yang diatur oleh Undang-undang.

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, maka dapat diberikan saran bahwa pemerintah DKI harus memberikan sosialisasi atau penyuluhan kepada pengambil keputusan maupun masyarakat mengenai pentingnya RTH bagi kehidupan. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengembangkan media penyuluhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Antara. (2007). Iklim berubah, Jakarta Benar-benar Kian Panas. Diakses 15 September 2008 dari <http://www.antara.co.id/arc/2007/8/27/iklim-berubah-jakarta-benar-benar-kian-panas/>.
- Badan Litbang, Kimpraswil. (tahun ...). Pengaruh Tanaman terhadap Polutan Lalu Lintas. Diakses 9 Maret 2004 dari http://www.kimpraswil.go.id/balitbang/pustrans/ttg_trans/ttg_trans_reduksi_lja.htm.
- Bappenas. (2007). Hijau Kotaku Biru Langitku. Diakses 19 September 2008 dari <http://udarakota.bappenas.go.id/view.php?page=newsdetil&id=55>.
- Barney G.O, W. Qu, dan P. Bogdonoff .(1998). *Sustainable Development for Italy, Part I: An Integrated Model-Based Report*. Diakses 2 Januari 2006 dari <http://www.millenniuminstitute.net/publications/ItalyReport.pdf>.
- Bowo, F. (2011). DKI Targetkan Tambah RTH 22,8 Hektar. Diakses 3 Februari 2012 dari <http://www.fauzibowo.com/berita.php?id=3088>.
- BPS Jakarta. (2007). Jakarta dalam Angka Tahun 2007. Diakses 30 Juni 2008 dari <http://bps.jakarta.go.id/JDA/JDA2006/JDA2007.pdf>. [
- Dellink R. 2004. *GAMS for Environmental-Economic Modelling*. Wageningen University. Diakses 12 April 2006 dari <http://www.sls.wau.nl/enr/gams/GAMSreader1.pdf>.
- Departemen Kehutanan RI. (2002). Hutan Kota: Untuk Pengelolaan dan Peningkatan Kualitas Lingkungan Hidup. Diakses 12 Maret 2004 dari <http://mofrinet.cbn.net.id/informasi/hutkot/hutkot.htm>.
- Fatmawati. (2010). Biaya Rawat Inap. Diakses 25 Mei 2012 dari <http://www.fatmawatihospital.com/mode4.php?id=25&mode=5>.
- Ford, A. (1999). *Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems*. USA: Island Press.
- Heinich, R., M. Molenda, J. Russell dan S. Smaldino 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. Diakses 19 September 2008 dari <http://library.pelangi.or.id/?pilih=arsip&topik=7&nid=149>.
- Listyarini, S., R.C.Tarumingkeng, A. Fauzi, dan P. Hutagaol, (2007). Estimasi Nilai Penurunan Kesehatan Akibat Polusi Gas NO_x 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.

- Nugroho, E.A. (2012). Harga Tanah di Jakarta Naik 10-30%. Diakses 2 Mei 2012 dari <http://www.investor.co.id/home/harga-tanah-di-jakarta-naik-10-30/30405>.
- 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. Diakses 18 Januari 2006 dari http://wdsbeta.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/1994/05/01/000009265_3970716141007/Rendered/PDF/multi0page.pdf. [
- Pedercini, M. (2003). *Working Papers in System Dynamics*. Diakses 28 Desember 2005 dari <http://www.threshold21.com/BergenReview.pdf>.
- 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, R.E. 2007. *GAMS: A User's Guide*. Diakses 5 September 2007 dari <http://www.gams.com/docs/gams/GAMSUsersGuide.pdf>.
- Sinar Harapan (Kamis, 11 September 2003), *Ratusan Hektare Lahan Hijau Beralih Fungsi*. Diakses 10 Maret 2004 dari <http://www.sinarharapan.co.id/berita/0309/11/jab02.html>.
- Soemarwoto, O. (2001). *Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan.*, Jakarta: Djambatan.
- Suara Pembaharuan. (2008). *Pengukuran, RTH dan Nasib Pedagang*. Diakses 15 September 2008 dari <http://www.suarapembaruan.com/News/2008/01/24/Jabotabe/jab06.htm>.
- Suharjono, H. (2008). Mengembangkan Hutan Kota di Jakarta. Diakses 19 September 2008 dari http://mediaindonesia.com/index.php?ar_id=MTEwMDg=.
- Susandi, A. (2011). Simulasi Prediksi Curah Hujan. Diakses 5 Desember 2012 dari armisusandi.com/articles/presentation/TVONE.pptx.
- Syahril, S., B.P. Resosudarmo, dan H.S. Tomo. (2002). *Study on air quality in Jakarta, Indonesia: Future trends, health impacts, economic value and policy options*. Jakarta: ADB
- Thompson GL, & S. Thore. (1992). *Computational Economics: Economic Modeling with Optimization Software*. South San Francisco: The Scientific Press.
- Trick, M.A. (1996). *Goal Programming*. Diakses 20 Juli 2005 dari <http://mat.gsia.cmu.edu/mstc/multiple/node2.html>.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. (2007). Diakses 15 September 2008 dari http://www.bktrn.org/public/UU_No26_2007.pdf.
- Warlina, L., S. Listyarini, H. Sugiarti, E.N. Kusumaningrum, & H. Siregar. (2009). *Model Dampak Perubahan Iklim terhadap Sumberdaya Air dan Kasus Penyakit (Studi Kasus DKI Jakarta)*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Widyawati, H. Setiadi, & F. Rahmawati. (2006). *Upaya Penataan Ruang Perkotaan yang Komprehensif berdasarkan Kondisi Kualitas Udara*. Diakses 19 September 2008 dari <http://www.geografiana.com/makalah/fisik/kondisi-udara-sebagai-cermin-penataan-ruang-kota-3>.
- Zaini, J. (2008). *Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan*. Diakses 6 Oktober 2008 dari <http://io.ppi-jepang.org/article.php?id=244>.

Lampiran 1. Data Penelitian

No	Variabel (satuan)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	jumlah penduduk (orang)	7,578,700	7,423,379	7,461,472	7,456,931	7,471,866	8,842,346	8,979,716	9,064,591	9,146,181	9,223,000	9,607,787
2	luas RTH (M2) berdasarkan jalur tepian air dan jalurr hijau jalan					20,761,151	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)	158.10	133.30	190.70	113.8	175.5	377.4	286.8	196.2	199.20	164.4166667	200.375
4	suhu rata-rata (oC)	27.1	27.9	27.4	27.5	27.6	28.5	28.5	28.3	28.2	28.525	27.95
5	transportasi (kendaraan)	3,259,924	3,544,723	4,074,135	5,627,124	6,390,919	7,230,319	7,967,498	8,727,965	9,647,925	10,494,689	11,997,519
6	BBM terjual (kilo Liter)			13,094,599	18,371,212.45	19,238,341	19,141,876	17,191,082	5,450,702	3,553,354	5,392,780	
7	kasus penyakit Demam Berdarah/DBD (orang)	8,729	7,347	7,437	17422	27,407	21,053	24,932	33,828	28,373	28214	21,151
8	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	367,939,406	

Lampiran 2. Hasil (*Output*) dari General Algebraic Modeling System (GAMS)

GAMS Rev 138 MS Windows

06/09/12 07:44:05 Page 1

General Algebraic Modeling System

Compilation

- 1 * Model RTH: Pemda DKI harus memiliki RTH seluas 30% (198.456.000m2),
- 2 * sekarang RTH yang ada baru 9,84% (65.093.568 m2)
- 3 * perluasan RTH membutuhkan dana besar, jika RTH tidak diperluas
- 4 * konsentrasi CO2 di udara meningkat dan menyebabkan sakit (RP. 120000/hari)
- 5 * Harga tanah Rp.2.000.000/m2)

6

7 SETS

8 I goals / RTH,CO2/;

9

10 PARAMETERS

11 MPENALTY(I) penalti atau kerugian jika RTH yang dihasilkan kurang dari target

12 /RTH 0

13 CO2 0.12/

14 NPENALTY(I) biaya yg harus dikeluarkan jika RTH yang dihasilkan sesuai target

15 /RTH 2

16 CO2 0/

17 B(I) output per 1 m2 RTH mengabsorpsi CO2

18 /RTH 1

19 CO2 825/

20 GOAL(I) target RTH yang ingin diperoleh dan jml CO2 pas

21 /RTH 65093568

22 CO2 159675000/ ;

23

24 VARIABLES

25 COSTS total penalti dan biaya

26

27 POSITIVE VARIABLES

28 X RTH yang dihasilkan

29 GPLUS(I) kelebihan relatif thd goal

30 GMINUS(I) defisit relatif thd goal;

31

32 EQUATIONS

33 OBJECTIVE fungsi untuk menghitung total penalti dan biaya

34 DEFGOAL(I) definisi tiap-tiap 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= fungsi untuk menghitung total penalti dan biaya
 OBJECTIVE.. COSTS - 0.12*GPLUS(CO2) - 2*GMINUS(RTH) =E= 0 ; (LHS = 0)
 ---- DEFGOAL =E= definisi tiap-tiap 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 penalti dan biaya

COSTS

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

1 OBJECTIVE

---- X RTH yang dihasilkan

X

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

1 DEFGOAL(RTH)

825 DEFGOAL(CO2)

---- GPLUS kelebihan relatif thd goal

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 defisit relatif thd goal

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 fungsi untuk menghitung total penalti dan biaya
---- EQU DEFGOAL  definisi tiap-tiap 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 penalti dan biaya
      X RTH yang dihasilkan
---- VAR GPLUS  kelebihan relatif thd goal
      LOWER  LEVEL  UPPER  MARGINAL
RTH .      .      +INF  2.000
CO2 .      .      +INF  0.118
---- VAR GMINUS  defisit relatif thd goal
      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. Draft Artikel yang Akan Diterbitkan pada Jurnal Internasional

Optimization Model for Predicting Green Area in Jakarta to Minimize Impacts of Climate Change

Sri Listyarini (listyarini@ut.ac.id)

Lina Warlina

Endang Indrawati

Timbul Pardede

FMIPA - Universitas Terbuka

Alamat: Jl. Cabe Raya - Pondok Cabe - Pamulang 15418

Email:

Abstract

Some studies about climate change in Jakarta revealed that air pollution and water supply has reached a critical level, and one of the efforts to reduce that climate change impact is to increase green area. Under Indonesian Law No. 26/2007 the proportion of ideal green area in big cities like Jakarta is 30% of the total city areas, unfortunately at this time the green area in Jakarta is only 9.84%. The effort to increase green area in Jakarta requires huge funds, since the price of land in Jakarta is very expensive. On the other side, the green space is critical requirement to provide clean air and water supply. This study aims to find optimum number of green area in Jakarta. Optimization of green area will be done by using Goal Programming method. The results of this study revealed that the optimum of green area in Jakarta is 19.62% or 129,800,045 m². With the land costs assumptions is 2 million rupiahs per m², the fund should be prepared to increase the green space from 9.84% to 19.62% is 129.413 trillion rupiahs. It is hoped that the findings of the research can be used as the basis for communities and policy makers to increase green space in Jakarta.

Keywords: optimization models, climate change, green area

Introduction

Research conducted by Listyarini, *et al.* (2007) stated that starting in 2012 it is predicted that there will be 1933 residents of Jakarta who have symptoms of respiratory illness caused by nitrogen oxides (NO_x), especially air pollution gases from vehicles, and the number will increase gradually. Research conducted by Warlina, *et al.* (2009) stated that climate change has taken place in Jakarta evidenced by rising temperatures and rainfall. The climate change gives a significant impact on decreasing water resources and increasing the case of diseases. One of the efforts to reduce the emissions of CO₂ and to increase the O₂ levels is by increasing the green area.

Extensive efforts to increase green areas in Jakarta requires huge funding. Some green areas in Jakarta has been changed into commercial areas. The Jakarta provincial government get source of funding from taxes and retributions as well as advertisement from that commercial areas. Eventhough Jakarta Provincial Government get funding from that commercial areas, but the provincial goverment still continues to increase the green areas since the green areas can significantly reduce air pollution. Currently, the total green areas in Jakarta is only 9.84% of the total city areas. To achieve the target of 30% of green areas based on Indonesian Law No. 26/2007, the provincial government is only able to provide 20% of green areas, where 14% comes from public and 6% from private. The target of the provincial government in 2012 is to increase 22.8 hectares (1%) of green area (Bowo, 2011).

Given the importance of green areas to reduce the water, soil and air pollution, and considering the huge funding to increase the green area in Jakarta, it would require extensive research to determine the optimum space of green area. Optimum green area can be obtained by calculating amount of funding to be provided in order to obtain the green area needed. This study aims to find optimum space of green areas in Jakarta using Goal Programming.

Research Methods

In big cities like Jakarta increasing the population will cause in increasing industries, the need for land for housing and public activities, and transportation, which also lead to increasing in energy use. Of course, all these things will cause increasing the concentration of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere, that causing global warming that will be followed by climate change and ultimately lead to environmental degradation. Climate changes will have direct impacts and the derivative impacts, such as water resources are reduced, declining productivity of fisheries, declining agricultural productivities and food securities, and declining air qualities. All of these impacts would lead to disruption derivative of economic activities. The impact of climate change is attempted to diminimalized by increasing the green areas. What is the optimal space of green areas in Jakarta to minimalized the impact of climate change will be analyzed with optimization model using Goal Programming method (Figure 1).

Optimization model developed by the Goal Programming (GP) method is used to connect between the goal and constraints that are not entirely complete (Trick, 1996). The purpose of the

GP method is to minimize the deviation from the multi-purpose against their relative performance.

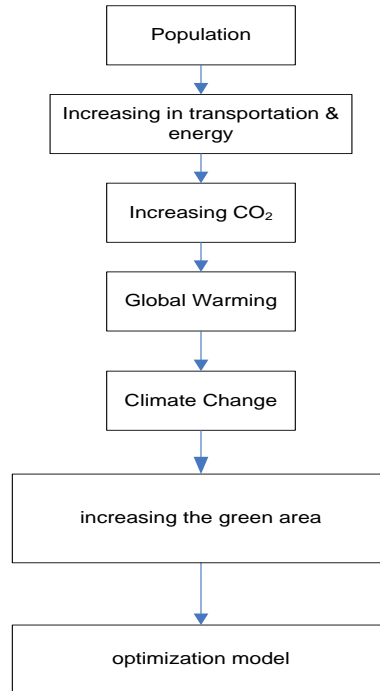


Figure 1. Framework of Research

GP formulated in the context of linear programming problems, but its principles are built through a non linear problem. According to Thompson and Thore (1992) linear GP can be formulated as:

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

where:

a_{ij} = Number of units of input

x_j = Number of units of product

g_i = Goal or target of the variables to be achieved, for example, the target area of land used for green areas

g_i^+ = Excess performance relative to the goal, for example, the penalty for excess of CO₂ emitted

g_i^- = Performance deficit relative to the goal, for example, the penalty for lack of funds to expand the green areas
 i and j = integer stating the i and j goals

In this study, the equation (1) can be simplified to state a minimum amount of penalty to be acquired, as follows :

$$\text{Min } (qA)x + Mg^+ + Ng^- \dots\dots\dots (2)$$

where:

qA = number of inputs

x = cost per unit of input

M = penalty cost per unit of CO₂ excess

N = the cost of losses per unit cost of the expansion of the green spaces

with restrictions:

$g^+ \cdot g^- = 0$ which means that both the positive deviation should not be coincide

$x, g^+, g^- \geq 0$ which means the number of products and the second deviation should not be negative

Development of optimization models was conducted by Goal Programming, using GAMS software or General Algebraic Modeling System (Dellink, 2004 and Rosenthal, 2007). Table 1 shows the types of data used in the optimization model to analyze the optimal space of the green areas that can be used as a source of clean air and water to keep the cost of its CO₂ excess impact minimal.

The data used in this study is secondary data obtained from the BPS (Central Bureau of Statistics). Data collected is time series data in 2000-2010. The data are:

1. Total population = 8,524,152 people. It is the population of Jakarta in 2010, registered by mid-year.
2. Total of the green areas of Jakarta = 65,093,568 m² or 9.84% as stated by Bowo (2011).
3. Sale value of land per m² = Rp. 2,000,000.00. It is the lowest price of the land at the price range of Jakarta declared by Nugroho (2012).
4. Transportation (number of vehicles) = 11,997,519. It is number of vehicles registered in Jakarta in 2010.

5. Energy (the amount of fuel sales) = 11,661,356 tons/month. It is averaged based on BPS data in 2002-2009.
6. Average temperature and rainfall.
7. Cases of dengue fever.

The data is processed to be inputed into the GAMS software. In addition to these data, the model also used data and assumptions of previous research results, as shown in Table 1.

Table 1. Data matrix as a reference to the development of optimization model

Product	X	g ₁	g ₂	Exsisting	Unit
Space of green area	1	1	0	65093568	m ²
CO ₂	825	0	-1	159675000	kg/day
Price		2	0,12		million rupiah

Table specification:

4. Products (X)

Land of green area per 1 m² will absorb X kg of CO₂ (825 kg) per day (data calculated based on Bappenas, 2007).

5. Existing:

The existing green areas in Jakarta (Bowo, 2011) is 9.84% or 65,093,568 m².

CO₂ is the amount of CO₂ emissions released by people, vehicles, and fuel sales (data calculated based on Warlina, *et al.* 2009).

The CO₂ emissions of the population per day are = population x (0.6 /1500) x 44/32.

Number 44/32 is the ratio of molecular weight (Mw) of CO₂ to O₂ molecular weight.

The average emissions of hydrocarbons (HC) from vehicles = HC (kg/yr)/ number of vehicles = 58.402.

CO₂ emissions of the vehicle = 44/16 x HC emissions. It is assumed that an average fuel has 8 chain, the fuel is converted to CO₂ = (1 mol fuel = 114 g, 1 mol CO₂ = 44; the average of specific density of fossil fuel = 0.8). Weight of fossil fuel = fuel sales x 0.8.

CO₂ emissions from fossil fuel = weight of fossil fuel x 44/114.

Total CO₂ emissions = CO₂ emissions of the from population + CO₂ emissions of the from vehicles + CO₂ emissions from fossil fuel = 159,675,000 kg.

6. Price:

It is stated the price for each additional unit space of green area, and the abatement cost from an excess of CO₂ per tonne.

- g_1 : Price of land per m^2 (Rp 2 million) is determined based on a relatively low price (Nugroho, 2012).
- g_2 : Cost abatement due to excess CO_2 is assumed as a result of air pollution. The treatment cost is Rp. 0.12 million or Rp.120.000 per day (it is cost of treatment without hospitalization based on Fatmawati, 2010).

Based on the data in Table 1 the mathematical equations was developed to find the maximum space of green area by the formula (1) as follows:

$$\text{Max amount of } CO_2 \text{ emissions} = CO_2 + \text{surplus emission targets} - \text{green area deficit} \dots (3)$$

The maximum of CO_2 total emission from the equation (3) will give a penalty (cost abatement pollutants or health expenses) of at least derived from the formula (2), namely:

$$\text{Min Penalty} = \text{Min (green area)} * \text{Price of land per } m^2 + \text{penalty fee caused by the excess } CO_2 \text{ emissions} + \text{deficit of green area} \dots (4)$$

The mathematical equations developed and values in Table 1 matrix is processed to obtain the optimal values of the space green area, with CO_2 emissions below the target by using the software GAMS. This software can be downloaded free at <http://www.gams.com>. GAMS is a programming language, so it is necessary to write the program as an input file, by entering the values from the data matrix (Table 1) along with mathematical equations (Dellink, 2004 and Rosenthal, 2007).

Results and Discussion

In this study, CO_2 emissions in Jakarta are assumed come from people, vehicles and fuel combustion, the total value was 159,675,000 kg/day. In order to absorb CO_2 emissions it is necessary to have plant that has green leaves that will absorb CO_2 in the process of assimilation. Green area is widely used to indicate how many plants are located in Jakarta. Bappenas (2007) declared green area per hectare can produce 0.6 tons of oxygen (O_2), which is the result of the process of photosynthesis CO_2 and H_2O absorption by their green leaves. With heavy converting O_2 to CO_2 by reaction of photosynthesis it can be obtained 825 kg of CO_2 per day which can be absorbed by per m^2 green space.

CO_2 emissions resulting from activities in Jakarta can not be fully absorbed by the plants that are grown in Jakarta, resulting in the concentration of CO_2 in the ambient air is increasing, and characterized by an increase in average temperature. This evidenced is data obtained from the

time series data from Central Bureau of Statistics (CBS), where the average temperature in Jakarta in 2000 was 27.1 °C and in 2010 increase to 27.95 °C. In addition, the CO₂ concentration in the air will not only increase the temperature, but it will also cause climate change and lead to various diseases.

Climate changes in Jakarta could cause increasing average rainfall from year to year, 158.1 mm in 2000 increased steadily up to 240.45 in 2010. While the increase in cases of disease can be detected from dengue fever cases. It is recorded in 2000 there is 8729 cases fluctuated from year to year, until the year 2010 it reached 21,151 cases. According to Junaedy (2008) the relationship between increasing air temperature with cases of disease, the study stated that rising temperatures will cause shorter incubation period of the mosquito that caused spread of various diseases. Consequently, disease transmitted by mosquitoes will go faster. The spread of disease is generally case found in tropics region, such as dengue, diarrhea, malaria and leptospirosis. This is due to increased populations of insects, especially mosquitoes as vectors of disease. This study not specified name of disease cases one-by-one, but it is assumed the cost of the treatment was Rp.120.000, 00 per day (Fatmawati, 2010).

All figures were generated from with software processed in the GAMS input file, after it has run its processing results in the form of the output file, which can be seen in the Appendix. GAMS processing results stated that extensive green space required by the administration optimum is 129,800,045 m², or 19.62% of the total area. Optimum area is calculated based on the cost to be incurred to expand green area Rp. 2 million per m² and abatement costs to be incurred if the CO₂ emissions that can not be absorbed by the green area caused the disease. To increase the green area from the current 9.84% to 19.62% has been widely optimum required fee of Rp.129.413 trillion.

This huge funding is not owned by the Government of Jakarta. Therefore, the expect targets only 13.94% of the green area (Bowo, 2011). The administration targets and results are still far below the space green area specified in Law No. 26 Year 2007, which is 30%. Currently, the total of green area owned by Government of Jakarta is 65,093,568 m² or 9.84% of its territory, the government of Jakarta intended target to increase the space of green area to 95,450,000 m² or 13.94%. Thus, Government of Jakarta has to to add space of green area to 35,913,200 m². In the mean time, in 2012 the government of Jakarta will add green area covering 22.8 hectares (Bowo, 2011). If each year only adding approximately 22.8 hectares of green area, then the target to acquire 13.94% of the space green areas will be achieved within 15 years. Within 15 years the people have to pay for medical expenses incurred as a result of the high concentration of CO₂ in the air.

The results of this study stated that the space of green area in Jakarta will be optimum if covering 19.62% of the area, this figure is not too far from the long-term target of the government of Jakarta. Because the Government of Jakarta does not feel likely to have space of green area 30%, as the demands of Law Number 26 of 2007. This was disclosed by the governor that the city government is only able to provide 20% of space of green area. The number is split 14% of the public (13.94% Government) and 6% private (Bowo, 2011). This means that the expansion of Jakarta green area up about 20% of land area is not fully the responsibility of the Government of Jakarta, but also the responsibility of all citizens to improve health and we all are not disturbed due to the high concentration of CO₂ in the air.

Conclusion

Development of optimization models with the goal programming method in this study produces the optimal space of green area in Jakarta is 129,800,045 m² (19.62%) of the total area. This figure is close to the target of long-term Government of Jakarta at least has space 20% of green area. The expansion space of green area from the existing 9.84%, is not entirely the responsibility of the Government of Jakarta, but also the responsibility of all citizens. Awareness to expand green area are made possible by the community, if the community realizes the importance of green area for all of human kins. Moreover, if people are given the information that damages must be paid by the entire community in the form of healthcare costs, due to the high concentration of CO₂ in the air that can not be absorbed by the current space of green area.

This study takes into account health costs to society due to high concentration of CO₂ in the air, other than disease, it can also contribute to climate change results in higher rainfall which affects flooding. Further research to count losses due to flooding and other negative effects of the lack of green area needs to be done, as the material to sensitize the public and policy makers on the importance of green area.

In this study, it is assumed that the ability of green area to absorb CO₂ directly proportional to the space of green area. In fact the ability of each type of plant are different in many kind of green area . It needs further research on what types of plants absorb the most of CO₂, so that its concentration can be minimized. The results of this study can be used to make people aware that people can grow plant in every arable land, even grown in a pot.

List of References

Bappenas. 2007. Hijau Kotaku Biru Langitku, diakses 19 September 2008 dari <http://udarakota.bappenas.go.id/view.php?page=newsdetil&id=55>.

- Bowo, F. 2011. DKI Targetkan Tambah RTH 22,8 Hektar, diakses 3 Februari 2012 dari <http://www.fauzibowo.com/berita.php?id=3088>.
- Dellink R. 2004. *GAMS for environmental-economic Modelling*. Wageningen University, diakses 12 April 2006 dari <http://www.sls.wau.nl/enr/gams/GAMSreader1.pdf>.
- Fatmawati. 2010. Biaya Rawat Inap, diakses 25 Mei 2012 dari <http://www.fatmawatihospital.com/mode4.php?id=25&mode=5>.
- Junaedy, E. 2008. Dampak Perubahan Iklim. Dana Mitra Lingkungan, diakses 3 Mei 2009 dari http://www.dml.or.id/dml5/climate_change/dampak_perubahan_iklim.dml
- Listyarini, S., Tarumingkeng, R.C., Fauzi, A., dan Hutagaol, P. 2007. Estimasi Nilai Penurunan Kesehatan Akibat Polusi Gas NO_x di Udara DKI Jakarta. *Jurnal Matematika, Sains, dan Teknologi* (8: 109-125).
- Nugroho, E.A. 2012. Harga Tanah di Jakarta Naik 10-30%, diakses 2 Mei 2012 dari <http://www.investor.co.id/home/harga-tanah-di-jakarta-naik-10-30/30405>.
- Repenning, N. 1998. *Formulating Models of Simple Systems using Vensim PLE*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Rosenthal RE. 2007. *GAMS: A User's Guide*, diakses 5 September 2007 dari <http://www.gams.com/docs/gams/GAMSUsersGuide.pdf>.
- Thompson GL, dan Thore S. 1992. *Computational Economics: Economic Modeling with Optimization Software*. South San Francisco: The Scientific Press.
- Trick MA. 1996. *Goal Programming*, diakses 20 Juli 2005 dari <http://mat.gsia.cmu.edu/mstc/multiple/node2.html>.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. diakses 15 September 2008 dari http://www.bktrn.org/public/UU_No26_2007.pdf.
- Warlina, L., Listyarini, S., Sugiarti, H., Kusumaningrum, E.N., dan Siregar, H. 2009. Model Dampak Perubahan Iklim Akibat Pertumbuhan Penduduk Terhadap Sumberdaya Air Dan Kasus Penyakit (Studi Kasus DKI Jakarta). *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Sains dan Teknologi*. Diakses 20 Desember 2011 dari http://www.fmipa.ut.ac.id/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=97.

Attachment

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% (198.456.000m²),

2 * now the area of green space in Jakarta only 9,84% (65.093.568 m²)

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

4 * the CO₂ 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/m²)

6

7 SETS

8 I goals / RTH,CO2/;

9

10 PARAMETERS

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

12 /RTH 0

13 CO2 0.12/

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

15 /RTH 2

16 CO2 0/

17 B(I) output per 1 m² RTH to absorb CO₂

18 /RTH 1

19 CO2 825/

20 GOAL(I) target of green area to be obtained and the precise amount of CO₂


```

21      /RTH      65093568
22      CO2      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