

# Model Simulasi Emisi dan Penyerapan CO<sub>2</sub> di Kota Bogor (Model Simulation of CO<sub>2</sub> Emission and Absorption in Bogor City)

Rizka Permatayakti Rasyidta Nur<sup>\*</sup>, Herry Purnomo

## ABSTRAK

Sebagian besar polusi udara di perkotaan disebabkan oleh emisi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dari aktivitas manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya emisi dan penyerapan CO<sub>2</sub> di Kota Bogor, serta alternatif mengatasi permasalahan emisi CO<sub>2</sub> tersebut dengan pemodelan dan simulasi. Model dan simulasi emisi dan penyerapan CO<sub>2</sub> dibuat untuk 30 tahun ke depan menggunakan *software stella 9.0.2* berdasarkan konsep *loss-gain emission*. Penyumbang emisi CO<sub>2</sub> di perkotaan diantaranya asap kendaraan, asap industri, sampah rumah tangga, limbah peternakan, serta emisi pemakaian listrik dan gas, sedangkan ruang terbuka hijau (RTH) sebagai serapan emisi CO<sub>2</sub>. Alternatif untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> di Kota Bogor dibuat berdasarkan konsep kota hijau (*green city*), yaitu konsep penanganan masalah gas emisi dengan mengikutsertakan aspek lingkungan dalam berbagai aktivitas di perkotaan. Hasil akhir penelitian ini, emisi CO<sub>2</sub> Kota Bogor diperkirakan mencapai 20.027.878 ton sedangkan penyerapannya 93.843 ton pada tahun 2042. Alternatif upaya mitigasi gabungan di beberapa sektor dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 2.797.667 ton sampai tercapai keseimbangan antara serapan dan emisi CO<sub>2</sub> di Kota Bogor, yaitu pada tahun 2036 dengan penghijauan.

Kata kunci: Kota hijau, *loss-gain emission*, pemodelan, polusi perkotaan, *stella 9.0.2*

## ABSTRACT

Most of the urban pollution is the result of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission from human activities. This research identified CO<sub>2</sub> emission and absorption in Bogor, and also the alternatives to solve the emission problem by system model and simulation. CO<sub>2</sub> emission and absorption system model was created using *software Stella 9.0.2* based on *loss-gain emission* concept for 30 years prediction. Human activities that contribute to CO<sub>2</sub> emission are transportation, industries, energy consumption such as fuel or electricity, house hold waste, and farms, while the decrease factor is green open spaces as CO<sub>2</sub> sequester. The alternatives to solve emission problem in Bogor is created based on *green city* concept by including the environmental aspects in every urban activity. The result of this research, the CO<sub>2</sub> emission of Bogor reached 20.027.878 tons and the absorption reached 93.843 tons in 2042. Combined mitigation alternatives in several sectors could reduce CO<sub>2</sub> emission by 2.797.667 tons in 2042 and CO<sub>2</sub> emission could be neutralized by reforestation in 2036.

Keywords: *green city*, *loss-gain emission*, model, *stella 9.0.2*, urban pollution

## PENDAHULUAN

Wilayah perkotaan, termasuk Kota Bogor, merupakan pusat pemukiman dan aktivitas non pertanian masyarakat. Selain penduduknya yang lebih padat, pada umumnya polusi udara di perkotaan lebih tinggi dibandingkan di pedesaan. Sebagian besar polusi udara di perkotaan disebabkan oleh emisi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dari aktivitas manusia. Kualitas udara dan lingkungan dapat menurun akibat peningkatan aktivitas manusia memanfaatkan bahan bakar minyak (BBM), membangun, dan menghasilkan sampah. Gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan tersebut dapat diserap oleh vegetasi yang terdapat di ruang terbuka hijau (RTH), namun selama 5 tahun terakhir luasan RTH Kota Bogor semakin menurun akibat pembangunan pemukiman (Dahlan 2011). Emisi karbon dari perubahan tutupan lahan dan penggunaannya sendiri mencapai 12,5% dari total emisi yang dihasilkan tahun

2000–2009 (Friedlingstein *et al.* 2010; Houghton *et al.* 2012), sedangkan emisi terbesar berasal dari sektor energi (Kementerian Lingkungan Hidup 2009; Pratiwi & Hermana 2013). Maka dibutuhkan alternatif upaya pengendalian emisi CO<sub>2</sub> dan meningkatkan serapan CO<sub>2</sub> kota. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya emisi dan penyerapan CO<sub>2</sub> di Kota Bogor, serta alternatif mengatasi permasalahan emisi CO<sub>2</sub> tersebut dengan pemodelan dan simulasi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Bogor pada bulan Mei 2014 sampai dengan Juli 2014 dengan objek penelitian Kota Bogor, Provinsi Jawa Barat.

Alat yang digunakan adalah alat tulis, kalkulator, dan seperangkat komputer dengan *software Microsoft word*, *Microsoft excel*, *Stella 9.0.2*, dan *Vensim PLE*. Bahan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kota Bogor, Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bogor, dan hasil penelitian-penelitian lain sebagai pustaka acuan.

Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

\* Penulis Korespondensi:

E-mail: rasyidtarizka733@gmail.com

**Pemodelan Sistem**

Penyusunan model dan simulasi emisi dan penyerapan CO<sub>2</sub> di Kota Bogor dibuat dengan *software Stella 9.0.2* menggunakan pendekatan sistem. Langkah-langkah pemodelan tersebut seperti dalam Purnomo (2012), yaitu:

- **Identifikasi isu, tujuan, dan batasan** dilakukan dengan menentukan isu yang diangkat, hal yang ingin dicapai secara langsung, dan ruang lingkup model.
- **Konseptualisasi model**, yaitu menggambarkan konsep keseluruhan model yang akan disusun, komponen-komponen yang terlibat, serta interaksi antar komponennya.
- **Spesifikasi model** dilakukan dengan merumuskan interaksi antar komponen dalam bentuk persamaan numerik.
- **Evaluasi model**, yaitu menguji kesesuaian model yang dibentuk dengan dunia nyata.
- **Penggunaan model** adalah proses mendata alternatif yang mungkin ditempuh dan dijalankan melalui pemodelan yang terbentuk.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Isu utama yang menjadi dasar pemodelan adalah besarnya emisi CO<sub>2</sub> di Kota Bogor. Berdasarkan analisa data tahun 2012, emisi CO<sub>2</sub> di Kota Bogor mencapai 2.536.861 ton, sedangkan serapan CO<sub>2</sub> di Kota Bogor pada tahun yang sama 113.893 ton. Pemodelan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui besarnya emisi dan penyerapan CO<sub>2</sub> di Kota Bogor 30 tahun ke depan, kecenderungan kebutuhan pengembangan serapan CO<sub>2</sub> Kota Bogor, dan alternatif-alternatif yang dapat dijalankan melalui model untuk mengatasi permasalahan emisi CO<sub>2</sub> di Kota Bogor. Batasan pemodelan ini diantaranya pemodelan hanya mencakup wilayah Kota Bogor untuk rentang waktu 30 tahun (2012–2042). Penyerapan CO<sub>2</sub> dihitung berdasarkan luas tiap-tiap bentuk RTH dengan emisi berasal dari sektor industri, transportasi, pemakaian listrik dan gas, rumah tangga, dan peternakan.

**Konsep Model**

Konsep model penyerapan emisi CO<sub>2</sub> Kota Bogor dituangkan dalam Gambar 1. Konsep yang digunakan dalam pemodelan ini adalah konsep *loss-gain emission* dari aktivitas penduduk perkotaan, yaitu dengan mendaftar aktivitas yang menambah CO<sub>2</sub> dan mengurangi CO<sub>2</sub> beserta interaksinya. Industri, pembangunan, rumah tangga, penggunaan energi listrik dan gas, peternakan, dan transportasi diasumsikan sebagai aktivitas yang meningkatkan CO<sub>2</sub> (*gaining emission*). Di sisi lain, adanya RTH disertai beberapa upaya pengendalian emisi CO<sub>2</sub> seperti penggunaan biodiesel, pengelolaan sampah, penggunaan biogas, dan reforestasi merupakan aktivitas yang menurunkan emisi CO<sub>2</sub> (*losing emission*).

**Model Spesifik**

**Submodel Serapan CO<sub>2</sub>**

Submodel serapan CO<sub>2</sub> menggambarkan besarnya serapan CO<sub>2</sub> kota berdasarkan tutupan lahan. Diasumsikan laju konversi RTH menjadi lahan terbangun sebesar 7,8% per tahun dan laju pembangunan lahan terbuka sebesar 9,8% per tahun. Spesifikasi serapan CO<sub>2</sub> tersaji dalam Tabel 1 dan Gambar 2. Serapan emisi CO<sub>2</sub> dihitung dengan persamaan:

$$\sum \text{Serapan CO}_2 = (\text{Luas tutupa lahan} \times \text{Daya serap tutupan lahan})$$

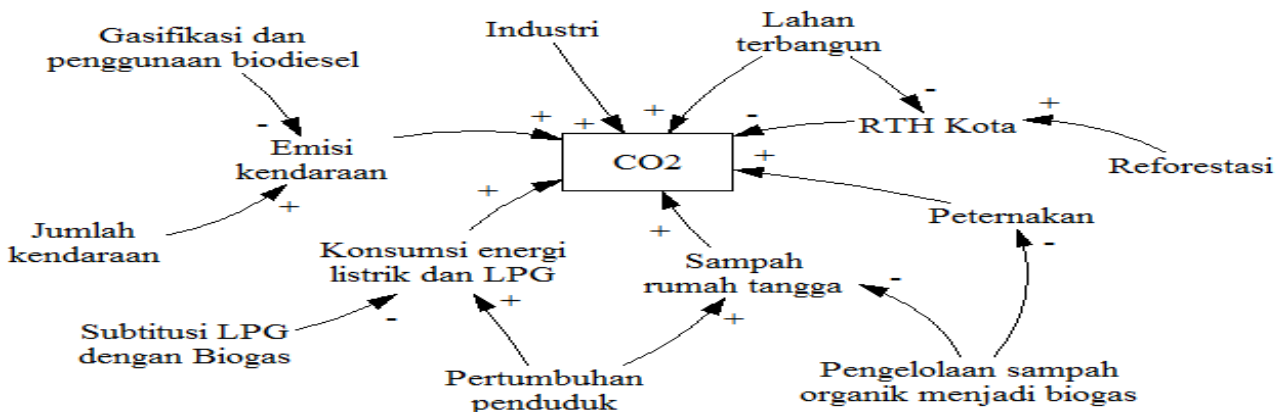
**Submodel Industri**

Submodel industri disusun berdasarkan jumlah energi gas alam yang digunakan sektor industri. Emisi yang dihasilkan dari pemakaian gas alam sebesar 2,43 10<sup>-3</sup> ton/m<sup>3</sup> (Boer *et al.* 2012). Diasumsikan laju konsumsi gas alam sebesar 8,9% per tahun dengan data 5 tahun terakhir tersaji pada Tabel 2. Emisi CO<sub>2</sub> industri dihitung dengan persamaan:

$$\text{Emisi CO}_2 \text{ industri} = \text{konsumsi gas industri} \times \text{Emisi gas}$$

**Submodel Transportasi**

Pada submodel transportasi, setiap jenis kendaraan memiliki laju jumlah kendaraan dan konsumsi bahan bakar spesifik masing-masing. Hal tersebut yang menentukan besarnya emisi sektor



Gambar 1 Konsep model dinamika penyerapan dan emisi CO<sub>2</sub> Kota Bogor.

transportasi. Spesifikasi submodel transportasi dapat dilihat pada Tabel 3 dan dihitung dengan persamaan:

$$\sum (jumlah\ unit \times konsumsi\ Bahan\ Bakar \times NK\ BB \times FE\ BB)$$

*Emisi CO<sub>2</sub> transportasi =*

Keterangan:

NK BB = nilai kalor bahan bakar

FE BB = faktor emisi bahan bakar

**Submodel Pemakaian Listrik dan Gas**

Laju pemakaian listrik di Kota Bogor diasumsikan meningkat 3,7% per tahun, sedangkan pemakaian gas (LPG) menurun 2,8% per tahun. Besarnya pemakaian listrik di Kota Bogor pada tahun 2012 adalah 770.341.162 KWh, sedangkan LPG 3.837.916 m<sup>3</sup>. Emisi yang dihasilkan dari pemakaian LPG sebesar 2,43 10<sup>-3</sup> ton/m<sup>3</sup> (Boer *et al.* 2012), sedangkan dari listrik 586 10<sup>-3</sup> ton/KWh (Wulandari *et al.* 2013). Emisi CO<sub>2</sub> pemakaian listrik dan gas dapat dihitung dengan persamaan:

$$Emisi\ CO_2\ listrik = jumlah\ pemakaian \times Emisi\ listrik$$

$$Emisi\ CO_2\ gas = konsumsi\ gas \times Emisi\ gas$$

**Submodel Rumah Tangga**

Banyaknya emisi sektor rumah tangga dihitung berdasarkan populasi penduduk Kota Bogor. Diasumsikan pertumbuhan penduduk Kota Bogor setiap tahunnya 2,2% dengan data seperti pada Tabel 4. Setiap orang menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> sampah 0,472

ton/tahun dan emisi CO<sub>2</sub> respirasi 0,365 ton/orang/tahun (Rushayati 2012). Persamaan yang digunakan untuk menghitung emisi rumah tangga adalah sebagai berikut:

$$Emisi\ CO_2\ rumah\ tangga = emisi\ respirasi + emisi\ sampah$$

$$Emisi\ CO_2\ respirasi = jumlah\ penduduk \times FE\ respirasi$$

$$Emisi\ CO_2\ sampah =$$

$$jumlah\ penduduk \times berat\ sampah\ individu \times FE\ sampah$$

**Submodel Peternakan**

Emisi yang dihasilkan dari sektor peternakan terdiri dari emisi fermentasi enterik (ternak besar) dan emisi kotoran hewan (ternak besar dan kecil). Fermentasi enterik merupakan proses pemecahan molekul untuk diserap dalam darah. Spesifikasi emisi ternak dapat dilihat pada Tabel 5 dengan rumus yang digunakan:

$$Emisi\ CO_2\ peternakan = \sum (jumlah\ ternak \times FE\ ternak)$$

Tabel 2 Konsumsi energi gas alam sektor industri Kota Bogor

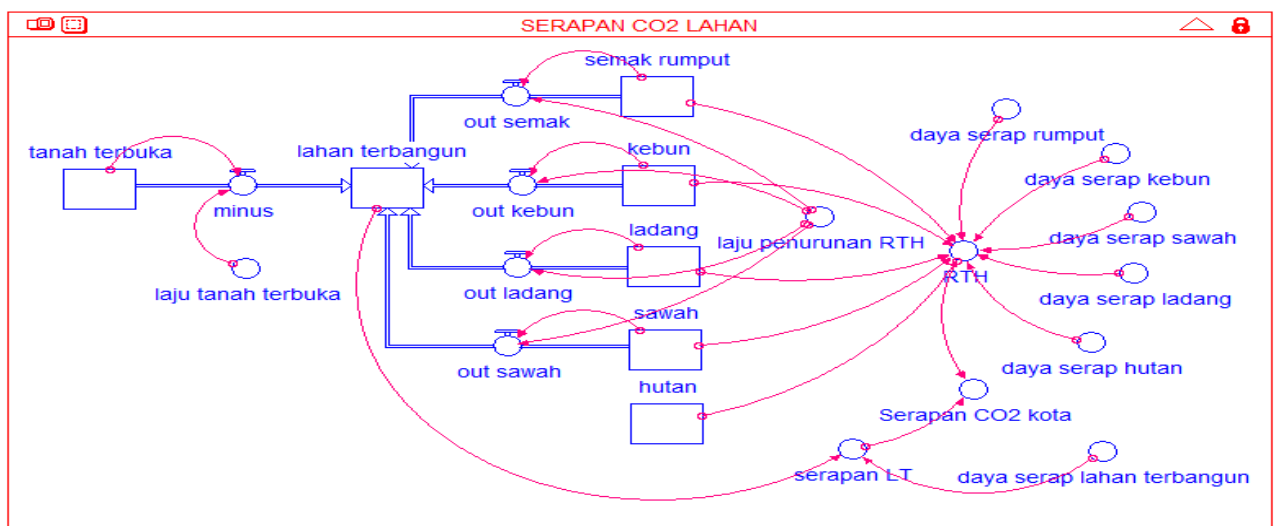
Tahun	Konsumsi energi (m <sup>3</sup> )
2008	306.289.649
2009	348.339.998
2010	395.450.482
2011	435.704.404
2012	446.435.350

Sumber: Perum Gas Negara Cabang Bogor dalam BPS Kota Bogor.

Tabel 1 Daya serap tiap bentuk tutupan lahan

Jenis tutupan lahan	Luas lahan tahun 2012 (ha)	Daya serap CO <sub>2</sub> (ton/ha/tahun)		
		Sekretariat RAN-GRK (ton/ha/tahun)	Wasis <i>et al.</i> 2012 (ton/ha/tahun)	Rata-rata (ton/ha/tahun)
Sawah	1.006	29,36	33,83	31,6
Ladang	1.480	18,35	16,29	17,32
Perkebunan	310	23,12	21,85	22,48
Hutan	150	31,01	27,16	29,08
Semak dan rumput	869	5,5	6,04	5,77
Lahan terbangun	7.500	6,12	4,58	5,35
Tanah terbuka	424	0	0	0

Sumber: BPS Kota Bogor, Wasis *et al.* 2012, dan <http://www.sekretariat-rangrk.org/english/home/9-uncategorised /173-baulahan> [diunduh pada 1 September 2014] (data telah diolah).



Gambar 2 Submodel serapan CO<sub>2</sub>.

Tabel 3 Spesifikasi submodel transportasi Kota Bogor

Jenis kendaraan	Jumlah unit tahun 2012	Laju jumlah kendaraan (% per tahun)	Konsumsi energi spesifik (lt/tahun/unit)	Nilai kalor (TJ/lt)	Faktor emisi CO <sub>2</sub> (kg/TJ)
Mobil bensin	17.112	12,4	1.813,2	$33 \cdot 10^{-6}$	69.300
Mobil diesel	2.935	11,4	2.320,7	$34 \cdot 10^{-6}$	74.100
Bis	142	(-5,5)	4.263,6	$34 \cdot 10^{-6}$	74.100
Sepeda motor	55.444	1,8	550,8	$33 \cdot 10^{-6}$	69.300

Sumber: BPS Kota Bogor, Boer *et al.* 2012, dan BPPT 1993 dalam Sugiyono 2000.

Tabel 4 Jumlah Penduduk Kota Bogor berdasarkan jenis kelamin

Tahun	Laki-laki (jiwa)	Perempuan (jiwa)	Jumlah penduduk (jiwa)
2008	476.476	465.728	942.204
2009	481.559	464.645	946.204
2010	483.630	466.704	950.334
2011	493.761	473.637	967.398
2012	510.884	493.947	1.004.831

Sumber: BPS Kota Bogor.

Tabel 5 Spesifikasi faktor emisi peternakan

Jenis ternak	Jumlah ternak tahun 2012 (ekor)	Emisi kotoran ternak (kg/ekor/tahun)	Emisi fermentasi enterik (kg/ekor/tahun)	Laju jumlah ternak (% per tahun)
Sapi perah	643	713	1.403	(-3,7)
Sapi pedaging	160	23	1.081	0,3
Kerbau	135	46	1.265	25,3
Kuda	76	50,37	414	(-6,1)
Kambing	1.163	5,06	115	(-37,5)
Domba	8.948	4,6	115	2,6
Babi	0	161	23	0
Ayam kampung	201.890	0,46	0	(-5,9)
Ayam ras telur	408	0,46	0	(-23,5)
Ayam ras potong	180.250	0,46	0	2,8
Itik	3.583	0,46	0	28,9

Sumber: BPS Kota Bogor dan Boer *et al.* 2012.

### Model Emisi dan Penyerapan CO<sub>2</sub>

Menggambarkan kondisi keseluruhan sistem emisi dan penyerapan CO<sub>2</sub> Kota Bogor dengan mengakumulasi emisi per sektor dan membandingkannya dengan serapan emisi kota. Laju pada model emisi dan penyerapan CO<sub>2</sub> diasumsikan bersifat tetap sehingga diperoleh hasil seperti pada Gambar 3.

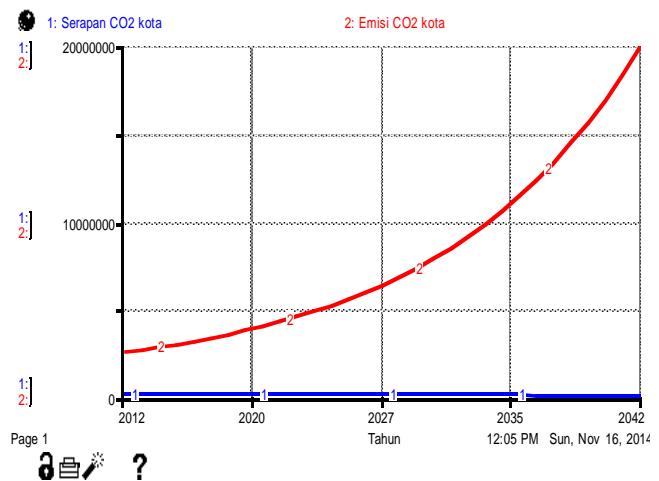
### Evaluasi Model

Evaluasi model dapat dilihat dari Tabel 6. Berdasarkan tabel tersebut semakin banyak jumlah kendaraan maka emisinya juga semakin tinggi. Dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil evaluasi, model dapat mewakili kondisi kenyataan di lapangan.

### Penggunaan Model

#### Kondisi Awal (*Business as Usual*)

Simulasi kondisi awal Kota Bogor atau disebut juga kondisi *business as usual* (BAU) merupakan perbandingan antara emisi CO<sub>2</sub> dan serapan CO<sub>2</sub> Kota Bogor. Pada Gambar 3, terlihat bahwa terdapat *gap* yang sangat tinggi antara emisi CO<sub>2</sub> kota dan serapannya. Besarnya emisi CO<sub>2</sub> Kota Bogor tahun 2012 adalah 2.536.861 ton dan dapat mencapai 20.027.878 ton pada tahun 2042, sedangkan serapan CO<sub>2</sub> Kota Bogor di tahun 2012 sebesar 113.893 ton dan menurun hingga 93.843 ton pada tahun 2042. Model yang dibuat digunakan untuk mengetahui



Gambar 3 Emisi dan serapan CO<sub>2</sub> Kota Bogor pada kondisi *business as usual*.

Tabel 6 Hubungan jumlah kendaraan dan emisi yang dihasilkan

Tahun	Jumlah roda 2 (unit)	Emisi roda 2 (ton)
2012	55.444	7.208
2013	56.442	7.337
2014	57.458	7.470
2015	58.492	7.604
2016	59.545	7.741

Sumber: Data simulasi.

alternatif mengatasi permasalahan emisi tersebut. Pada penelitian ini dikembangkan 5 tahapan skenario pengendalian emisi CO<sub>2</sub> di Kota Bogor berdasarkan konsep kota hijau, yaitu dengan mempertimbangkan aspek lingkungan di berbagai aktivitas.

### Skenario Tahap I: Mempertahankan Luas Minimum RTH

Skenario ini mempertahankan luas minimum RTH Kota Bogor seluas 3.550 ha yang merupakan 30% dari luas kota. Berdasarkan skenario tahap I, mulai tahun 2017 luasan RTH dipertahankan 3.582 ha dan serapan CO<sub>2</sub> Kota Bogor menjadi sekitar 110.000 ton. Berdasarkan skenario ini, laju pembangunan pada tahun 2017 ke depan hanya sebesar laju konversi tanah terbuka, yaitu 9,8% per tahun. Fungsi RTH selain sebagai serapan CO<sub>2</sub> juga sebagai indikator lingkungan (Saraswati 2008). Suatu tempat dengan polusi udara yang tinggi dapat menjadi faktor yang mengindikasikan bahwa fungsi ekologis RTH belum optimal. Oleh karena itu, selain mempertahankan luasan RTH, juga diperlukan upaya untuk mengoptimalkan dan menjaga fungsi RTH baik secara ekologis maupun estetika, terutama untuk RTH publik.

### Skenario Tahap II: Pengelolaan Sampah Organik dan Kotoran Ternak menjadi Biogas

Skenario ini diterapkan dengan mengolah 70% sampah penduduk dan 100% kotoran ternak besar menjadi biogas. Pada pengolahan sampah menjadi biogas, setiap ton sampah menghasilkan 40 m<sup>3</sup> biometan atau setara dengan 9,72 m<sup>3</sup> LPG (Ananthakrishnan *et al.* 2013). Emisi peternakan menurun 98% dan emisi rumah tangga menurun 41% pada akhir simulasi. Pada tahun 2042 simulasi, emisi peternakan yang dihasilkan sebesar 160.128 ton CO<sub>2</sub> menurun hingga 3.551 ton CO<sub>2</sub>. Emisi rumah tangga sekitar 1,5 juta ton CO<sub>2</sub> menjadi 925.000 ton CO<sub>2</sub> setelah skenario diterapkan. Biogas yang dihasilkan pada tahun 2012 sebesar 5.213.699 m<sup>3</sup> atau setara dengan 1.266.292 m<sup>3</sup> LPG. Produksi biogas tersebut meningkat setiap tahunnya mengikuti laju jumlah ternak besar.

### Skenario Tahap III: Substitusi LPG dengan Biogas

Skenario ini merupakan lanjutan dari skenario sebelumnya, yaitu pemanfaatan biogas untuk menggantikan LPG sebagai upaya *green energy*. Berdasarkan skenario ini, emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan LPG mengalami penurunan yang signifikan menjadi 0% emisi.

### Skenario Tahap IV: Substitusi Bahan Bakar Kendaraan Bermotor

Pada skenario ini dilakukan substitusi bensin dengan bahan bakar gas (BBG) dan substitusi diesel (solar) dengan biodiesel (biosolar). Penggunaan BBG diterapkan pada 50% dari total unit mobil bensin, sedangkan biodiesel digunakan semua unit mobil diesel dan bis. Emisi CO<sub>2</sub> sektor transportasi menurun 60% pada tahun 2042 dengan skenario ini. Upaya

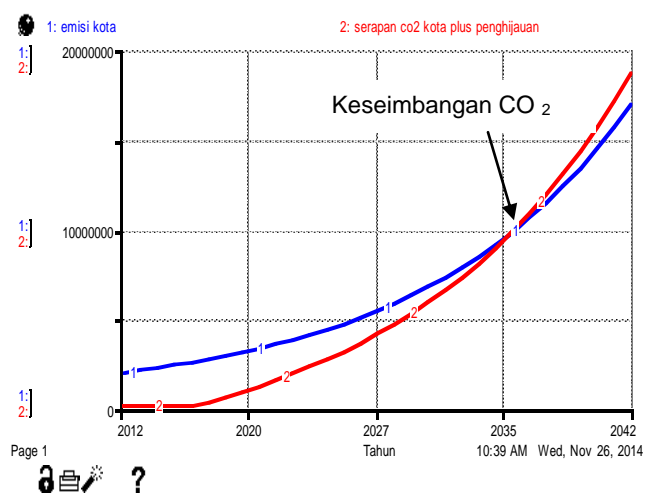
mengurangi gas buang kendaraan dengan mengganti bahan bakar tidak hanya diusahakan di Indonesia, tetapi juga di berbagai negara. Pada tahun 1970 Brazil berusaha mengembangkan bahan bakar alkohol (bioethanol) dengan bahan baku tetes tebu (Soccol *et al.* 2005). Pada tahun 1990 Perancis membuat produk biodiesel dengan bahan dasar *rapeseed* dan diikuti Amerika Serikat membuat bioethanol dengan bahan dasar jagung pada tahun 2005.

### Skenario Tahap V: Penghijauan

Penghijauan merupakan program pelengkap yang ditargetkan untuk menambah serapan CO<sub>2</sub> Kota Bogor, dihitung dari 10% emisi yang dihasilkan setiap tahunnya, dimulai tahun 2016 sampai tercapai keseimbangan antara serapan dan emisi CO<sub>2</sub> di Kota Bogor. Program ini dibebankan pada sektor industri sebagai penyumbang emisi terbesar, dilaksanakan dengan sistem agroforestri, dan mempertimbangkan pemberdayaan masyarakat. Berdasarkan model, penanaman berkisar antara 60–247 ha/tahun per unit industri. Emisi CO<sub>2</sub> dapat terserap secara keseluruhan (keseimbangan emisi CO<sub>2</sub> dan serapan CO<sub>2</sub>) pada tahun 2036 seperti pada Gambar 4.

Program penghijauan ini dapat dilakukan di wilayah Kota Bogor maupun di luar wilayah Kota Bogor. Selain itu, juga dapat dilaksanakan penanaman secara individu untuk menetralkan emisi per kapita. Emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan setiap individu di Kota Bogor (emisi per kapita) sebesar 0,467 ton CO<sub>2</sub>/tahun dihitung berdasarkan limbah dan emisi respirasi per individu. Diasumsikan serapan CO<sub>2</sub> sebuah pohon sebesar 0,29 ton CO<sub>2</sub>/pohon/tahun, maka emisi per kapita dapat dinetralkan dengan penanaman 2 batang pohon/orang/tahun.

Penelitian pemodelan emisi CO<sub>2</sub> sebelumnya telah dilakukan di Jepang oleh Guy dan Levine (2001). Pada penelitian tersebut, target penurunan emisi CO<sub>2</sub> di Jepang sebesar 14.982.666 ton CO<sub>2</sub>/tahun. Penelitian Guy dan Levine menggunakan skenario reforestasi untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub>, yaitu seluas



Gambar 4 Perbandingan emisi CO<sub>2</sub> kota dan serapan CO<sub>2</sub> kota dengan penghijauan.

120.607 ha/tahun untuk jangka waktu 10 tahun (2001–2011). Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan beban Kota Bogor untuk menurunkan emisi CO<sub>2</sub> cenderung lebih ringan dibandingkan di Jepang, melihat jangka waktunya, yaitu selama 20 tahun dan total penanaman sekitar 405.300 hektar.

## KESIMPULAN

Emisi CO<sub>2</sub> Kota Bogor diperkirakan mencapai 20.027.878 ton sedangkan penyerapannya 93.843 ton pada tahun 2042. Alternatif upaya mitigasi gabungan di beberapa sektor dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 2.797.667 ton sampai tercapai keseimbangan antara serapan dan emisi CO<sub>2</sub>, yaitu pada tahun 2036 dengan penghijauan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ananthakrishnan R, Sudhakar K, Goyal A, Sravan SS. 2013. Economic Feasibility of Substituting LPG with Biogas for MANIT Hostels. *International Journal of Chemtech Research*. 5(2): 891–893.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2008. *Kota Bogor Dalam Angka 2008*.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2009. *Kota Bogor Dalam Angka 2009*.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2010. *Kota Bogor Dalam Angka 2010*.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2011. *Kota Bogor Dalam Angka 2011*.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2012. *Kota Bogor Dalam Angka 2012*.
- Boer R, Dewi RG, Siagian UWR, Ardiansyah M, Surmaini E, Ridha DM, Gani M, Rukmi WA, Gunawan A, Utomo P, Setiawan G, Irwani S, Parinderati R. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup.
- Dahlan EN. 2011. Kebutuhan luasan areal hutan kota sebagai rosot (sink) gas CO<sub>2</sub> untuk mengantisipasi penurunan luasan ruang terbuka hijau di Kota Bogor. *Forum Geografi*. 25(2): 164–177.
- Friedlingstein P, Houghton RA, Marland G. 2010. Update on CO<sub>2</sub> emissions. *Nature Geoscience*. 3(12): 811–812. doi: 10.1038/ngeo1022.
- Guy ED, Levine NS. 2001. GIS modeling and analysis of Ohio's CO<sub>2</sub> budget: mitigation CO<sub>2</sub> emissions through reforestation. *Ohio Journal of Science (Ohio Academy of Science)*. 101(3): 34–41.
- Houghton RA, House JI, Pongratz J, Van der Werf GR, DeFries RS, Hansen MC, Le Qu'ér'e C, Ramankutty N. 2012. Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeoscience*. 9(12): 5125–5142.
- Pratiwi WAK, Hermana J. 2013. Analisis pengurangan emisi CO<sub>2</sub> melalui manajemen penggunaan listrik dan ketersediaan ruang terbuka hijau di Gedung Perkantoran Pemerintah Kota Surabaya. *Jurnal Teknik Pomits*. 2(3): 214–217.
- Purnomo H. 2012. *Pemodelan dan Simulasi untuk Pengelolaan Adaptif Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. IPB Press, Bogor (ID).
- Rushayati SB. 2012. Model kota hijau di Kabupaten Bandung Jawa Barat. [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Saraswati AA. 2008. Keberadaan ruang terbuka hijau dalam kawasan industri. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Edisi Khusus: 01–08.
- Soccol CR, Vandenberghe LPS, Costa B, Woiciechowski AL, Carvalho JC, Medeiros ABP, Francisco AM, Bonomi LJ. 2005. Brazilian biofuel program: An overview. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 64(11): 897–904.
- Sugiyono A. 2000. Studi pendahuluan untuk analisis energi – exergi Kota Jakarta. [Laporan teknis]. Jakarta (ID): Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Wasis B, Saharjo BH, Arifin HS, Prasetyo ANN. 2012. Perubahan penutupan lahan dan dampaknya terhadap stok karbon permukaan pada Daerah Aliran Sungai Ciliwung [Land covers change and its impact to carbon stocks in Watershed Ciliwung]. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 03(02): 108–113.
- Wulandari MT, Hermawan, Purwanto. 2013. *Kajian Emisi CO<sub>2</sub> berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga sebagai Penyebab Pemanasan Global (Studi Kasus perumahan Sebantengan, Gedung Asri, Susukan RW 07 Kab. Semarang)*. Seminar Nasional Pengelolaan Sumber daya Alam dan Lingkungan; 2013 Agust 27; Semarang, Indonesia. Semarang (ID): Universitas Diponegoro. hlm 434–440.