

EMISI DAN SEKUESTRASI KARBON DARI KEGIATAN PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DI KABUPATEN CIAMIS, JAWA BARAT

Yonky Indrajaya dan M. Siarudin
Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Agroforestry
Email: yonky_indrajaya@yahoo.com

ABSTRAK - Kegiatan perubahan penggunaan lahan dan kehutanan (LULUCF) merupakan salah satu sumber emisi karbon. Penurunan laju emisi karbon dari deforestasi, degradasi hutan, dan peningkatan stok karbon dapat berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim. Kabupaten Ciamis dapat berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim melalui kegiatan pengurangan laju deforestasi dan peningkatan stok karbon. Tulisan ini bertujuan untuk menganalisis emisi dan sekuestrasi karbon yang disebabkan oleh kegiatan LULUCF di Kabupaten Ciamis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah matriks transisi perubahan penggunaan lahan dan diproses menggunakan perangkat lunak ABACUS. Hasil dari penelitian ini adalah: (1) Jumlah emisi, sekuestrasi dan net emisi yang terjadi di Kabupaten Ciamis akibat perubahan penggunaan lahan dari tahun 2000 – 2013 berturut-turut adalah sebesar: 230.606, 624, 229.981 ton CO₂-eq/Tahun, (2) Jumlah net emisi pada skenario 1-4 berturut-turut adalah sebesar 105.152, 61.218, 103.855, 14.114 ton CO₂-eq/Tahun, (3) Pengurangan laju deforestasi sebanyak 50% berkontribusi signifikan terhadap emisi yang terjadi, dan (4) peningkatan stok karbon pada pertanian lahan kering dapat meningkatkan stok karbon secara signifikan.

Kata kunci: emisi, perubahan penggunaan lahan, Kabupaten Ciamis

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kegiatan deforestasi dan degradasi hutan merupakan kegiatan yang dapat mengakibatkan emisi karbon dioksida di udara. Indonesia merupakan negara dengan tingkat emisi tertinggi di dunia yang berasal dari kegiatan perubahan penggunaan lahan dan kehutanan/LULUCF (Baumert et al., 2005). Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk menurunkan laju emisi dari kegiatan deforestasi dan degradasi hutan sebesar 26% pada tahun 2020 tanpa bantuan dari luar negeri hingga 41% apabila ada bantuan dari luar negeri (Peraturan Presiden, 2011).

Komitmen pemerintah pusat untuk melakukan kegiatan mitigasi perubahan iklim telah tertuang dalam Rencana Aksi Gas Rumah Kaca (RAN GRK) pada tahun 2011 (Peraturan Presiden, 2011). Hal ini telah merubah titik berat pembangunan yang lebih menekankan pada pembangunan rendah emisi melalui pengurangan laju deforestasi dan peningkatan stok karbon vegetasi.

Kabupaten Ciamis sebagai salah satu sentra hutan rakyat (Diniyati and Awang, 2010, Sukrianto and Subarudi, 2007) yang dikelola dengan sistem

agroforestry berpotensi untuk ikut berkontribusi dalam pembangunan rendah emisi dengan jalan mengurangi perubahan tutupan lahan hutan ke non hutan. Selain itu, peningkatan stok karbon dapat pula dilakukan dengan perubahan penggunaan lahan pertanian monokultur ke pola agroforestry (Atangana et al., 2014).

Berbagai penelitian tentang karbon yang tersimpan dalam biomassa agroforestry telah banyak dilakukan (Nair et al., 2009). Albrecht dan Kandji (2003) misalnya menyebutkan bahwa jumlah C yang dapat disimpan dalam sistem agroforestry di daerah tropis adalah antara 12 – 228 ton ha⁻¹ dengan nilai tengah sebanyak 95 ton ha⁻¹. Penelitian yang dilakukan oleh Ginoga et al. (2004) di Kabupaten Tasikmalaya dan Ciamis menunjukkan bahwa pola agroforestry dapat menyerap karbon berturut-turut antara 20-25 dan 53-92 ton ha⁻¹. Jenis dominan di Kabupaten Tasikmalaya adalah sengon (89%), sedangkan di Kabupaten Ciamis adalah afrika, sengon dan mahoni (70%). Wardah et al. (2011) dalam penelitiannya di Taman Nasional Lore Lindu, Sulawesi Tengah menemukan bahwa sistem agroforestry kompleks yang didominasi oleh kemiri, palem, dan ficus (75%), serta coklat (25%) yang ada di zona penyangga dapat menyimpan karbon hingga 209 ton ha⁻¹. Sementara itu, pada pola agroforestry sederhana yang didominasi oleh coklat (70%) dan selebihnya adalah kemiri (30%) di tempat yang sama hanya menyimpan karbon hingga 126 ton ha⁻¹. Sebuah studi yang cukup komprehensif pada beberapa pola penggunaan lahan di Indonesia menunjukkan bahwa pola agroforestry dapat menyimpan karbon antara 17 ton ha⁻¹ yaitu pada agroforestry kopi hingga 115 ton ha⁻¹ pada agroforestry damar (Swallow et al., 2007).

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dinamika emisi dan sekuestrasi karbon yang terjadi akibat dari perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Ciamis, Provinsi Jawa Barat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi bagi pengambil kebijakan di Kabupaten Ciamis dalam menentukan arah pembangunan yang berorientasi ekonomi dan rendah emisi.

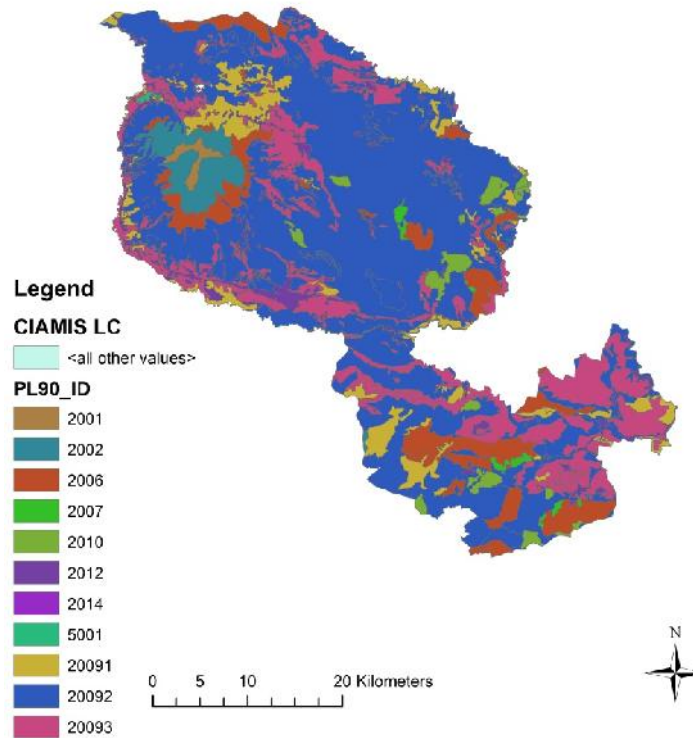
METODE

Kondisi Lokasi Penelitian

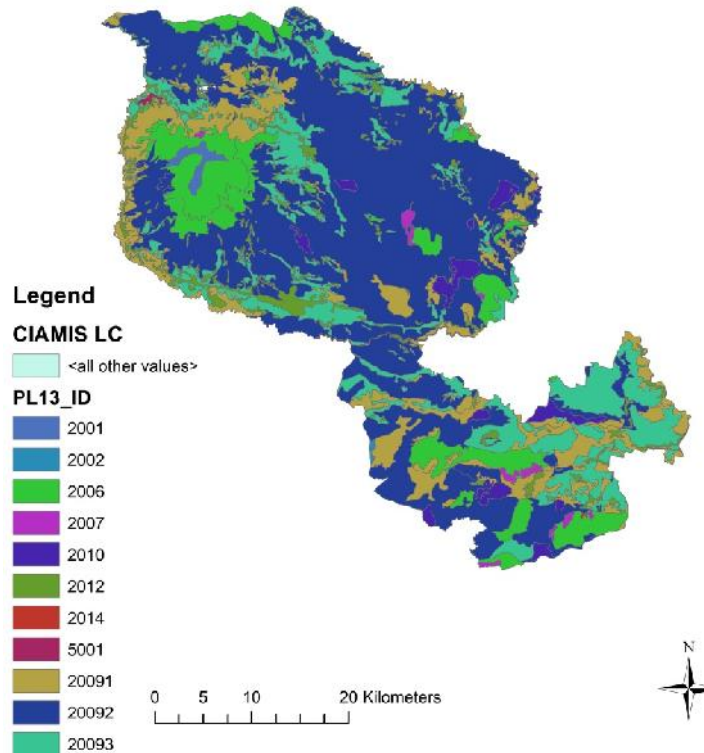
Kabupaten Ciamis terletak di bagian paling timur Provinsi Jawa Barat yang berbatasan dengan Provinsi Jawa Tengah dengan luas 394.279 ha. Sebelum dimekarkan menjadi dua kabupaten, Kab. Ciamis merupakan kabupaten dengan luas hutan rakyat terbesar di Jawa Barat (Sukrianto and Subarudi, 2007). Selain itu, karena adanya kawasan Suaka Margasatwa Gunung Sawal, keberadaan hutan alam juga menambah jumlah kawasan lahan yang ditumbuhi oleh pohon-pohonan.

Suhu rata-rata di Kab. Ciamis antara 20-30^o Celcius, dengan curah hujan tahunan sebesar 3.606 mm dan berdasarkan klasifikasi iklim menurut Schmidt-Ferguson termasuk tipe iklim C (PEMDA Provinsi Jawa Barat, 2015). Jenis tanah yang mendominasi di Kab. Ciamis adalah latosol, podsolik, alluvial, dan grumusol. Morfologi secara umum bergelombang sampai pegunungan, dengan kemiringan

0-40% (PEMDA Provinsi Jawa Barat, 2015). Penggunaan lahan di Kab. Ciamis secara spasial disajikan dalam Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Peta Penggunaan Lahan Kabupaten Ciamis tahun 1990



Gambar 1. Peta Penggunaan Lahan Kabupaten Ciamis tahun 2013

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta tematik sistem penggunaan lahan yang dibuat oleh Badan Planologi Kehutanan dengan klasifikasi kelas penggunaan lahan Baplan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer dengan perangkat lunak Sistem Informasi Geografi (SIG) Arc GIS versi 10.0 tahun 2010 untuk membuat matriks transisi penggunaan lahan.

Perhitungan Emisi dan Sekuestrasi

Model simulasi penggunaan lahan Markov yang telah banyak digunakan oleh para peneliti (Burnham, 1973, Takada et al., 2010) digunakan untuk menganalisis perubahan sistem penggunaan lahan (SPL). Berdasarkan sejarah penggunaan lahan, kita dapat mengestimasi probabilitas perubahan dari satu kelas penggunaan lahan ke kelas penggunaan lahan lainnya. Matriks transisi merupakan matriks yang berisi perubahan penggunaan lahan dari satu kelas penggunaan lahan yang satu ke kelas penggunaan lahan lainnya dalam dua periode observasi. Sementara itu, matriks transisi probabilitas merupakan probabilitas suatu lahan yang berubah dari satu kelas ke kelas lainnya.

Luas penggunaan lahan pada waktu ke t dinotasikan dengan vektor baris $\mathbf{x}_t = x_{it}$, dimana x_{it} merupakan kelas penggunaan lahan $i = 1, \dots, n$. Pada waktu $t + c$, kelas penggunaan lahan direpresentasikan dengan vektor baris $\mathbf{x}_{t+c} = x_{j,t+c}$, dimana $x_{j,t+c}$ merupakan kelas penggunaan lahan $j = 1, \dots, n$. Jumlah tahun antara waktu t dan waktu berikutnya yang diobservasi direpresentasikan dengan c . Matriks transisi penggunaan lahan disajikan dalam matriks \mathbf{A} sebagai berikut:

$$\mathbf{A} = \begin{matrix} & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{matrix}$$

Matriks \mathbf{A} merupakan matriks $n \times n$ yang terdiri dari suatu area a yang pada waktu t merupakan kelas penggunaan lahan i , dan berubah menjadi kelas penggunaan lahan j pada waktu $t + c$.

Tiap penggunaan lahan memiliki rata-rata karbon tersimpan (dalam satuan CO₂ eq.) dalam biomassa yang dinotasikan sebagai vektor $\mathbf{s}_t = s_{it}$, dimana s_{it} merupakan rata-rata karbon tersimpan dalam biomassa dari kelas penggunaan lahan $i, j = 1, \dots, n$. Untuk mengetahui perubahan rata-rata karbon tersimpan dalam biomassa dari kelas penggunaan lahan i menjadi j , maka vektor \mathbf{s}_t yang merupakan vektor berdimensi $n \times 1$ dikalikan dengan vektor berdimensi $1 \times n$ yang semua elemennya merupakan 1. Hasil dari perkalian ini menghasilkan matriks \mathbf{F} , yang merupakan matriks $n \times n$. Matriks perbedaan rata-rata karbon tersimpan dalam biomassa kelas penggunaan lahan \mathbf{D} diperoleh dengan melakukan pengurangan matriks \mathbf{F} dengan matriks \mathbf{F}' : $\mathbf{D} = \mathbf{F} - \mathbf{F}'$

$$\mathbf{D} = \begin{matrix} & d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ & d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ & & & \ddots & \\ & & & & d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{matrix}$$

Emisi terjadi apabila pada tahun ke t penggunaan lahan i menyimpan lebih banyak karbon dibandingkan penggunaan lahan j pada tahun ke $t + c$. Sementara itu, sekuestrasi terjadi apabila jumlah karbon pada penggunaan lahan i pada tahun ke t menyimpan lebih sedikit karbon dibandingkan penggunaan lahan j pada tahun ke $t + c$. Jumlah emisi/sekuestrasi dari perubahan penggunaan lahan merupakan perkalian antara matriks \mathbf{A} dengan \mathbf{D} , yang menghasilkan matriks \mathbf{E} . Total emisi/sekuestrasi dari perubahan penggunaan lahan selama kurun waktu c merupakan penjumlahan semua elemen dalam matriks \mathbf{E} (e_{ij}). Skenario perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan merubah matriks \mathbf{A} .

Pengumpulan dan Analisis Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data perubahan sistem penggunaan lahan (SPL) dan data rata-rata karbon yang tersimpan dalam setiap sistem penggunaan lahannya. Analisis data dilakukan dengan menggunakan software REDD ABACUS/*Abatement Cost Curves* SP (Harja et al., 2011) yang dikembangkan oleh ICRAF mengikuti model perhitungan seperti dijelaskan di atas.

Skenario Perubahan Sistem Penggunaan Lahan

Skenario perubahan penggunaan lahan dilakukan untuk melihat dampak dari perubahan SPL terhadap emisi dan sekuestrasi. Pembuatan skenario perubahan penggunaan lahan dilakukan berdasarkan asumsi yang digunakan oleh penulis. Beberapa skenario perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Ciamis dilakukan berdasarkan sejarah perubahan penggunaan lahan Kab. Ciamis dari tahun 2000-2013. Strategi penurunan emisi yang mungkin dapat dilakukan adalah dengan mengurangi laju deforestasi hingga 50% dan meningkatkan sekuestrasi karbon pada lahan agroforestry. Selain itu, karena adanya pertumbuhan penduduk, diasumsikan lahan sawah dikonversi menjadi pemukiman hingga 10%. Berikut skenario perubahan penggunaan lahan yang dilakukan dalam penelitian ini:

1. Perubahan penggunaan lahan sama dengan perubahan lahan yang terjadi 14 tahun terakhir (baseline)
2. Pengurangan jumlah deforestasi sebanyak 50%
3. Perubahan lahan sawah menjadi pemukiman sebanyak 10%
4. Peningkatan jumlah pertanian lahan kering agroforestry sebanyak 30% yang berasal dari pertanian lahan kering

HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi Historis Kabupaten Ciamis

Analisis perubahan penggunaan lahan dilakukan berdasarkan peta penutupan lahan tahun 1990, 2000, dan 2013 mengikuti sistem klasifikasi

tutupan lahan Badan Planologi Kehutanan. Jumlah cadangan karbon rata-rata yang tersimpan dalam tiap sistem penggunaan lahan (SPL) diperoleh dari studi pustaka (Ekadinata et al., 2010) disajikan dalam Tabel 1. Hasil analisis tutupan lahan di Kabupaten Ciamis dapat disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Karbon tersimpan dan profitabilitas dalam beberapa sistem penggunaan lahan di Kabupaten Ciamis

No	Sistem penggunaan lahan	Rata-rata karbon tersimpan (ton/ha)	Net Present Value (USD/ha)
1	Hutan lahan kering primer	284	0
2	Hutan lahan kering sekunder	189,64	1.081
3	Hutan tanaman	42,5	575
4	Semak /belukar	22,1	0
5	Perkebunan	40	3.424
6	Pemukiman	27	5.785
7	Tanah terbuka	1,49	0
8	Danau	0	0
9	Pertanian lahan kering	0,72	302
10	Pertanian lahan kering bercampur semak /agroforestry	11,4	302
11	Sawah	0,99	2.871

Terdapat 11 sistem penggunaan lahan (SPL) di Kabupaten Ciamis seperti dijelaskan dalam Tabel 1. Sistem penggunaan lahan hutan primer memiliki jumlah karbon tersimpan tertinggi yaitu sebesar 284 ton/ha dengan nilai profitabilitas terendah yaitu 0. Sementara itu, nilai profitabilitas tertinggi adalah pemukiman yaitu sebesar 5.785 USD/ha dengan karbon tersimpan dalam SPL tersebut sebesar 27 ton/ha. Hal ini menunjukkan adanya *trade off* antara jumlah karbon tersimpan dengan profitabilitasnya. Dalam kurun waktu kurang lebih 24 tahun, yaitu dari tahun 1990 – 2013, perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Ciamis seperti disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Luas sistem penggunaan lahan di Kabupaten Ciamis tahun 1990 – 2013

No	Sistem Penggunaan Lahan	Luas dalam ha		
		Tahun 1990	Tahun 2000	Tahun 2013
1	Hutan lahan kering primer	855	855	855
2	Hutan lahan kering sekunder	9.954	9.366	3.885
3	Hutan tanaman	24.430	22.650	27.535
4	Semak /belukar	907	1.399	1.450
5	Perkebunan	5.160	6.296	5.774
6	Pemukiman	9.890	10.114	10.114
7	Tanah terbuka	20	20	20
8	Danau	4.155	4.155	4.155
9	Pertanian lahan kering	56.226	62.921	105.531
10	Pertanian lahan kering bercampur semak /agroforestry	206.827	197.596	196.037
11	Sawah	75.854	78.907	38.922
TOTAL		394.279	394.279	394.279

Tabel 2 menunjukkan adanya penurunan luas hutan sekunder yang cukup tinggi di Kabupaten Ciamis dari tahun 2000 – 2013 yaitu dari 9.366 ha menjadi hanya sekitar 3.885 ha berubah menjadi hutan tanaman. Perubahan ini kemungkinan disebabkan oleh adanya tekanan yang cukup kuat untuk merubah hutan menjadi hutan rakyat dengan tingkat kerapatan pohon yang relatif lebih rendah dibandingkan SPL hutan sekunder. Luas sawah di Kabupaten Ciamis juga relatif menurun pada tahun 2013 dibandingkan tahun 2000 hingga hampir 50%. Hal ini kemungkinan terjadi karena produktivitas lahan sawah yang menurun dibandingkan lahan hutan rakyat (pertanian lahan kering) yang justru meningkat pada tahun yang sama.

Tabel 3. Emisi dan sekuestrasi karbon di Kabupaten Ciamis pada tahun 1990 – 2013

No	Variabel	Nilai pada tahun	
		1990-2000	2000-2013
1	Emisi per Ha (ton CO ₂ -eq/(ha.Tahun)	0,21	0,58
2	Sekuestrasi per-Ha Luasan (ton CO ₂ -eq/(ha.Tahun)	0,01	0,00
3	Total emisi (ton CO ₂ -eq/Tahun)	83.737,36	230.605,85
4	Total sekuestrasi (ton CO ₂ -eq/Tahun)	2.204,80	624,84
5	Net emisi per Ha (ton CO ₂ -eq/(ha.Tahun)	0,21	0,58
6	Net emisi (ton CO ₂ -eq/Tahun)	81.532,56	229.981,01

Tabel 3 menunjukkan peningkatan emisi yang cukup tinggi pada periode tahun 1999-2013 dibandingkan periode tahun 1990-2000, yaitu dari 81.533 ton

CO₂ eq./ha/tahun menjadi 229.981 ton CO₂ eq./ha/tahun. Kontribusi terbesar emisi yang terjadi di Kabupaten Ciamis adalah adanya perubahan penggunaan lahan hutan sekunder menjadi hutan tanaman yaitu seluas 5.389 ha yang menyebabkan emisi sebesar 31.177 ton CO₂ eq./ha/tahun. Sementara itu, perubahan penggunaan lahan pertanian lahan kering menjadi sawah yang relatif memiliki karbon tersimpan lebih rendah juga berkontribusi terhadap terjadinya emisi yaitu sebesar 10.932 ton CO₂ eq./ha/tahun.

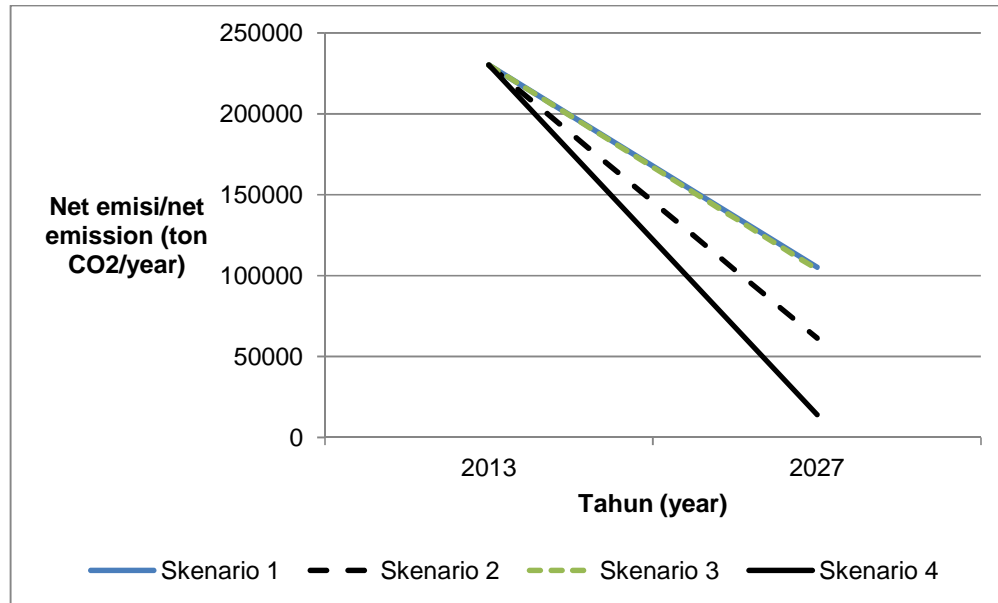
Emisi Kabupaten Ciamis pada Beberapa Skenario

Berdasarkan skenario yang dibuat, besarnya emisi dan sekuestrasi yang terjadi di Kab. Ciamis dari tahun 2013 – 2027 dapat disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Emisi dan sekuestrasi karbon akibat perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Ciamis pada beberapa skenario

No	Variabel	Nilai pada tahun			
		Skenario 1 (Baseline) 2013-2027	Skenario 2 2013-2027	Skenario 3 2013-2027	Skenario 4 2013-2027
1	Emisi per Ha (ton CO ₂ - eq/(ha.Tahun)	0,27	0,16	0,27	0,26
2	Sekuestrasi per-Ha Luasan (ton CO ₂ -eq/(ha.Tahun)	0,00	0,00	0,00	0,23
3	Total emisi (ton CO ₂ - eq/Tahun)	105.823,95	61.889,48	105.823,9 5	103.140,45
4	Total sekuestrasi (ton CO ₂ - eq/Tahun)	671,57	671,57	1.968,61	89.026,26
5	Net emisi per Ha (ton CO ₂ - eq/(ha.Tahun)	0,27	0,16	0,26	0,04
6	Net emisi (ton CO ₂ -eq/Tahun)	105.152,37	61.217,90	103.855,3 4	14.114,19

Tabel 4 menunjukkan adanya penurunan net emisi pada semua skenario. Penurunan net emisi tertinggi diperoleh pada skenario 4 yaitu peningkatan jumlah agroforestry sebanyak 30% dari total pertanian lahan kering. Penambahan pohon pada areal pertanian lahan kering memberikan kontribusi yang signifikan pada penambatan karbon di pohon (sekuestrasi). Perubahan penggunaan lahan sawah sebanyak 10% menjadi perumahan tidak memberikan kontribusi nyata terhadap besarnya emisi. Jumlah penambatan karbon yang terjadi pada skenario 4 adalah sebanyak 89.026 ton CO₂ per tahun. Sementara itu, pada skenario 1-3, jumlah penambatan karbon sebanyak 671, 671, dan 1.968 ton CO₂ per tahun. Secara grafik, besarnya penurunan emisi pada beberapa skenario disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan net emisi baseline dengan skenario 1 – 4 di Kabupaten Ciamis tahun 2013-2027

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, dapat ditarik kesimpulan: (1) jumlah emisi, sequestrasi dan net emisi yang terjadi di Kabupaten Ciamis akibat perubahan penggunaan lahan dari tahun 2000 – 2013 berturut-turut adalah sebesar: 230.606, 624, 229.981 ton CO₂-eq/tahun, (2) jumlah net emisi pada skenario 1-4 berturut-turut adalah sebesar 105.152, 61.218, 103.855, 14.114 ton CO₂-eq/tahun, (3) pengurangan laju deforestasi sebanyak 50% berkontribusi signifikan terhadap emisi yang terjadi, dan (4) perubahan penggunaan lahan pertanian lahan kering menjadi pertanian lahan kering agroforestry memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan sequestrasi karbon, sehingga dapat menurunkan emisi yang terjadi

PENGHARGAAN (*acknowledgement*)

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada tim penelitian emisi dan sequestrasi Kabupaten Ciamis yang telah membantu penulis dalam pengambilan data di lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pihak yang telah membantu terlaksananya kegiatan penelitian ini, khususnya kepada rekan-rekan teknis BTPKPDAS Surakarta yang telah membantu melakukan analisis GIS.

REFERENSI

- ATANGANA, A., KHASA, D., CHANG, S. & DEGRANDE, A. 2014. *Tropical Agroforestry*, Springer.
- BAUMERT, K. A., HERZOG, T. & PERSHING, J. 2005. *Navigating the numbers: Greenhouse gas data and international climate policy*, World Resource Institute.

- BURNHAM, B. O. 1973. Markove Intertemporal Land Use Simulation Model.
- DINIYATI, D. & AWANG, S. A. 2010. Kebijakan penentuan bentuk insentif pengembangan hutan rakyat di wilayah Gunung Sawal, Ciamis dengan metode AHP. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 7, 129-143.
- EKADINATA, A., RAHMANULLOH, A., PAMBUHI, F., IBRAHIM, I., NOORDWIJK, M. V., SOFIYUDIN, M., SARDJONO, M. A., RAHAYU, S., DEWI, S., BUDIDARSONO, S. & SAID, Z. 2010. Carbon emissions from land use, land use change and forestry (LULUCF) in Berau District, East Kalimantan, Indonesia. Bogor Indonesia: World Agroforestry Center.
- GINOGA, K., WULAN, Y. C. & DJAENUDIN, D. 2004. Potential of Indonesian smallholder agroforestry in the CDM: a case study in the upper Citanduy watershed area. Bogor Indonesia: Pusat Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan.
- HARJA, D., DEWI, S., NOORDWIJK, M. V., EKADINATA, A. & RAHMANULLOH, A. 2011. *REDD Abacus SP: User Manual and Software*, Bogor, Indonesia, World Agroforestry Center.
- NAIR, P. K. R., KUMAR, B. M. & NAIR, V. D. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*, 172, 10-23.
- PEMDA PROVINSI JAWA BARAT. 2015. *Profil daerah: Kabupaten Ciamis* [Online]. Bandung. [Accessed 16 Januari 2015 2015].
- PERATURAN PRESIDEN 2011. Peraturan presiden republik Indonesia Nomor 61 tentang Rencana Aksi Nasional Gas Rumah Kaca. Jakarta.
- SUKRIANTO, T. & SUBARUDI. Pengembangan hutan rakyat di Kabupaten Ciamis. Pengembangan hutan rakyat mendukung kelestarian produksi kayu bulat, 2007 Ciamis. Badan Litbang Kehutanan.
- SWALLOW, B., NOORDWIJK, M. V., DEWI, S., MURDIYARSO, D., WHITE, D., GOCKOWSKI, J., HYMAN, G., BUDIDARSONO, S., ROBIGLIO, V., MEADU, V., EKADINATA, A., AGUS, F., HAIRIAH, K., MBILE, P., SONWA, D. J. & WEISE, S. 2007. Opportunities for avoided deforestation with sustainable benefits. *An interim report of the ASB partnership for the Tropical Forest Margins*. Nairobi, Kenya.
- TAKADA, T., MIYAMOTO, A. & HASEGAWA, S. 2010. Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications. *Landscape Ecology*, 25, 561-572.
- WARDAH, TOKNOK, B. & ZULKHAIDAH 2011. Carbon stock of agroforestry systems at adjacent buffer zone of Lore Lindu National Park, Central Sulawesi. *Journal of Tropical Soils*, 16, 123-128.