

VALUASI MANFAAT EKOLOGIS RUANG TERBUKA HIJAU (RTH) DI KOTA BOGOR DENGAN APLIKASI CITYGREEN 5.4

Valuation of Ecological Benefit of Greenery Open Space of Bogor City Using CITYGreen 5.4 Software

Indung Sitti Fatimah^a, Naik Sinukaban^b, Aris Munandar^c, Kholii^c

^aProgram Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

^bDepartemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

^cDepartemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Abstract. *Greenery open space is a fundamental part of urban development and management in sustaining the quality of urban environment and the welfare of urban dwellers. A high rate of population growth and limited land owned causing the growth of physical development in the city is done by converting such green open space, agricultural land, forest and other open space for urban development purposes. This study is intended to analyze total value of greenery open space ecological benefits of Bogor City, and provide possible recommendations in order to increase the capacity of its urban ecosystem. This analytical framework is applied to Bogor City considering its peculiarities of greenery open space existence and architectures. The research was conducted by spatial approach through CITYGreen 5.4 software to determine the ecological benefits of greenery open space, based on the trees canopy cover and non trees canopy cover to predict the economic value. CityGreen is a software tool developed by American Forest that helps people understand the value of trees to the local environment. The result showed that CITYGreen 5.4 software can be used to conduct complex analysis of ecosystem services and create easy to understand reports. The software calculate dollar benefits for the services provided by the trees and other greenery open space in absorbed such harmful pollutants, carbon storage and sequestration, and reducing storm water volumes as natural flood control. The capacity of ecological benefit can still be improved to provide greater benefits in various ways. This software will be very beneficial for city planners in evaluate site plan, and model development scenario that capture the benefits of trees.*

Keywords: *greenery open space, CITYGreen 5.4, ecological benefit*

(Diterima: 21-11-2011; Disetujui: 15-12-2011)

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Kota merupakan suatu ekosistem yang terbentuk oleh beragam jenis penutupan lahan, vegetasi dan berbagai type penggunaan lahan dari suatu bentangan lanskap yang sangat kompleks (Foresman *et al.* 1997). Salah satu komponen penting dari ekosistem kota yang kompleks adalah ruang terbuka hijau (RTH), yang secara signifikan memberikan kontribusi ekologis dalam kehidupan ekonomi dan sosial-budaya (Bradley 1995; Shafer 1999; Lutz & Bastian 2002); RTH merupakan salah satu bagian utama dari pembangunan dan pengelolaan ruang-ruang kota dalam upaya mengendalikan kapasitas dan kualitas ekosistem kotanya dan juga untuk meningkatkan kesejahteraan warganya. Fungsi ekosistem RTH ini memberikan manfaat langsung maupun tak langsung pada manusia (Costanza *et al.* 1997). Adanya jasa ekosistem membawa dampak substansial terhadap kualitas kehidupan di kawasan perkotaan, sehingga upaya untuk merealisasikan dalam rencana tata ruang kota penting dilakukan (Bolund & Hunhammar 1999); potensi jasa

ekosistem RTH kota sangat bermanfaat untuk kesehatan publik dan memperbaiki kehidupan kota (Thompson 2002). Upaya perbaikan RTH menawarkan kepuasan fisik, estetika, dan psikologis warga kota (Jim & Chen 2003). Keberadaan RTH dapat meningkatkan nilai properti. Mc Alaney (1993) menyatakan bahwa nilai jual property pada kawasan pemukiman yang dikelilingi pepohonan lebih tinggi 5-15% daripada kawasan yang minim pepohonan.

Laju pembangunan kota Bogor secara fisik telah meningkatkan penggunaan lahan-lahan terbuka pada areal kota yang terbatas, dan mengakibatkan perubahan tata guna lahan, memicu konversi lahan alami menjadi kawasan terbangun. Pertumbuhan penduduk dan orientasi ekonomi memberikan tekanan pada ketersediaan RTH kota. Alih fungsi lahan alami menjadi kawasan terbangun yang terjadi dalam kurun waktu 1998-2004 telah menurunkan proporsi RTH per jiwa dari 72,57 m²/jiwa menjadi hanya 27,57m²/jiwa (Nurisjah 2005). Laju konversi RTH ini diduga berdampak pada terjadinya degradasi kualitas dan kenyamanan lingkungan perkotaan, berupa minimnya kawasan resapan air, meningkatnya laju limpasan permukaan (*run off*), memburuknya kualitas udara kota karena tingginya konsentrasi polutan, dan iklim kota

yang kurang nyaman/suhu udara yang semakin meningkat dari waktu ke waktu. Hal ini karena pohon sebagai unsur penting dalam RTH kota memiliki fungsi ekologis dalam memperbaiki kualitas lingkungan, antara lain dalam menyimpan dan menjerap karbon, mereduksi laju limpasan permukaan, menyerap radiasi matahari dan mereduksi penggunaan energy di lingkungan perkotaan (Nowak *et al.* 1998).

Mengacu pada serangkaian hasil studi sebelumnya, diketahui bahwa pepohonan memiliki nilai ekonomi yang dapat dihitung sebagai kapasitas layanan terukur ekosistem kota (American Forest 2002). Beberapa peneliti menyatakan tingginya manfaat ekologis keberadaan RTH kota, namun kelestariannya sulit dipertahankan, terutama jika dihadapkan pada permasalahan terkait nilai ekonomi lahan (Diamonds 1980; More Steven & Allen 1988), kondisi dan partisipasi masyarakat (Atmanto 1995; Nasution 1995), serta pengelolannya (Aoshima 1999 dalam Nurisjah 2005). Minusnya RTH menurut Kim dan Pauleut (2007) dapat menghilangkan habitat dan menurunkan keanekaragaman hayati serta mengganggu struktur dan proses dalam ekosistem kota. Keberadaan RTH berpotensi menyimpan karbondioksida dan menghasilkan oksigen (Jo 2002), mengurangi dampak peningkatan suhu kota (Yuan dan Bauer 2007), membersihkan udara dari polutan, mengurangi kebisingan (Davies *et al.* 2008) dan memastikan aliran energy (Yeh dan Huang 2009).

Untuk mewujudkan kota yang berkelanjutan, kebijakan penataan ruang harus memperhatikan keseimbangan unsur alami dan kawasan terbangun; Undang-undang Penataan Ruang No 26/ tahun 2007 mengamanatkan RTH 30% dari luas total wilayah kota, namun dalam upaya meningkatkan jumlah RTH kota, perencana selalu dihadapkan pada lemahnya argument yang dapat menjelaskan manfaat keberadaan RTH kota tersebut, terutama jika ditinjau dari nilai ekonominya (Cranz 1983; Harnick 2000). Kondisi ini membuat penelitian tentang valuasi jasa ekosistem RTH menjadi sebuah kajian yang semakin menarik untuk dilakukan. US Forest, sebuah organisasi non profit mengembangkan metode valuasi jasa ekosistem ini dengan sebuah program analisis berbasis Sistem Informasi Geografi (SIG) untuk menghitung nilai ekonomi hutan kota dengan program aplikasi *CITY-Green*[®]. Program *CITYGreen*[®] ini bermanfaat dalam pendugaan manfaat kanopi pohon dari suatu ekosistem alami dan hutan kota, sehingga dipromosikan sebagai *tools* yang dapat mempengaruhi kebijakan publik tentang hutan kota, terutama pohon. Aplikasi perangkat lunak ini mempunyai kemampuan analisis valuasi jasa ekosistem untuk 5 manfaat utama, yaitu: kemampuan reduksi limpasan permukaan, potensi daya rosot karbon, potensi penjerap polutan, potensi penghematan energi, *landcover breakdown* dan *tree growth modeling*. Hasil analisis disajikan berupa peta dan nilai manfaat ekonomi, yang dapat menjadi masukan dalam menyusun kebijakan pengembangan untuk tercapainya pembangunan yang berkelanjutan.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan penutupan lahan kota Bogor; pendugaan kapasitas ekosistem/ nilai ekonomi RTH Bogor dengan aplikasi *CITYGreen*[®]; dan membuat prediksi menghitung ketercukupan kebutuhan RTH kota dengan fasilitas *growth modeling*.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah Kota Bogor. Kegiatan dilakukan mulai November 2009-November 2010.

2.2. Tahapan Penelitian

a. Analisis GIS Perubahan Landcover Kota

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas :Peta digital/ Citra Satelit *Quickbird* Kota Bogor tahun 2006; *Software ArcView 3.2, Extension CITYGreen*[®], *Xtool, Image Analyst, Spatial Analyst*, Perangkat *Personal Computer*. Digitasi dilakukan dalam tiga *theme* pada perangkat lunak ArcView, yaitu: 1) *theme* batas area analisis, 2) *theme Canopy* yang berisi informasi spasial pohon, dan 3) *theme Non Canopy* yang berisi informasi spasial area terbangun.

b. Pengumpulan Data

Pengambilan data primer dilakukan melalui kegiatan observasi lapang dan *ground check* terhadap keberadaan pohon dan karakteristiknya. Pengambilan data sekunder dilakukan dengan studi literatur hasil penelitian terdahulu terkait RTH Bogor. Untuk mengetahui pola perubahan penutupan lahan kota Bogor dilakukan delineasi area dengan penutupan lahan pohon pada RTH kota dalam bentuk jalur/koridor dan kawasan.

c. Input Data Atribut dan Analisis Manfaat Kanopi Pohon / Kapasitas Ekosistem

Tahap terakhir adalah input data pohon dan bangunan ke dalam file atribut, setelah itu dilakukan analisis manfaat. Ada beberapa data atribut yang harus diinput terkait dengan analisis yang diperlukan.

1. Analisis Reduksi Polutan Udara

Model analisis ini menduga kapasitas kanopi pohon dalam menjerap polutan udara, model ini dikembangkan oleh US Forest Service. Ada 5 partikel utama polutan udara yang berada di atmosfer, yaitu: CO, NO_x, SO_x, Ozon dan *partikulat matter* (Pb). Rumus perhitungan yang digunakan adalah : $F \text{ (g/cm}^2 \text{/sec)} = V_d \text{ (cm/sec)} \times C \text{ (g/cm}^3 \text{)}$; dimana F (*Flux*) = laju penyerapan polutan, V_d (*Velocity deposition*) = Kecepatan pengendapan polutan, C (*concentration*) = konsentrasi polutan. Laporan analisis akan menampilkan jumlah prediksi kemampuan pohon dalam menjerap polutan udara dalam satuan pounds (lbs) per tahun. Nilai ekonomi dalam US Dollar, merupakan biaya

eksternalitas yang harus ditanggung/ dikeluarkan masyarakat akibat polusi (biaya kesehatan, kerusakan bangunan dsb).

2. Analisis Potensi Penyimpanan dan Penjeraban Karbon

Model analisis ini dikembangkan oleh *US Forest Service*, berfungsi untuk menduga potensi pohon dalam menyimpan karbon, menjerab karbon berdasarkan data atribut diameter pohon. Ada 3 tipe distribusi umur pohon yang masing-masing memiliki koefisien/faktor pengali potensi penyimpanan dan penjeraban Carbon. Dalam analisis manfaat pohon, *CITYGreen*[®] membagi pengelompokan tipe distribusi pohon ke dalam tiga tipe. Pengelompokan pohon pada area penelitian ini merupakan dasar dari analisis pendugaan nilai manfaat pohon secara ekologis maupun ekonomis dari keberadaan kanopi pohon perkotaan dalam ekosistem kota. Pengelompokan tipe distribusi ini dibuat dengan asumsi bahwa tipe distribusi pepohonan tua yang mempunyai biomassa lebih besar, mempunyai kemampuan lebih dalam menjerab karbon dibandingkan tipe distribusi pepohonan muda (*American Forest* 2002). Model pendugaan karbon pada perangkat lunak *CITYGreen*[®] menduga kelas distribusi umur pohon berdasarkan data atribut diameter pohon; untuk masing-masing distribusi umur pohon mempunyai factor pengali sebagaimana tertera pada Tabel 1, selanjutnya nilai pendugaan diperoleh berdasar rumus:

- Penyimpanan carbon (ton) = luas area kajian x % kanopi x faktor pengali
- Penyerapan carbon tahunan = luas area kajian x % kanopi x factor pengali

3. Analisis Kapasitas Reduksi Limpasan Permukaan

Model ini dikembangkan oleh *NRCS USDA*, dengan kemampuan menghitung kapasitas reduksi limpasan permukaan berdasarkan data curah hujan rata-rata 2 tahunan, data jenis landcover, topografi tapak serta tipe hidrologi tanahnya.

Tabel 1. Angka koefisien/faktor pengali penyimpanan dan penjeraban karbon

Type	Tipe distribusi pohon	Faktor pengali	
		Penyimpanan Karbon	Penyerapan Karbon
Type 1	Populasi muda	0,3226	0,00727
Type 2	Populasi dewasa 10-20 tahun	0,4423	0,00077
Type 3	Distribusi umur seimbang	0,5393	0,00153

Sumber: *CITYGreen Manual* (2002)

3. Hasil dan Pembahasan

Dinamika penggunaan lahan kota Bogor menunjukkan perubahan yang signifikan dalam kurun waktu tahun 1972-2005 (Tabel 2). Pola perubahan memperlihatkan pengaruh pembangunan ekonomi dan infrastruktur kota yang mengakibatkan semakin berkurangnya luasan lahan alami yang berfungsi sebagai penyimpan dan penjerab CO₂, dan peningkatan luasan area terbangun. Tahun 1972 kota Bogor masih didominasi oleh hutan dengan luasan 2.927.54 ha (24,70% luas kota), namun sejak tahun 1990 pertumbuhan penduduk semakin pesat, pembangunan kawasan permukiman semakin banyak, dan kawasan terbangun mengikis lahan alami kota, sehingga laju alih fungsi lahan semakin meningkat. Dominasi kawasan terbangun ini membawa dampak negatif terhadap kualitas ekosistem dantingkat kenyamanan kota. Kondisi ini merupakan ancaman keberlanjutan ekosistem kota dan harus diantisipasi. Aplikasi perangkat lunak *CITYGreen*[®] 5.4 dapat menjadi salah satu alat bantu dalam analisis RTH kota, baik dalam skala mikro (unit rumah, kawasan perumahan) maupun skala meso (regional kota). Salah satu keunggulan program ini adalah dari tingkat kemudahan dalam kebutuhan ketersediaan data, proses input data, dan analisisnya, serta sederhana dalam sajian hasil analisis, yang menyajikan nilai manfaat ekonomi dan manfaat ekologi dalam nilai nominal mata uang (\$US).

Tabel 2. Dinamika perubahan penggunaan lahan Kota Bogor

No	Penutupan Lahan	Tahun 1972	Tahun 1983	Tahun 1990	Tahun 1996	Tahun 2000	Tahun 2005
1	Vegetasi pohon	2.927.54	2.677.87	1.107.36	910.12	422.30	187.15
2	Lahan terbuka	2.070.26	1.110.62	1.426.11	725.62	371.56	258.02
3	Lahan terbangun	1.464.84	2.018.21	2.505.90	3.958.72	5.037.33	5.068.25
4	Badan Air	254.81	261.141	439.56	395.83	374.76	317.38

Sumber: Suryadi (2008)

3.1. Pendugaan Layanan Terukur Ekosistem Kota Bogor

Dari kegiatan penelitian diperoleh nilai dugaan kapasitas ekosistem kota dengan aplikasi perangkat lunak *CITYGreen*[®] 5.4, berdasarkan beberapa atribut-lingkungan. Pada penelitian ini digunakan tiga indikator kualitas lingkungan, yaitu: limpasan permukaan (*run off*), penjerap polutan dan rosot Carbon, serta penutupan lahan (*land cover breakdown*) dan model

pertumbuhan pohon (*tree growth modelling*), program unggulan pada ekstensi *CITYGreen*[®] yang berfungsi memprediksi pertumbuhan kanopi pohon pada masa yang akan datang dengan berbagai skenario waktu atau target prosentase kanopi. Untuk pemodelan ini ada beberapa data atribut yang harus diinput, yaitu: data spesies pohon, diameter batang setinggi dada (DBH), tinggi pohon, kondisi kesehatan pohon dan pertumbuhannya. Analisis *CITYGreen*[®] dapat berjalan apabila telah terbentuk tiga themes, yaitu: *Study site theme*, *Canopy theme* dan *Non Canopy Theme*.

a. *Pendugaan Kapasitas Reduksi Limpasan Permukaan (Runoff)*

Untuk pendugaan kapasitas reduksi *runoff* ini diperlukan data atribut: rata-rata curah hujan harian. Kota Bogor mempunyai rata-rata curah hujan harian (dua tahunan/24jam) sebesar 3.5 inci, dan termasuk ke dalam kategori III (wilayah dengan curah hujan cukup tinggi), dan kondisi geologi tanahnya termasuk ke dalam klasifikasi *hydrologic soilgroup* kelompok B, yaitu type tanah dengan kemampuan menyerap air cukup baik (*somewhat pervious*), dengan ciri-ciri potensi aliran permukaan rendah, rata-rata infiltrasi sedang dan rata-rata transmisi air tanah sedang (0.15-0.30 inc/hr). Berdasarkan hasil digitasi area kota diketahui luasan kanopi pohon (yang berdiameter > 4m) di kota Bogor adalah sebesar 17% (Budiman 2010). Po-

tensi/ kapasitas reduksi limpasan permukaan adalah 4.446.664.79 cu.ft per tahun, sehingga total biaya manfaat ekonomi dari pengendalian limpasan permukaan adalah sebesar \$ US 48,893,329.59 atau Rp 417.748.814.000. Nilai ekonomi yang dapat diterima dari layanan ini adalah sebesar \$ 4,262,743 atau Rp. 34.812.401.200,- per bulannya. Besaran nilai ekonomi ini merupakan nilai substitusi dari eksternalitas negatif yang timbul jika RTH sebagai kawasan resapan air dikonversi menjadi kawasan terbangun. Model scenario tutupan lahan (proporsi kanopi pohon dan lahan terbangun) dapat disimulasikan untuk mendapatkan prediksi reduksi limpasan dan manfaat ekonominya jika luasan canopy ditambah hingga 30-40%, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Skenario proporsi luas canopy pohon dan nilai manfaat ekologi dan ekonominya

Proporsi prosentase Luas Kanopi pohon	Manfaat Ekologi (Reduksi Limpasan Permukaan)	Manfaat Ekonomi (\$ US)	Manfaat Ekonomi (rupiah)
17% Tree Canopy, 49% Urban landuse	4,446,664.79 cu ft	\$48,893,329.59	Rp 417.748.814. .-
30% Tree Canopy, 49% Urban landuse	6,333,655,89 cu ft	\$ 112,667,311,77	Rp 1.100.413.965 .-
40% Tree Canopy, 49% Urban landuse	8,654,538.41 cu ft	\$ 157,309,076.82	Rp1.541.628.940,-

Keterangan: Asumsi luas total kawasan tidak berubah, biaya konstruksi = \$ 2.00;\$ 1 = Rp 9.800,-

b. *Pendugaan Kapasitas Penyimpanan dan Penjerapan Karbon*

Hasil analisis kapasitas penyimpanan dan penyerapan karbon (Carbon storage and sequestration) dengan CITYGreen[®] disajikan dalam tiga bagian, yaitu statistik tapak (site statistics), manfaat ekologi (ecological benefit) dan manfaat ekonomi (economic benefit). Statistik tapak mencakup: nama tapak, luas area dan distribusi penutupan lahan. Manfaat ekologi mencakup kapasitas karbon dan penyerapannya, yang meliputi: distribusi umur pohon, kapasitas penyimpanan karbon (ton) dan penyerapan karbon (ton/tahun). Manfaat ekonomi untuk aspek ini diperoleh dari hasil perhitungan jumlah karbon tersimpan (ton) dikalikan dengan

harga karbon berdasar standar internasional (berkisar \$5,00-\$15,00 per ton).

Hasil analisis CITYGreen[®] untuk kapasitas total penyimpanan karbon oleh keberadaan RTH kota Bogor dengan 17% canopy sebesar 267.220 ton/ tahun atau 22,268 ton/ bulan. Dengan kapasitas penyerapan karbon sebesar 758 ton/ tahun. Sehingga nilai ekonomi yang dapat diterima dari layanan ini adalah sebesar Rp 392.813.400/ tahun atau Rp 32.734.450/ bulan. Kondisi ini terkait dengan tipe kelompok distribusi pohon di kota Bogor yang tergolong kategori *even mix* (campuran pohon tua-muda) yang potensinya relatif kecil dalam menyerap karbon.

Tabel 4. Skenario proporsi luas kanopi pohon dan nilai manfaat ekologi & ekonominya

Proporsi/ prosentase Luas Kanopi pohon	Manfaat Ekologi (Penyimpanan karbon)	Manfaat Ekologi (Penjerapan karbon)	Manfaat Ekonomi Penyimpanan Karbon (Rupiah)
17% Tree Canopy, 49% Urban landuse	267,220 ton	758 ton/ tahun	Rp 392.813.400/ tahun
30% Tree Canopy, 49% Urban landuse	473,240 ton	1,343 ton/ tahun	Rp 695,662.801/ tahun
40% Tree Canopy, 49% Urban landuse	630,371 ton	1,788 ton/ tahun	Rp 926,645.369/ tahun

Keterangan: Asumsi luas total kawasan tidak berubah, 1 ton Karbon = \$ 15.00; dan \$ 1 = Rp 9.800,-

c. *Pendugaan Daya Serap RTH Terhadap Polutan Udara*

Hasil analisis CITYGreen[®] menduga potensi kemampuan menyerap polutan udara sebagaimana tercantum pada Tabel 5. Jumlah total polutan yang dapat terjera oleh keberadaan kanopi pohon untuk seluruh

kota Bogor adalah 471,118 lbs (213.935 kg), dengan nilai manfaat finansial sebesar \$ US 1,172.439 (Rp 11.489.902.200). Potensi ini relatif kecil, apalagi jika dibandingkan dengan laju peningkatan jumlah kendaraan yang sangat pesat dari tahun ke tahun, sehingga peningkatan jumlah polutan pun akan semakin tinggi dari waktu ke waktu.

Meskipun secara umum kondisi kualitas udara kota bogor masih berada pada ambang batas aman berdasarkan data uji Kualitas udara DLHK tahun 2007. Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (2007) dalam pengujiannya telah melakukan pengukuran kualitas udara *ambient* pada 15 titik yang tersebar di wilayah

kota Bogor. Sebagian besar masih memenuhi baku mutu, tiga diantaranya terletak di Jalan Raya Pajajaran, salah satu jalan terpadat di kota Bogor, dan termasuk jalan lingkar Kebun Raya, yaitu Titik uji Warung Jambu, Pertigaan Tugu Kujang dan Hero Pajajaran.

Tabel 5. Skenario proporsi luas canopy pohon dan nilai manfaat ekologi menyerap polutan

Proporsi/ prosentase Luas Kanopi pohon	Potensi penyerap polutan				
	Ozone (O ₃)	Sulfur dioksida (SO ₂)	Nitrogen dioksida (NO ₂)	Partikulat (PM ₁₀)	Karbon Monoksida (CO)
17% Tree Canopy, 49% Urban landuse	199,437 lbs (90.534.22kg)	32,158 lbs (14.598.090kg)	66,149 lbs (30.004.594kg)	159,698 lbs (72.437,584kg),	13,676 lbs(6.203,311kg)
30% Tree Canopy, 49% Urban landuse	353,197 lbs	56,950 lbs	117,147 lbs	282,821 lbs	24,219 lbs
40% Tree Canopy, 49% Urban landuse	470,470 lbs	75,860 lbs	156,044 lbs	376,726 lbs	32,261 lbs

Keterangan: Asumsi luas total kawasan tidak berubah, 1 ton Karbon = \$ 15.00; dan\$ 1 = Rp 9.800,-

d. Keberlanjutan Ekosistem Kota Bogor

Ditinjau dari luas wilayah dan jumlah penduduknya, Kota Bogor memiliki klasifikasi nilai yang tinggi untuk ketersediaan dan distribusi RTH. Kondisi biofisik kota dan suasana alaminya telah memberi pengalaman yang baik dalam pembentukan persepsi dan preferensi warga kota. Masyarakat kota Bogor secara umum memiliki persepsi yang baik terhadap RTH kota, dengan preferensi tertinggi pada RTH berbentuk kawasan yang berkesan hutan dengan keragaman tanaman yang tinggi. Bentuk jalur hijau dan fungsi sosial ekonomi mendominasi RTH wilayah kota, dimana luasan untuk bentuk jalur cenderung menurun dan fungsi sosial ekonomi cenderung meningkat. (Nurisjah 2005). Laju konversi lahan alami merupakan ancaman ketidakberlanjutan RTH kota. Kebijakan pengelolaan RTH diperlukan karena dorongan kebutuhan akan ruang publik. RTH merupakan fasilitas umum multifungsi yang dapat mengakomodasikan kebutuhan warga akan interaksi sosial, sebagai sarana berekreasi dan berolah raga. Pemahaman masyarakat yang baik terhadap nilai RTH, merupakan modal sosial, pihak perencana dan pengelola harus memiliki metode konseptual untuk mengendalikan kualitas ekosistem kota terutama terkait dengan fungsi dan bentuk RTH, dalam kaitannya dengan upaya meminimalisir dampak negatif pembangunan kota, dan tuntutan tetap terjaganya keberlanjutan ekosistem lingkungan perkotaan. Hasil analisis GIS citra satelit *Quick Bird* 2006 kota Bogor, diperoleh hasil penutupan lahan sebagai *urban landuse* (area peruntukan lahan kota) sebesar 48% dari total luas kota atau 5.688 ha; lahan kedap air sebesar 28% atau 3.318 ha; kanopi pohon 17% atau 2.014.5ha; semak 5% atau 592,5 ha, dan badan air 2% atau 237ha. Hasil penelitian tentang kualitas udara Bogor menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kualitas udara kota yang harus segera diantisipasi. Salah satu indikator memburuknya kualitas udara dapat dipantau melalui rendahnya pH air hujan dan frekuensi kejadian hujan asam. Hujan asam adalah jika pH air hujan lebih rendah dari pH air hujan alami. Secara alami pH air hujan

dipengaruhi oleh kandungan asam carbonat yang terbentuk oleh tingginya konsentrasi CO₂ di udara. Menurut Manahan (2005) pH air hujan alami rata-rata = 5,65. Hasil pengukuran air hujan di kota Bogor pada tahun 1989 menunjukkan rata-rata pH 5,56 (Nababan 1989). Pada tahun 1991 rata-rata pH 5,75 dalam kisaran pH terukur 4,00-6,90 (Husin 1991), dan hasil pengukuran tahun 2007 rata-rata pH air hujan sudah mencapai 4,75, dalam kisaran pH terukur antara 3,90-5,37. Nilai pH air hujan cenderung menurun dari tahun 1991-2007.

Penurunan nilai pH air hujan ini menunjukkan bahwa kualitas udara kota Bogor semakin memburuk, dengan potensi kejadian hujan asam yang juga semakin meningkat. Batasan internasional kategori hujan asam adalah jika pH < 5,65. Hujan asam ringan dengan pH rata-rata 5,53, terjadi di sekitar Kebun Raya hingga Warung Jambu. Hujan asam dengan pH < 5 terjadi di sebelah utara Kebun Raya Bogor, memanjang dari terminal Bubulak, Warung Jambu, hingga Sentul (Sutanto 2009). Hal ini diduga karena semakin padatnya jalur jalan di sekitar Kebun Raya Bogor. Jumlah kendaraan bermotor roda empat yang melewati jalan-jalan protokol seperti jalan Pajajaran dapat mencapai 3.375 unit/jam, sedangkan sepeda motor berkisar 1000 unit/jam (Santosa 2005). Kendaraan berbahan bakar bensin, premium maupun premix mengandung sulfur 0,20% berat, sedangkan solar mengandung Sulfur 0,42% berat. Sulfur akan diemisikan oleh kendaraan dalam bentuk gas SO₂ yang merupakan penyebab hujan asam. Disamping itu kendaraan dalam keadaan beban penuh juga akan mengemisikan gas NO₂ yang juga merupakan gas penyebab hujan asam. Kadar sulfat (SO₄) dan Nitrat (NO₃) merupakan polutan yang sangat menentukan sifat keasaman air hujan.

e. Skenario Model Alternatif

Dengan menggunakan fasilitas *tree growth modeling* pada *CITYGreen*[®], dapat diproyeksikan luas RTH kota Bogor mempunyai 30% kanopi pohon, maka akan memberikan potensi penyimpanan sebesar 473,240 ton/tahun atau 39,44 ton/bulan. Dan kapasitas

penyerapan karbon sebesar 1.343 ton/ tahun.; sedangkan jika diproyeksikan RTH dengan 40% kanopi pohon, memberikan potensi penyimpanan karbon sebesar 630.371 ton, dan penyerapan 1.788 ton/tahun. Aplikasi *CITYGreen*[®] untuk kajian potensi penyimpanan carbon juga telah dilakukan oleh Lukmanniah (2011) dengan mengambil tapak pada dua kawasan perumahan, yaitu Taman Yasmin (TY) dan Bukit Cimanggu City (BCC), Hasil digitasi pada perumahan BCC diperoleh luas kawasan 129 ha dengan luas RTH/ tutupan kanopi pohon sebesar 9,8 ha (atau 7,6% total luas kawasan); dengan luas kawasan terbangun 54,76%; sedangkan perumahan TY dengan luas kawasan 103 ha mempunyai RTH sebesar 6,82 ha (atau 6,62% total luas kawasan), dengan luasan kawasan terbangun 39,90%. Sisanya berupa badan air, lahan kosong, lapangan parkir, bangunan non permanen, dan lapangan rumput serta perdu/semak-semak. Perbandingan antara luas area ber kanopi pohon dan area terbangun pada

kedua perumahan tersebut adalah 1:7 (BCC) dan 1:6 (TY). Dengan mengacu pada Peraturan Menteri Negara Perumahan Rakyat No 34 tahun 2006, tentang RTH publik (milik pemerintah dan terbuka untuk umum) dan RTH privat (swasta atau perorangan) minimal 10% dari total luas kawasan, maka RTH pada kedua perumahan tersebut masih belum mencukupi.

Manfaat ekologi yang diperoleh dari RTH eksisting, potensi karbon tersimpan pada perumahan BCC sebesar 757,45 ton, dengan nilai ekonomi Rp 102.255.537; dengan daya serap karbon 16,10 ton/thn. Sedangkan perumahan TY potensi karbon tersimpan sebesar 550,03 ton dengan nilai Rp 74.254.023,- dengan daya serap karbon 10,77 ton/thn. Dengan fasilitas *tree growth modelling*[®] pada *CITYGreen*[®] 5.4, prosentase luas RTH perumahan dapat disimulasikan mengikuti ketentuan 10% dan 20%, dan hasil simulasinya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Simulasi penambahan luas RTH dan manfaat ekologi dan ekonomi yang dihasilkan

Luas Kanopi Pohon	Luas RTH (Ha)	Manfaat Ekologi		Manfaat Ekonomi (rupiah)
		Penyimpanan	Penyerapan	
BCC Eksisting	9,80 ha	757,45 ton	16,10	Rp102.255.537,-
Dikembangkan menjadi 10%	12,90 ha	798,45 ton	16,39	Rp107.385.537,-
20%	25,80 ha	922,45 ton	17,33	Rp 124.395.537,-
TY Eksisting	6,82 ha	550,03 ton	10,77	Rp74.254.023,-
Dikembangkan menjadi 10%	10,31 ha	688,03 ton	11,73	Rp92.479.023,-
20%	20,62 ha	1.226,03 ton	15,57	Rp165.244.023,-

Keterangan: Asumsi luas total kawasan tidak berubah, 1 ton Karbon = \$ 15.00; dan \$ 1 = Rp 9.800,-

f. Model Skenario Pertumbuhan Pohon

Dalam pemodelan dengan fasilitas *Tree growth modelling CITYGreen*[®] dengan kondisi eksisting luas canopy pohon Jalur hijau Jalan Pajajaran tahun 2006 sebesar 30,35% (5.82 ha), maka pada tahun 2016 akan menjadi 41% (7,91 ha), dengan total potensi penjerapan 769,74kg; tahun 2026 menjadi 42% (8,13ha) dengan total potensi penjerapan 791,06 kg; dan tahun 2036 menjadi 44% (8,35 ha), dengan total potensi penjerapan 811,93 kg (Hanafri 2011). Peningkatan luas kanopi dengan prosentase terbesar pada 10 tahun pertama, namun tidak demikian dengan 20 dan 30 tahun berikutnya. Total peningkatan luas kanopi selama 30 tahun diprediksikan hanya sebesar 43,47%. Hasil analisis ini perlu mendapat perhatian, karena lambatnya pertumbuhan canopy pohon, tentunya tanpa adanya penambahan luas canopy atau penanaman pohon baru, potensi penjerapan polutannya tidak akan dapat mengimbangi laju peningkatan polutan akibat pertumbuhan kendaraan bermotor.

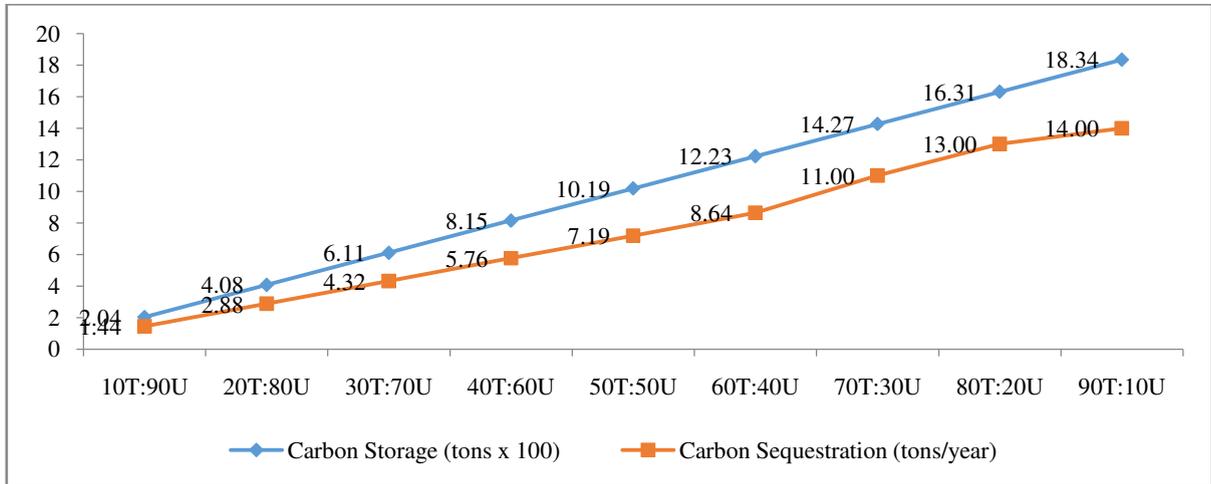
Pada tahun 2000 kendaraan berjumlah 48.262 unit, tahun 2005 meningkat menjadi 114.633 unit, dan pada tahun 2005 sudah mencapai 180.216 unit. Kondisi ini telah meningkatkan jumlah CO₂ yang dihasilkan, dari 254.596.20 ton menjadi 363.884.71 ton. Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor juga merupakan sumber polutan. Kusnoprantanto (1996) dalam Sulis-

tyorini (2009) menyatakan bahwa pencemaran udara di kota-kota besar berasal dari emisi kendaraan (60-70%), 10-15% dari industry dan sisanya dari pembakaran sampah, rumah tangga dll. Oleh karenanya maka potensi RTH jalur hijau harus ditingkatkan. Meskipun kapasitas penjerapan CO₂ oleh RTH masih lebih besar dari jumlah yang dihasilkan, namun untuk polutan NO₂ jumlah yang belum terjerap masih berkisar 37.790 ton/tahun, dan polutan Pb masih ada 29.402 ton/tahun. Semakin menurunnya kualitas udara kota merupakan akibat dari semakin tingginya konsentrasi polutan di udara. Kendaraan bermotor merupakan sumber utama Timbal (Pb) yang mencemari udara perkotaan. Sekitar 60-70% partikel Pb berasal dari kendaraan bermotor (Krishnaya 1986).

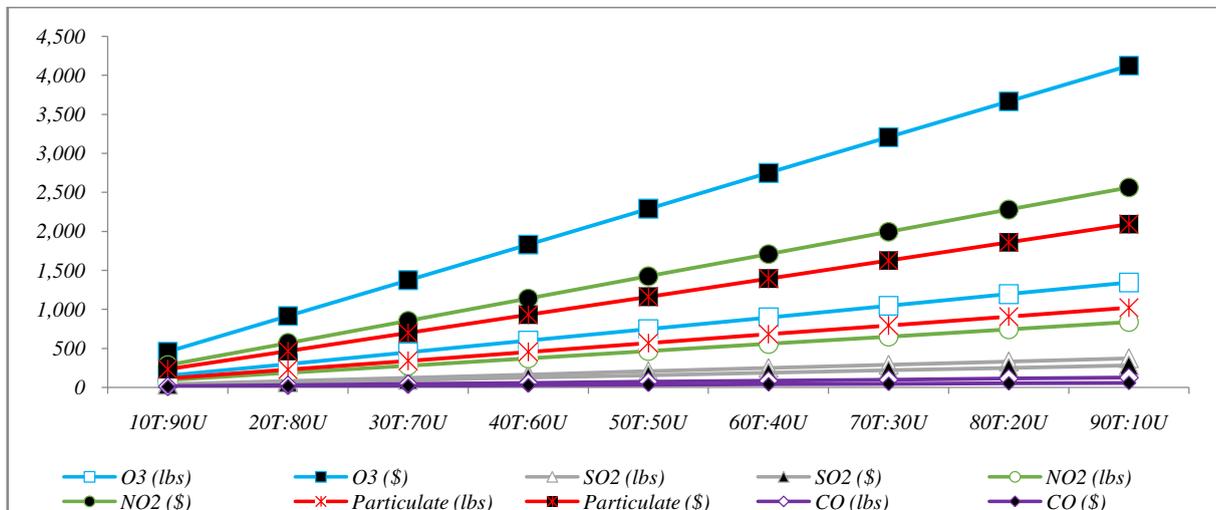
Salah satu upaya agar jalur hijau jalan dapat meningkatkan potensinya dalam penjerapan dan penyimpanan carbon, serta penjerapan polutan adalah dengan penambahan luas kanopi, sehingga total potensi penjerapannya dapat menjerap semua polutan yang ada. Untuk mendapatkan luas kanopi yang mencukupi, maka prosentasi tutupan canopy pohon (T) dibanding *urban landuse* (U) dapat dibuat dalam berbagai alternatif perbandingannya sebagaimana disajikan pada Gambar 1 dan 2. Semakin besar prosentase luas canopy pohon (T) dibanding *Urban landuse* (U) maka potensi penjerapan dan penyimpanan carbon akan semakin besar, demikian juga untuk penjerapan polutannya.

Dengan demikian maka penambahan jumlah pohon pada jalur hijau jalan dengan jenis yang mempunyai daya rosot tinggi adalah pilihan tindakan yang dapat

direkomendasikan dalam upaya perbaikan Kualitas udara kota.



Gambar 1. Diagram garis potensi canopy pohon dalam penyimpanan carbon (carbonstorage) dan potensi penyerapan carbon (carbon sequestration), pada berbagai perbandingan luas canopy pohon (T) dan urban landuse (U)



Gambar 2. Diagram garis potensi penyerapan polutan oleh canopy pohon pada berbagai skenario proporsi antar luas canopy pohon/tree (T) dan luas Urban landuse (U)

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Hasil penelitian ini memberikan gambaran manfaat pohon dalam RTH kota, bahwa proporsi antara tutupan lahan di perkotaan sangat berpengaruh terhadap kualitas ekosistem kota. Ditinjau dari 3 manfaat ekologis RTH, dalam potensi reduksi limpasan permukaan, penyerapan polutan serta potensi penyimpanan dan daya rosot karbon, simulasi model memperlihatkan hasil bahwa peningkatan proporsi luasan canopy pohon dapat memberikan peningkatan manfaat ekologis secara signifikan.

Aplikasi program analisis CITYGreen® sebagai alat bantu dalam analisis pendugaan/valuasi manfaat nilai ekologi dan ekonomi keberadaan RTH kota, dapat

diterapkan untuk kota Bogor. Hasil analisisnya yang ditampilkan secara jelas dan sederhana diharapkan dapat menjadi bahan masukan bagi pihak perencana, pengelola kota dan para pemangku kepentingan dalam penyusunan kebijakan pengelolaan RTH Kota yang berkelanjutan.

4.2. Saran

Untuk mendapatkan potensi maksimal keberadaan RTH kota dalam memperbaiki kondisi ekosistem kota, maka dalam pengembangan kota tetap harus diperhatikan keseimbangan antara proporsi luasan lahan alami dan kawasan terbangun. Penambahan luasan area RTH dengan pohon-pohon yang mempunyai potensi daya rosot karbon yang tinggi dan penyerap polutan akan sangat bermanfaat dalam membersihkan udara kota. Pemilihan pohon yang berukuran besar dan berumur

panjang disarankan untuk mendapatkan potensi maksimal dalam penyimpanan karbon.

Daftar Pustaka

- [1] American Forests, 2002. CITYGreen 5.0 Manual. American Forests, Washington DC.
- [2] Bradley, G. A. (Ed), 1995. Urban Forestry Landscapes: Integrating Multidisciplinary Perspective. University of Washington Press, Seattle.
- [3] Bolund, P., S. Hunhammar, 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics* 29, pp. 293-301
- [4] Budiman, A., 2010. Analisis Manfaat Ruang Terbuka untuk Meningkatkan Kualitas EKosistem Kota Bogor dengan Menggunakan Metode GIS. Skripsi. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- [5] Costanza, R, R. d'Arge, R. de Groot., S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, R. Laskin, P. Sutton, M. van den Belt, 1997. The value of the world ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(15), pp. 253-260.
- [6] Dahlan, E. N., 2007. Analisis Kebutuhan Luasan Hutan Kota Sebagai Sink Gas CO₂ Antropogenik dari Bahan Bakar Minyak dan Gas di Kota Bogor dengan Pendekatan Sistem Dinamik Disertasi. Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [7] Davies, R. G., O. Barbosa, R. A. Fuller, J. Tratalos, N. Burkner, D. Lewis, 2008. City-wide relationships between green spaces, urban land use and topography. *Urban Ecosystem* 11, pp. 269-287.
- [8] Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan, 1999. Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- [9] Foresman, T. W., S. T. A. Pickett, W. C. Zipperer, 1997. Methods for spatial and temporal land use and land cover assessment for urban ecosystems and application in the greater Baltimore-Chesapeake region. *Urban Ecosystem* 1, pp. 201-216.
- [10] Hanafri, K. S., 2011. Analisis Manfaat Kanopi Pohon dalam Mereduksi Polutan Udara di Jalan Raya Pajajaran, Bogor. Skripsi. Departemen Arsitektur Lanskap, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [11] Husin, Y. A., H. Sudarsono, M. Sobri, 1991. Studi Tingkat Pencemaran Udara dan Hujan Asam di Daerah Bogor. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup IPB, Bogor.
- [12] Jim, C. Y., S. S. Chen, 2003. Comprehensive greenspace planning based on landscape ecology principles in compact Nanjing City. *China Landscape and Urban Planning* 65, pp. 95-116.
- [13] Jo, H. K., 2002. Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. *Journal of Environmental Management* 64, pp. 115-126.
- [14] Kim, K. H., S. Pauleit, 2007. Landscape character, biodiversity and land use planning: the case of Kwangju City Region, South Korea. *Land Use Policy* 24(1), pp. 264-274.
- [15] Manahan, S. E., 2005. *Environmental Chemistry* 6th ed. Lewis Publisher, CRC Press, Boca Raton.
- [16] McAloney, M., 1993. *Arguments for Land Conservation. Documentation and Information Sources for Land Resources Protection*, Trust for Public Land. Sacramento, CA.
- [17] McPherson, E. G., 1998. Atmospheric carbondioxide reduction by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24 (4), pp. 215-223.
- [18] McPherson, E. G., D. J. Nowak, R. A. Rowntree, 1994. Chicago's urban forest ecosystem: result of the Chicago urban forest climate project. USDA, Forest Service, Northeast Forest Experiment Station, Radnor.
- [19] Nababan, B., 1989. Studi Hujan Asam di Daerah Kotamadya Bogor dan Sekitarnya. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [20] Nowak, D. J., 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. Di dalam: Mc Pherson EG, Nowak DJ, Rowntree RA, editor. Chicago's urban forest ecosystem: result of the Chicago urban forest climate project. USDA, Forest Service, Pennsylvania, pp. 83-94.
- [21] Nurisjah, S., 2005. Penilaian Masyarakat Terhadap Ruang Terbuka Hijau (RTH) Wilayah Perkotaan: Kasus Kotamadya Bogor. Disertasi. Program Pasca Sarjana IPB, Bogor.
- [22] Santosa, I., 2005. Model Penyebaran Pencemar Udara dari Kendaraan Bermotor Menggunakan Metode Volume Terhingga: Studi Kasus di Kota Bogor. Disertasi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [23] Shafer, C., 1999. US National Park buffer zones: historical, scientific, social, and legal aspects. *Environmental Management* 23 (1), pp. 49-73.
- [24] Sulistjorini, 2009. Keefektifan dan Toleransi Jenis Tanaman Jalur Hijau Jalan dalam Mereduksi Pencemar NO₂ Akibat Aktivitas Transportasi. Tesis. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [25] Thompson, C.W., 2002. Urban open space in the 21st century. *Landscape and Urban Planning* 60, pp. 59-72.
- [26] Yeh, C. T., S. L. Huang, 2009. Investigating spatiotemporal patterns of landscape diversity in response to urbanization. *Landsc. Urban Plan.* 93, pp. 151-162.
- [27] Yuan, F., M. E. Bauer, 2007. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in landsat imagery. *Remote Sensing Environment* 106, pp. 375-386.