

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

Basuki Wasis¹, Bambang Hero Saharjo¹, Hadi Susilo Arifin², Arief Nugroho Nur Prasetyo^{1*}

¹ Departemen Silviculture Fakultas Kehutanan IPB

² Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian IPB

* Penulis korespondensi: email: arief.n2p@gmail.com

ABSTRACT

Land cover changes will affect the ecological condition of the watershed. Currently, the conversion of natural forests into agricultural land has been one of the main causes of deforestation in Indonesia. The changes could give impact to erosion, increased run off and sedimentation, loss of biodiversity, change of micro climate, the release of carbon and Green House Gas (GHG) into the air, etc. This problem has been going on in Watershed Ciliwung. Forest area, as sources of carbon deposits and carbon absorbents, has limited area along with increasing extents of build up areas. Therefore, it's estimated the ecological changes will be extended, then will affect the amount of carbon stocks in Watershed Ciliwung. The objectives of research are to determine land cover changes during the last twenty years, to analyze actual carbon stocks in watershed Ciliwung, and to analyze the effect of land cover changes in over twenty years of greenhouse gases, especially CO₂. This research used three samples plot on each of the existing land cover. Biomass approach was used in order to estimate carbon stock. Changes in carbon stocks were calculated by using interpolation based on the actual carbon stocks in 2011. The research results showed that build up areas was increased 153,36% during twenty years. The highest potensial carbon stocks was found in pines forests, which is 144,99 tons/ha. Over the last twenty years, carbon stocks in watershed Ciliwung is declined 42.329,75 tons carbon or 155.350,182 tons CO₂e.

Keywords: biomass approach, CO₂, Green House Gas, twenty years.

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang di batasi punggung-punggung gunung dengan air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan akan dialirkan melalui sungai-sungai kecil ke sungai utama (Asdak 2004). Maka, karena setiap permukaan bumi memiliki ketinggian dan kemiringan tertentu dan mengalirkan air hujan (presipitasi), pada akhirnya akan membentuk DAS. Sehingga, pada hakikatnya seluruh daratan di muka bumi ini terbagi habis atas DAS.

Selain itu, berdasarkan susunan ekologis, DAS memiliki ekosistem daratan yang lengkap. Menurut Dixon dan Easter (1986 dalam Anonim 2010) disebutkan bahwa DAS merupakan penyatu ekosistem alami antara wilayah hulu (dari puncak gunung/bukit) dengan wilayah hilir (sampai dengan muara sungai dan wilayah pantai yang masih terpengaruh daratan) melalui siklus/daur hidrologi/air. Oleh karena itu, DAS seringkali dijadikan sebagai basis teritorial dalam melakukan berbagai riset penelitian.

Perubahan penggunaan lahan akan mempengaruhi kondisi ekologis dari suatu DAS tertentu. Perubahan itu dapat berupa erosi, peningkatan aliran permukaan (*run off*), peningkatan sedimentasi, kehilangan keanekaragaman hayati, perubahan iklim mikro, pelepasan

karbon ke udara, peningkatan Gas Rumah Kaca (GRK), atau lainnya. Hasil

penelitian Tomich *et al.* (1997 dalam Hairiah dan Rahayu 2007) memperlihatkan bahwa cadangan karbon (C) yang tersimpan pada hutan alam jauh lebih besar dari tata guna lahan yang lainnya. Oleh karena itu, hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan berumur panjang dan seresah yang banyak merupakan gudang penyimpan C tertinggi. Bila hutan diubah fungsinya menjadi lahan-lahan pertanian atau perkebunan atau pemukiman, maka jumlah C tersimpan akan merosot (Hairiah dan Rahayu 2007).

Saat ini, konversi hutan alam menjadi lahan pertanian telah menjadi salah satu penyebab utama deforestasi di Indonesia (Sulistyawati *et al.* 2008). Salah satu di antara yang mengalami perubahan itu adalah DAS Ciliwung. Menurut Kaswanto *et al.* (2010), luasan hutan, sebagai sumber simpanan dan penyerap karbon, pada DAS Ciliwung semakin sempit, seiring dengan bertambahnya luasan ruang terbangun. Selain itu, di sepanjang DAS ini terdapat tiga kota besar, yaitu ibukota Jakarta, dan dua kota satelit yang masih terus membangun; Bogor dan Depok. Sehingga, bila kondisi ini terus berlanjut, dapat diperkirakan bahwa akan terus terjadi perubahan ekologis yang akan berpengaruh pada stok karbon di DAS Ciliwung. Menurut Adinugroho (2012), pola tutupan lahan pada suatu DAS sangat

menentukan kemampuannya dalam mensekuestrasi karbon.

Di sisi lain, pemerintah Indonesia telah membuat target yang jelas serta berupaya keras untuk mengurangi GRK dari emisi karbon sampai lebih dari 26% pada 2020 dengan menggunakan biaya sendiri, atau 41% dengan bantuan internasional. Untuk itu analisis perubahan karbon yang ditimbun (stok karbon) dan karbon yang diserap per tahunnya dalam setiap lahan di DAS Ciliwung menjadi perlu dilakukan, dengan harapan dapat turut membantu program pemerintah untuk memperkirakan akibat yang terjadi terhadap kondisi GRK di DAS Ciliwung karena perubahan penutupan lahan selama dua dekade ini.

TUJUAN PENELITIAN

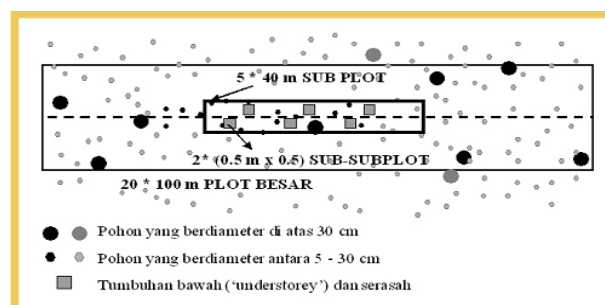
Penelitian ini bertujuan untuk:

1. menganalisis jumlah karbon tersimpan pada tiap penutupan lahan di DAS Ciliwung,
2. menganalisis perubahan RTH sejak tahun 1990 – 2011,
3. menilai dampak perubahan RTH sejak tahun 1990 – 2011 terhadap kondisi GRK di DAS Ciliwung.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung yang terletak pada $6^{\circ} 6' 00'' - 6^{\circ} 46' 12''$ LS dan $106^{\circ} 48' 36'' - 107^{\circ} 00' 00''$ BT. Berdasarkan batas administrasi, wilayah ini melingkupi Kabupaten Bogor, Kota Bogor, Kota Depok, Kota Bekasi, dan Provinsi DKI Jakarta. DAS ini memiliki panjang sungai utama sepanjang 82,9 km (BPDAS Citarum-Ciliwung 2011), dengan luas total area sebesar 38.610,25 ha (BAPLAN 2012). Sampling dilakukan pada 7 klasifikasi penutupan lahan dan 3 kali ulangan pada tiap klasifikasi penutupan lahan. Petak pengamatan berukuran 5 m x 40 m jika tidak ada pohon dengan diameter 30 cm, dan berukuran 20 m x 100 m jika terdapat pohon yang berukuran ≥ 30 cm. pada tiap plot sampel digunakan sub plot berukuran 0,5 m x 0,5 m sebanyak 6 plot untuk pengukuran serasah dan tumbuhan bawah (Gambar 1). Penelitian dilakukan mulai bulan September 2011 sampai dengan bulan Maret 2012. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: oven, timbangan elektrik, meteran dan *phi band*, haga, kertas label, plastik bening, alat tulis, *Global Positioning System* (GPS), alat dokumentasi, program Arcview 3.1. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: peta penutupan lahan DAS Ciliwung tahun 1990, 2000, dan 2011 dari Badan Planologi Nasional (BAPLAN) tahun 2012, sampel tumbuhan bawah dan serasah. Beberapa variabel yang diamati dalam penelitian ini antara lain, diameter pohon sampel, jumlah dan jenis tanaman sampel, berat biomassa tanaman dan pohon sampel, perubahan penutupan lahan pada tahun 1990 – 2011.

Perubahan penutupan lahan dilakukan berdasarkan klasifikasi penutupan lahan yang ada di DAS Ciliwung. Klasifikasi penutupan lahan dilakukan dengan menggunakan data dari Badan Planologi Nasional (BAPLAN 2012). Peta tersebut diolah dari citra Landsat ETM7+ dengan skala 1:250.000, dan resolusi 90 m x 90 m. Dalam proses klasifikasi ini peta penutupan lahan dari BAPLAN disesuaikan dengan kebutuhan penelitian sehingga menjadi beberapa tipe penutupan lahan yang utama. Dataset area contoh dikumpulkan pada saat kegiatan pengecekan lapangan. Letak area contoh di lapangan direkam dengan GPS. Kelas penutupan lahan yang dapat diidentifikasi di lapangan selama kegiatan pengecekan lapangan sebanyak 7 kelas. Data perubahan penutupan lahan yang digunakan dalam proses ini berupa data yang berasal dari peta penutupan lahan multiwaktu/temporal. Citra terklasifikasi DAS Ciliwung tahun 1990, 2000 dan 2011 dibandingkan satu dengan lainnya untuk menghitung perubahan penutupan lahan.



Gambar 1 Bentuk plot contoh

Analisis Perubahan Penutupan Lahan

Penilaian Stok Karbon

Perhitungan biomassa tumbuhan bawah dan serasah dilakukan dengan cara *destructive*, yaitu dengan menggunakan pengovenan sehingga didapatkan berat keringnya. Sedangkan penentuan biomassa pohon dilakukan dengan metode *non-destructive* sampling, yaitu dengan menggunakan pendekatan biomassa melalui perhitungan volume dan berat jenis. Volume pohon didapat dengan menggunakan diameter setinggi dada sebagai diameter. Berat jenis (BJ) kayu didapat dari masing-masing jenis pohon melalui pengovenan dan pendekatan literatur.

- Berat kering tumbuhan bawah:

$$\text{Total BK (g)} = \frac{\text{BK subcontoh (g)}}{\text{BB subcontoh (g)}} \times \text{Total BB (g)}$$

- Volume (cm³): $\pi R^2 T f$

Keterangan:

R = jari-jari potongan kayu = $\frac{1}{2}$ x Diameter (cm)

T = panjang kayu (cm)

f = bilangan bentuk

- Berat jenis:

$$\text{BJ} = \frac{\text{Massa jenis benda}}{\text{Massa jenis air}}$$

Keterangan: BK = berat kering dan BB = berat basah

Konsentrasi karbon (C) dalam bahan organik biasanya sekitar 46%, oleh karena itu estimasi jumlah C tersimpan per komponen dapat dihitung dengan mengalikan total berat masanya dengan konsentrasi C (Hairiah dan Rahayu 2007). Penghitungan C tersimpan yang ada pada tingkat DAS (kawasan) dengan cara, mengalikan nilai rata-rata penyimpanan C per sistem penutupan lahan dengan jumlah luasannya sehingga penyimpanan C per kawasan dapat diketahui.

Penilaian Dampak Perubahan RTH Terhadap Peningkatan GRK

Penilaian dampak perubahan RTH dilakukan dengan menggabungkan dua analisis perhitungan, yaitu: 1) penutupan lahan pada tahun 1990, 2000, serta 2011; dan 2) stok karbon pada tiap penutupan lahan dengan acuan data lapang tahun 2011. Dari perbandingan data penutupan lahan pada tahun 1990, 2000, dan 2011 maka dapat diketahui perubahan penutupan lahan selama dua puluh tahun. Kemudian dengan data perubahan tersebut, tiap penutupan lahan dikonversi ke dalam stok karbon dengan mengacu pada data lapang tahun 2011, sehingga dapat diketahui perubahan stok karbon yang terjadi selama sekitar dua puluh tahun. Serapan CO₂ dihitung dengan menggunakan perbandingan massa molekul relatif CO₂ (44) dan massa atom relatif C (12) sehingga serapan CO₂ = 3,67 X cadangan karbon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Perubahan Penutupan Lahan

Kondisi DAS Ciliwung berdasarkan data olahan BAPLAN tahun 2012 menghasilkan tujuh kelas penutupan lahan, yaitu kelas hutan alam, hutan tanaman, perkebunan, ruang terbangun, pertanian lahan kering, sawah, dan semak. Berdasarkan hasil analisa perubahan penutupan lahan di DAS Ciliwung (Tabel 1 dan Gambar 2) terlihat kecenderungan penurunan penutupan areal bervegetasi di luar ruang terbangun.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa tutupan yang paling luas mengalami peningkatannya adalah ruang terbangun. Pada sepuluh tahun pertama (tahun 1990-2000), luas ruang terbangun meningkat dari 7.294,38 ha menjadi 8.475,61 ha, sedangkan pada sepuluh tahun berikutnya (tahun 2000-2011), luas ruang terbangun meningkat lebih besar menjadi 18.480,82 ha. Hal ini berarti total peningkatan dari tahun 1990 ke 2011 adalah sebesar 153,36% dari luas ruang terbangun semula.

Tabel 1 Perubahan penutupan lahan selama dua dekade di DAS Ciliwung.

Jenis Penutupan Lahan	1990 (ha)	2000 (ha)	2011 (ha)	Perubahan LC (%)
Permukiman	7.294,38	8.475,61	18.480,82	153,36
Kebun	11.159,62	11.152,79	10.323,63	-7,49
Hutan alam	4.362,41	4.362,41	3.922,68	-10,08
Pertanian lahan kering	13.918,22	12.931,24	3.773,04	-72,89
Hutan tanaman	1.522,02	1.522,02	1.961,76	28,89
Semak belukar	237,80	145,83	127,97	-46,19
Sawah	115,80	20,36	20,36	-82,42
	38.610,25	38.610,25	38.610,25	

Sumber: BAPLAN (2012)

Diketahui bahwa antara tahun 1990 – 2000, areal kebun seluas 6,84ha berubah fungsinya menjadi areal ruang terbangun. Areal pertanian lahan kering juga mengalami perubahan menjadi areal ruang terbangun seluas 986,98 ha. Berdasarkan analisis peta, lokasi areal pertanian lahan kering yang paling banyak terkonversi menjadi areal ruang terbangun pada dekade ini berada pada daerah Depok, dan sebagian kecil di wilayah Jakarta. Selain itu, areal semak juga mengalami konversi menjadi areal ruang terbangun seluas 91,97 ha. Sedangkan areal sawah yang terkonversi menjadi permukaan seluas 95,44 ha. Hasil dari konversi lahan ini mengakibatkan luasan areal ruang terbangun antara tahun 1990 – 2000 meningkat total seluas 1.181,23 ha menjadi 8.475,61 pada tahun 2000 dari luasan semula 7.294,38 ha pada tahun 1990. Pada tahun 2000 – 2011, areal kebun mengalami konversi menjadi areal ruang terbangun. Areal kebun yang berubah ini seluas 829,16 ha yang berada di wilayah Bogor dan sebagian lagi di Depok (Tabel 2).

Sejak akhir delapan puluhan telah muncul kota-kota baru, yaitu merupakan kota-kota yang direncanakan pembangunannya oleh pengembang. Kota baru ini merupakan “satellite city” yang dibangun di wilayah sub-urban dan mengelilingi kota utamanya. Sebagai contoh, kota-kota baru tersebut sebagai pusat ruang terbangun yang memiliki infrastruktur an fasilitas yang lengkap banyak tumbuh di seputar Jakarta, Bogor, Tangerang, Depok, dan Bekasi (Arifin 2011). Dari alamat property di Jabodetabek (Livingestate 2011 dalam Arifin 2011), tercatat ada 17 pengembang perumahan di Jakarta, 31 di Bogor, 19 di Depok, 45 di Tangerang, dan 144 di Bekasi. Hal ini salah satu yang menyebabkan meningkatnya ruang terbangun pada DAS Ciliwung.

Penilaian Stok Karbon

Cadangan karbon pada suatu lanskap bervariasi sesuai dengan tegakan penyusun lanskap tersebut. Menurut Adinugroho (2012), pola tutupan lahan pada suatu DAS sangat menentukan kemampuannya dalam mensekuestrasi karbon. Berdasarkan hasil penelitian, tutupan lahan pada DAS Ciliwung memiliki cadangan potensi karbon yang bervariasi dari 144,99 – 2,50 ton/ha dimana ruang terbangun mempunyai nilai yang terendah (2,50 ton/ha). Sedangkan potensi cadangan karbon tertinggi terdapat pada hutan pinus, yaitu 144,84 ton/ha (Tabel 3). Stok karbon permukaan pada berbagai penutupan lahan di DAS Ciliwung dengan asumsi fraksi karbon sebesar 0,46 (Hairiah dan Rahayu 2007).

Penilaian Dampak Perubahan RTH Terhadap Peningkatan GRK

Berdasarkan hasil penelitian dengan melihat perubahan luasan lahan dengan nilai simpanan karbon aktual pada tahun 2011, maka pada tahun 2011, DAS Ciliwung memiliki cadangan karbon sebesar 1.091.666,15 ton karbon, sedangkan pada tahun 2000, DAS Ciliwung memiliki cadangan karbon sebesar 1.117.220,93 ton karbon, dan pada tahun 1990 DAS Ciliwung memiliki cadangan karbon sebesar

1.119.746,79 ton karbon (Tabel 4). Dengan menggunakan perbandingan massa molekul relatif CO₂ (44) dan massa atom relatif C (12), maka serapan CO₂ adalah 3,67 x cadangan karbon. Sehingga serapan CO₂ pada tahun 1990, 2000, dan 2011 berturut-turut adalah 4.109.470,72 ton CO₂e; 4.100.200,83 ton CO₂e; dan 4.006.414,76 ton CO₂e.

Tabel 3 Potensi karbon pada berbagai penutupan lahan di DAS Ciliwung

No	Penutupan Lahan	Potensi Karbon (ton/ha)
1	Hutan alam	111,20
2	Hutan tanaman	144,99
3	Semak	4,94
4	Kebun	29,77
5	Sawah	4,61
6	Ruang terbangun	2,50
7	Pertanian lahan kering	4,44

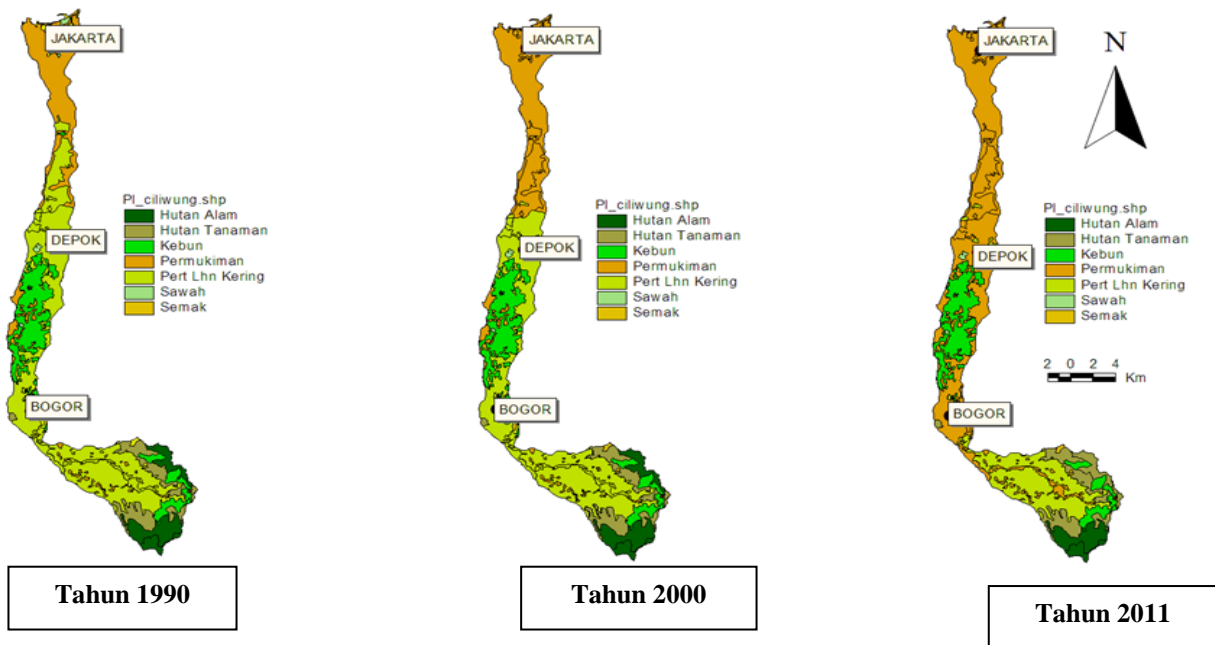
Dari data tersebut terlihat bahwa selama dua puluh tahun terakhir terdapat kecenderungan yang terus menurun terhadap cadangan karbon pada DAS Ciliwung yaitu sebesar 2.525,86 ton karbon antara tahun 1990 sampai 2000, dan 25.554,79 ton karbon antara tahun 2000 sampai 2011, atau sebesar total 28.080,64 ton karbon atau 103.055,96 ton CO₂e.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat perubahan tutupan lahan di DAS Ciliwung selama dua puluh tahun (1990-2011). Perubahan terbesar adalah bertambahnya tutupan ruang terbangun yang meningkat sebesar 153,36% dari tahun 1990.
2. Tutupan lahan pada DAS Ciliwung memiliki cadangan potensi karbon yang bervariasi dari 2,50–144,99 ton/ha di mana ruang terbangun mempunyai nilai yang terendah (2,50 ton/ha). Sedangkan potensi cadangan karbon tertinggi terdapat pada hutan pinus, yaitu 144,99 ton/ha. Dalam skala DAS, cadangan karbon pada DAS Ciliwung di tahun 2011 adalah sebesar 1.091.666,15 ton karbon.
3. Selama tahun 1990 sampai 2011 terdapat kecenderungan yang terus menurun terhadap cadangan karbon di DAS Ciliwung yaitu menurun sebesar 2.525,86 ton karbon antara tahun 1990 sampai 2000, dan menurun sebesar 25.554,79 ton karbon antara tahun 2000 sampai 2011, atau penurunan total sebesar 28.080,64 ton karbon atau 103.055,96 ton CO₂e.



Sumber: BAPLAN (2012)

Gambar 2 Perubahan penutupan lahan di DAS Ciliwung.

Tabel 2 Perubahan penutupan lahan DAS Ciliwung tahun 1990 - 2000

Jenis Penutupan Lahan	2000							
	Ruang terbangun	Kebun	Hutan alam	Pertanian lahan kering	Hutan tanaman	Semak	Sawah	TOTAL (ha)
Ruang terbangun	7.294,38	-	-	-	-	-	-	7.294,38
Kebun	6,84	11.152,79	-	-	-	-	-	11.159,62
Hutan alam	-	-	4.362,41	-	-	-	-	4.362,41
Pertanian lahan kering	986,98	-	-	12.931,24	-	-	-	13.918,22
Hutan tanaman	-	-	-	-	1.522,02	-	-	1.522,02
Semak belukar	91,97	-	-	-	-	45,83	-	237,80
Sawah	95,44	-	-	-	-	-	20,36	115,80
TOTAL (ha)	8.475,61	11.152,79	4.362,41	12.931,24	1.522,02	145,83	20,36	38.610,25

Tabel 3 Perubahan penutupan lahan DAS Ciliwung tahun 2000 - 2011

Jenis Penutupan Lahan	2011							
	Ruang terbangun	Kebun	Hutan alam	Pertanian lahan kering	Hutan tanaman	Semak	Sawah	TOTAL (ha)
Ruang terbangun	8.475,61	-	-	-	-	-	-	8.475,61
Kebun	829,16	10.323,63	-	-	-	-	-	11.152,79
Hutan alam	-	-	3.922,68	-	439,74	-	-	4.362,41
Pertanian lahan kering	9.158,20	-	-	3.773,04	-	-	-	12.931,24
Hutan tanaman	-	-	-	-	1.522,02	-	-	1.522,02
Semak belukar	17,86	-	-	-	-	127,97	-	145,83
Sawah	-	-	-	-	-	-	20,36	20,36
TOTAL (ha)	18.480,82	10.323,63	3.922,68	3.773,04	1.961,76	127,97	20,36	38.610,25

Tabel 4 Cadangan karbon pada tiap tutupan lahan tahun 1990, 2000, 2011 di DAS Ciliwung

No	Penutupan lahan	Tahun		
		1990	2000	2011
1	Hutan alam	485108,51	485108,51	436208,92
2	Kebun	332264,61	332061,09	307373,89
3	Hutan tanaman	220679,73	220679,73	284437,86
4	Ruang terbangun	18.226,06	21.177,54	46.177,02
5	Pertanian lahan kering	61758,78	57379,29	16741,98
6	Semak	1175,74	721,00	632,71
7	Sawah	533,35	93,77	93,77
	Total	1.119.746,79	1.117.220,93	1.091.666,15
	Total CO ₂ e	4.109.470,72	4.100.200,83	4.006.414,76

Saran

Berdasarkan penelitian ini, beberapa hal yang dapat direkomendasikan adalah sebagai berikut:

1. Mengoptimalkan lahan pribadi seperti pekarangan dan areal pertanian lahan kering dapat membantu penyerapan karbon di udara. Lahan pribadi yang disusun dengan jenis tanaman buah-buahan dan kayu dengan daya serap CO₂ tinggi sangat berpotensi untuk menjadi karbon sequester.
2. Pada kawasan ruang terbangun, antara lain permukiman modern, perkantoran, gedung industri, ketersediaan ruang terbuka hijau menjadi syarat yang harus disediakan oleh pengembang maupun pengusaha untuk meningkatkan cadangan karbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho WC. 2012. Kontribusi Sistem Agroforestri Terhadap Cadangan Karbon di Hulu DAS Kali Bekasi. [Tesis]. Bogor: Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- [Anonim]. 2010. Rencana Penelitian Integratif: Sistem Pengelolaan DAS Hulu, Lintas Kabupaten, Lintas Provinsi.
- Arifin HS. 2011. Konsep Kota Hijau – Kota Ekologis – Kota Yang Berkelanjutan dan Implementasinya di Indonesia. Workshop Green City 2011.
- Asdak C. 2004. Hirologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [BAPLAN] Badan Planologi Nasional. 2012. Peta Tutupan Lahan DAS Ciliwung.

- [BPDAS Citarum-Ciliwung] 2011. Balai Pengelola Daerah Aliran Sungai Citarum-Ciliwung. Penyusunan Rencana Tindak Pengelolaan DAS Ciliwung. Bogor: BPDAS Citarum-Ciliwung.
- Hairiah K, Rahayu S. 2007. Pengukuran “Karbon Tersimpan” di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. World Agroforestry Centre.
- Kaswanto RL, Nakagoshi N, Arifin HS. 2010. *Impact of Land Use Changes on Spatial Pattern of Landscape During Two Decades (1989 – 2009) in West Java Region*. Hikobia 15: 363-376.
- Sulistiyawati E, Ulumuddin YI, Zuhri M. 2008. *Land-use Change in Mount Papandayan: Its Associated Impacts on Biodiversity and Carbon Stock*. Paper of International Conference on Environmental Research and Technology.