

KANDUNGAN KARBON TERSIMPAN DI HUTAN PRIMER DAN SEKUNDER

Melfa Aisyah Hutasuhut^{1*}, Hanifah Mutia Z N Amrul²⁾

¹⁾Fakultas MIPA Universitas Sumatera Utara

²⁾Fakultas sains dan teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi. Medan
*email: melfa_aisyah@uinsu.ac.id

Abstract

Stored carbon content is found on the surface of the soil as plant biomass, dead plant residues (necromass), and in the soil as soil organic matter. This paper describes how carbon content is stored in primary and secondary forests. Carbon stock in various land cover classes in natural forest ranges from 7,5 – 264,70 tonnes C / ha. In primary forest, the carbon stock ranges from 15,02 – 264,70 tonnes C / ha. The lowest carbon stocks are found in limestone forest and the highest in lowland primary natural forest and dipterocarp. Carbon stocks in the Secondary natural forest ranged from 7,5 – 249,1 tonnes C / ha, with the lowest carbon stock in ex-burnt forest and the highest in logged-over forest. The carbon stock holds by the primary natural stock is higher than the one holds by the secondary natural forest. This happened due to a higher diversity of plant species in primary natural forest causing a faster return of organic carbon to the soil and resulting an increase in biomass storage due to an increase carbon conversion along with a high amount of carbon absorbed by the tree.

Keywords: Biomass, Carbon Stocks, Primary Forest, Secondary Forest

Abstrak

Kandungan karbon tersimpan terdapat pada permukaan tanah sebagai biomassa tumbuhan, sisa tumbuhan yang sudah mati (nekromasa), maupun dalam tanah sebagai bahan organik tanah. Tulisan ini memaparkan tentang bagaimana kandungan karbon tersimpan pada hutan primer dan hutan sekunder. Cadangan karbon pada berbagai kelas penutupan lahan di hutan alam berkisar antara 7,5–264,70 ton C/ha. Pada hutan primer cadangan karbon berkisar 15,02 – 264,70 ton C/ha. Cadangan karbon terendah terdapat pada hutan bukit kapur dan tertinggi pada hutan alam primer dataran rendah dan dipterokarpa. Hutan alam sekunder memiliki cadangan karbon berkisar 7,5 – 249,1 ton C/ha, dengan cadangan karbon terendah pada hutan bekas bakaran dan tertinggi pada hutan bekas tebangan. Cadangan karbon hutan alam primer lebih tinggi dari pada hutan alam sekunder yang disebabkan oleh keanekaragaman jenis tumbuhan pada hutan alam primer lebih tinggi dibandingkan dengan hutan sekunder sehingga pengembalian karbon organik ke dalam tanah berjalan dengan cepat dan penyimpanan biomassa hasil konversi karbon bertambah besar seiring dengan semakin banyaknya karbon yang diserap pohon tersebut.

Kata Kunci: Biomassa, Karbon Tersimpan, Hutan Primer, Hutan Sekunder

PENDAHULUAN

Ekosistem hutan berhubungan dengan siklus karbon karena hutan mengurangi emisi karbon yang berlebihan ke atmosfer dan disimpan dalam tumbuhan, serasah dan bahan organik tanah. Karbon ditemukan di atmosfer dalam bentuk karbon dioksida. Kehadiran tumbuhan sebagai penyerap karbon mengurangi konsentrasi karbon dioksida di atmosfer (Hairiah, 2007).

Penyimpanan karbon adalah jumlah karbon yang tersimpan di permukaan tanah sebagai biomassa tumbuhan, sisa tumbuhan mati (nekrotik) dan di dalam tanah sebagai bahan organik tanah. Dekomposisi karbon ini digunakan sebagai dasar penghitungan emisi. Sebagian besar unsur karbon (C) yang terurai di udara biasanya digabungkan dengan O₂ (oksigen) menjadi CO₂ (karbon dioksida). Ketika satu hektar pohon hutan mati, cepat atau lambat biomassa pohon-pohon tersebut terurai dan unsur-unsur karbon tetap di udara dalam

bentuk emisi, ketika pohon ditanam di ruang terbuka, ada proses di mana elemen C dari udara terhubung ke biomassa tumbuhan saat pohon tumbuh. Tumbuhan yang dapat menyerap CO₂ dan biomassa pada umur tertentu dapat digunakan untuk mengestimasi produktivitas hutan (Herianyah et al. 2005).

Hutan alam memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang tinggi dibandingkan dengan lahan pertanian atau perkebunan. Hal ini dikarenakan pada hutan alam banyak keanekaragaman pohonnya yang tinggi, tumbuhan bawah dan sisa tumbuhan yang mati (serasah) di permukaan tanah hutan (Hairiah dan Rahayu, 2007). Deforestasi dan penghijauan oleh lahan pertanian dapat melepaskan karbon ke atmosfer. Karbon yang pada awalnya tersimpan dalam pepohonan dan tanaman lainnya dilepaskan melalui pembakaran (dalam bentuk asap) di atas ataupun di bawah permukaan tanah sewaktu pembukaan lahan (land clearing) (Hairiah et al., 2011).

Hutan berfungsi sebagai penyerap karbon terbesar karena banyaknya jumlah tanah dan puing-puing di tanah dan banyaknya jenis pohon (Hairiah dan Rahayu, 2007). Secara umum, hutan primer menyimpan lebih banyak karbon daripada hutan sekunder karena aktivitas seperti kebakaran, penebangan, dan penggunaan lahan pertanian di hutan. Hal tersebut dapat mengurangi potensi biomassa yang secara langsung dan mempengaruhi hutan dalam penyimpanan karbon di sekunder.

Hutan terestrial memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang relatif lebih tinggi daripada hutan bakau dan rawa karena dapat membangun substrat yang tinggi dan diameter batang yang besar sebagai tempat penyimpanan karbon. Biomassa terbesar ditemukan pada vegetasi tingkat pohon, karena vegetasi tingkat pohon menerima lebih banyak sinar matahari daripada tingkat vegetasi lainnya (Goltenboth et al., 2012). Hutan berperan penting dalam mengurangi dampak perubahan iklim global karena menghasilkan CO₂ berlimpah, sehingga estimasi biomassa pohon dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah karbon yang diserap oleh hutan. Beberapa studi memberikan penjelasan tentang manfaat hutan terhadap perubahan iklim, tetapi informasi tentang kandungan karbon yang tersimpan di hutan primer dan sekunder masih terbatas. Artikel ini menjelaskan bagaimana kandungan karbon disimpan di hutan primer dan sekunder.

Biomassa

Biomassa dapat didefinisikan sebagai jumlah total bahan organik hidup dalam tumbuhan, dinyatakan dalam berat kering per satuan luas. Biomassa adalah penyerap karbon yang digunakan untuk memperkirakan jumlah karbon yang tersimpan di hutan. Hal ini karena sekitar 50 persen dari biomassa tanaman adalah karbon (Brown, 1997). Biomassa pada tegakan pohon dapat diduga menggunakan persamaan allometrik yang parameternya berupa diameter batang tegakan. Besarnya diameter batang tegakan menyebabkan semakin besar biomassa dan karbon yang tersimpan, demikian juga sebaliknya, semakin kecil diameter tegakan maka semakin kecil biomassa dan karbon yang tersimpan di dalamnya (Putri & Wulandari, 2015).

Biomassa hutan dan penyimpanan karbon juga sangat bergantung pada proses fisiologis tumbuhan dan fotosintesis. Semakin besar luas daun tegakan per satuan tanah maka semakin banyak CO₂ yang dapat diserap tegakan tersebut. Luas daun meningkat secara bertahap dengan bertambahnya usia media tanam. Oleh karena itu, dapat diperkirakan bahwa umur tegakan mempengaruhi jumlah biomassa dan karbon yang tersimpan dalam tegakan (Lukito dan Rohmatiah, 2013). Biomassa tersusun dari senyawa karbohidrat yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen dan oksigen yang diperoleh selama fotosintesis tumbuhan. Biomassa dapat dibagi menjadi dua kategori: biomassa di atas permukaan tanah dan biomassa bawah tanah. (Kusmana, 1993)

Pengukuran biomassa tumbuhan dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut (Sutaryo, 2009) :

1. *Destructive sampling* (Pemanenan), yaitu penebangan dan menimbang berat basah seluruh bagian tumbuhan seperti daun, cabang, batang dan akar kemudian mengukur berat kering tiap bagian tumbuhan.
2. *Non-destructive sampling* (tanpa pemanenan), yaitu mengukur tinggi atau diameter pohon dan menggunakan persamaan alometrik untuk menentukan biomassa.
3. Pendugaan melalui penginderaan jauh, yaitu perhitungan biomassa pada vegetasi yang luas dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dan membutuhkan keahlian dan biaya yang besar.
4. Pembuatan model, yaitu menghitung estimasi biomassa vegetasi dengan frekuensi dan intensitas pengamatan insitu dan didasarkan pada plot yang diukur berulang, yang mempunyai estimasi biomassa yang sudah menyatu dengan persamaan allometrik yang mengkonversi volume menjadi biomassa.

Cadangan Karbon di Hutan Primer

Hutan primer (*primary forest*) merupakan kawasan hutan alam yang sama sekali belum dimanfaatkan oleh manusia. Hutan ini memiliki tegakan yang telah mencapai umur lanjut dan memiliki ciri struktural tertentu yang sesuai dengan kematangannya serta memiliki sifat ekologis yang unik (Rangkuti dkk, 2012). Hutan primer berfungsi sebagai penyerap dan penyimpan karbon (C) tertinggi jika dibandingkan dengan hutan lainnya, hal ini dikarenakan keragaman pohonnya yang tinggi, kerapatan tumbuhan bawah, dan serasah di permukaan tanah yang banyak. Hutan primer memiliki ciri-ciri yaitu memiliki pohon-pohon besar berumur panjang, batang-batang pohon mati yang masih tegak, dan memiliki pohon tumbang yang membentuk celah atau rumpang tegakan, sehingga memungkinkan masuknya cahaya matahari ke lantai hutan, dan merangsang pertumbuhan vegetasi. Di permukaan bumi ini, kurang lebih terdapat 90 % biomassa yang terdapat dalam hutan berbentuk pokok kayu, dahan, daun, akar dan serasah, hewan, dan jasad renik (Arief, 2005).

Penyimpanan karbon terestrial terjadi di tegakan pohon hutan. Jumlah karbon pada pohon diatur oleh proses fotosintesis dan respirasi, yang berdampak pada jumlah karbon dioksida bebas di atmosfer. Proses pengikatan dan pengikatan karbon bebas atmosfer menjadi karbon pada tegakan pohon merupakan salah satu contoh hubungan timbal balik ini. Energi sinar matahari digunakan oleh tegakan pohon untuk memecah molekul dan mencampurnya dengan karbon dioksida untuk menghasilkan karbohidrat. (Muhdi, 2008)

Cadangan karbon yang tersimpan di dalam tanah terbagi menjadi karbon di atas tanah (*above ground carbon*) dan karbon di bawah tanah (*below ground carbon*) (Hairiah dan Rahayu 2007). Biomassa pohon, biomassa tumbuhan bawah (semak berdiameter <5 cm, tumbuhan menjalar dan gulma) merupakan contoh karbon di atas permukaan tanah (bagian tumbuhan yang jatuh berupa daun dan ranting). Biomassa akar dan bahan organik tanah (tumbuhan, hewan, dan sisa-sisa manusia yang membusuk) adalah contoh karbon bawah permukaan.

Cadangan karbon di Hutan Sekunder

Hutan sekunder adalah hutan yang terbentuk dari permudaan hutan primer akibat bencana alam atau akibat penebangan yang disengaja untuk memenuhi kebutuhan manusia. Hutan sekunder di Indonesia mencakup 24,2% dari luas daratan Indonesia (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2015). Pengelolaan hutan alam bekas tebangan menyisakan beberapa permasalahan, salah satunya adalah keragaman kondisi hutan, seperti

komposisi jenis, kerapatan pohon, struktur tegakan dan kualitas tempat tumbuh yang bervariasi (Muhsin et al., 2008).

Biomassa bagian-bagian pohon seperti daun, cabang/ranting, batang, dan akar umumnya berbanding terbalik dengan diameter dan tinggi total pohon. Dibandingkan dengan tinggi total pohon, korelasi positif biomassa bagian pohon lebih besar. Setiap penambahan diameter atau tinggi keseluruhan pohon akan disertai dengan peningkatan biomassa pada masing-masing bagian pohon. Menurut Barlow *et al.* (2007), hutan sekunder yang beregenerasi secara alami dapat memberikan konservasi, tetapi tidak dapat mereplikasi nilai keanekaragaman hayatinya.

Kandungan karbon lahan hutan melebihi seluruh simpanan karbon di atmosfer. Penyerapan karbon juga diamati di padang rumput dan daerah pertanian, selain penyerapan karbon hutan. Hutan membentuk sekitar 27% dari 151 juta kilometer persegi ekosistem dunia, diikuti oleh sabana tropis dan padang rumput, yang membentuk sekitar 23%, dan tanah, yang membentuk sekitar 10%. Jumlah karbon yang tersimpan dalam ekosistem terestrial diperkirakan 2.477 gigaton karbon di tingkat global, terhitung sekitar 81 persen dari sisa tanah dan sisa vegetasi (Ravindranath & Madelene, 2008).

Kemampuan jenis hutan untuk menyerap dan menyimpan karbon bervariasi tergantung pada jenis pohon, jenis tanah, dan topografi baik di hutan alam primer maupun sekunder. Data simpanan karbon pada suatu ekosistem hutan dimaksudkan untuk menjadi kajian mendalam tentang konversi dan pemanfaatan hutan, sehingga memungkinkan terciptanya pengelolaan ekosistem hutan pantai yang berkelanjutan berdasarkan prinsip-prinsip lingkungan.

Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada beberapa kelas hutan alam primer dan sekunder seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada beberapa kelas hutan alam

No.	Tipe Hutan	Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah (tonC/ha)
Hutan Primer		
1.	Hutan Lindung	211,86
2.	Hutan Alam Dipterokarpa	204,92 – 264,70
3.	Hutan Alam Primer Dataran Rendah	230,10 - 264,70
4.	Hutan Alam Primer Dataran Tinggi	103,16
6.	Hutan Sub Montana	185,177
7.	Hutan Bukit Kapur	15,02-92,25
Hutan Sekunder		
8.	Hutan Sekunder Bekas Bakaran Hutan	7,5 – 55,3
9.	Hutan Mangrove Sekunder	54,1 – 182,5
10.	Hutan Sekunder Bekas Tebangan	171,8 – 249,1
11.	Hutan Alam Gambut Bekas Tebangan dan Sekunder	83,49 – 126,01
12.	Hutan Sekunder Dataran Tinggi	113,20
13.	Hutan Sekunder Dataran Tinggi	39,48
14.	Komposisi Vegetasi Dan Cadangan Karbon Pada Hutan Sekunder Di Bontang	123,49

Sumber : Tim Perubahan Iklim Badan Litbang Kehutanan (2010)

Seperti terlihat pada Tabel 1, cadangan karbon di berbagai kelas tutupan lahan di hutan alam berkisar antara 7,5-264,70 ton C/ha. Tingkat karbon di hutan primer berkisar antara 15,02 hingga 264,70 ton C/ha. Hutan bukit kapur memiliki stok karbon paling sedikit, sedangkan hutan

alam dataran rendah dan dipterokarpa paling banyak. Cadangan hutan alam sekunder berkisar antara 7,5-249,1 ton C/ha, dengan hutan bekas terbakar memiliki simpanan karbon paling rendah dan hutan sekunder bekas tebangan paling besar.

Kisaran cadangan karbon pada hutan alam primer lebih tinggi daripada hutan alam sekunder. Semakin tinggi kerapatan tegakan hutan, semakin tinggi karbon tersimpan (Mawazin & Suhendi, 2008). Hutan alam primer memiliki diameter pohon dan biomassa tinggi sehingga penyimpanan biomassa hasil konversi karbon akan lebih banyak diserap oleh pohon. Hutan alam sekunder memiliki struktur tegakan muda yang seragam, diamer batang lebih kecil, dan kerapatan pohon rendah yang menyebabkan karbon terserap lebih sedikit.

Hutan dengan fase pertumbuhan pohon dapat menyerap lebih banyak karbon. Hutan dewasa dengan pertumbuhan terbatas hanya dapat menahan dan menyimpan stok karbon tetapi tidak dapat menyerap karbon dalam jumlah banyak (Retnowati, 1998). Hanya hutan lahan kering primer yang dapat menyimpan karbon dalam bentuk flora paling banyak di antara berbagai lahan. Untuk menunjukkan keragaman diperlukan stratifikasi hutan berdasarkan lokasi geografis, tipe hutan, dan strategi pengelolaan hutan yang berlaku. Jenis vegetasi dalam suatu sistem tata guna lahan berdampak pada cadangan karbon. Ketika suatu sistem penggunaan lahan terdiri dari pohon-pohon dengan nilai kerapatan kayu yang tinggi, maka biomasnya akan lebih tinggi dibandingkan jika lahan tersebut terdiri dari jenis-jenis dengan nilai kerapatan kayu yang rendah (Hairiah & Rahayu, 2007).

Setiap ekosistem menyimpan jumlah karbon yang bervariasi karena heterogenitas dan keragaman komponen ekosistem (Indriyanto, 2006). Kecepatan siklus karbon dipengaruhi oleh kompleksitasnya karena keanekaragaman jenis tumbuhan di hutan lahan kering primer sangat tinggi, karbon organik cepat diserap ke dalam tanah, dan karbon disimpan dalam biomassa tanaman pada tingkat yang lebih tinggi daripada di hutan lahan kering sekunder.

KESIMPULAN

Simpanan karbon hutan alam primer lebih tinggi daripada hutan alam sekunder, karena tingginya keanekaragaman jenis tumbuhan di hutan alam primer dibandingkan dengan hutan alam sekunder. Keanekaragaman jenis yang lebih tinggi di hutan alam primer memungkinkan karbon organik masuk ke dalam tanah dengan cepat dan karbon yang tersimpan dalam biomassa tumbuhan di hutan alam primer lebih besar daripada di hutan alam sekunder, sehingga mengakibatkan penyimpanan biomassa yang lebih tinggi sebagai akibat dari konversi karbon. Seiring bertambahnya jumlah karbon yang diserap oleh pohon, demikian pula jumlah karbon yang diserap oleh pohon.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. 2007. Potensi dan emisi karbon di lahan gambut dalam Bunga Rampai Konservasi Tanah dan Air. Seminar MKTI-2 Tahun 2007. MKTI. Bogor.
- Arifanti, V, B., Dharmawan, I, W., Wicaksono D 2014. Potensi Cadangan Karbon Tegakan Hutan Sub Montana Di Taman Nasional Gunung Halimun Salak (Carbon Stock Potency of Sub Montane Forest Stand in Mount Halimun Salak National Park). *JURNAL Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* Vol. 11 No. 1 Maret 2014, Hal. 13 - 31
- Arief, A. 2005. Hutan dan Kehutanan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Asdak, C. (2002). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Barlow, J., Gardner, T. A, Araujo, I. S., vila-Pires, T.C.A., Bonaldo, A. B., Costa, J. E., Esposito, M. C., Ferreira, L. V., Hawes, J., Hernandez, M. I. M, Hoogmoed, M. S.,

- Leite, R. N., Lo-Man-Hung, N. F., Malcolm, J. R., Martins, M. B., Mestre, L. A. M., Miranda-Santos, R., Nunes-Gutjahr, A. L., Overal, W. L., Parry, L., Peters, S. L., Ribeiro-Junior, M. A., da Silva, M. N. F., C. da Silva Motta and Peres, C. A. 2007. Quantifying The Biodiversity Value Of Tropical Primary, Secondary, And Plantation Forests. *Proceeding of the National Academy Science of The United State of America* 104 (47):18555–18560.
- Brown, S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. A Primer*. FAO. forestry Paper No. 134. F AO, USA.
- Dharmawan, I. W. S. dan C. A. Siregar. 2008. Teknik Evaluasi Kandungan Karbon Hutan Mangrove *Rhizophora mucronata*. Pusat Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. Bogor. Manuskrip.
- Dharmawan, I. W. S. dan C. A. Siregar. 2009. Karbon Tanah Dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. di BKPH Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan* Vol. 4, 2008. Pusat Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Dharmawan, I. W. S., I. Samsudin dan C. A. Siregar. 2010. Dinamika Potensi Biomasa Karbon Pada Lanskap Hutan Bekas Tebangan. *Jurnal Penelitian Hutan*. Pusat Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. Bogor. Manuskrip.
- Rita Diana, Rita. dan Hadriyanto, Deddy. 2018. *Komposisi Vegetasi Dan Cadangan Karbon Pada Hutan Sekunder Di Bontang*. Banjarmasin : Lambung Mangkurat University Press
- Hairiah dan Rahayu. 2007. Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. Bogor. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia. 77 p.
- Hairiah, K., Ekanata, A., Sari, R. R., and Rahayu, S. 2011. Pengukuran Cadangan Karbon: Dari Tingkat Lahan ke Tingkat Bentang Alam. World Agroforestry Centre, Bogor.
- Hairiah, K. (2007). *Perubahan Iklim Global: Neraca Karbon di Ekosistem Daratan*. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
- Heriansyah I, Heriyanto NM, Siregar CA. 2005. *Demonstration Study On Carbon Fixing Forest Management In Indonesia*. http://www.peatportal.net/view_file.cfm?fileid=233 [10 November 2014]
- Hiratsuka, M., T. Toma, R. Diana, D. Hardriyanto and Y. Morikawa. 2006. Biomass Recovery of Naturally Regenerated Vegetation after the 1998 Forest Fire in East Kalimantan, Indonesia. *JARQ* 40 (3), 277 – 282 (2006).
- Indriyanto. 2006. *Ekologi Hutan*. Penerbit PT Bumi Aksara. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. *Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2014*.
- Kusmana, C., and Hikmat, A. 2015. Keanekaragaman Hayati Flora di Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. *Journal of Natural Resources and Environmental Management* 5(2): 187–198. DOI: 10.29244/JPSL.5.2.187.
- Kusmana C. 1993. *A Study on mangrove forest management base on ecological data in East Sumatra, Indonesia*. [disertasi]. Japan: Kyoto University, Faculty of Agricultural.
- Longman, K. A., J. Jenik. (1987). *Tropikal Forest and Its Environment*. Longman Group Limited. London.
- Lukito M, Rohmatiah A. 2013. Estimasi biomassa dan karbon tanaman jati umur 5 tahun (Kasus Kawasan Hutan Tanaman Jati Unggul Nusantara (JUN) Desa Krowe, Kecamatan Lembeyan Kabupaten Magetan). *Agritek*. 14(1):123.
- Mawazin, H. Suhendi. (2008). Pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan diameter *Shorea parvifolia* Dyer. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. (5)4.

- Muhdi. 2008. Model Simulasi Kandungan Karbon Akibat Pemanenan Kayu di Hutan Alam Tropika. Universitas Sumatra Utara. Karya Tulis. USU eRepository. Medan.
- Muhdin, E. Suhendang., D. Wahjono., H. Purnomo, Istomo dan D.C.H. Simangunsong. 2008. Keragaman Struktur Tegakan Hutan Alam Sekunder. *Jurnal Manajemen Hutan Tropis* XIV(2): 81-87
- Noor'an, R. F. 2007. Potensi biomasa karbon di Hutan Lindung Sungai Wain, Kalimantan Timur. Laporan Hasil Penelitian. Balai Besar Penelitian Dipterokarpa. Samarinda.
- Putri AHM, Wulandari C. 2015. Potensi Penyerapan Karbon Pada Tegakan Damar Mata Kucing (*Shorea javanica*) Di Pekon Gunung Kemala Krui Lampung Barat. *Sylva Lestari*. 3(2):1320.
- Retnowati, E. 1998. Kontribusi hutan tanaman *Eucalyptus grandis* Maiden sebagai rosot karbon di Tapanuli Utara. *Buletin Penelitian hutan* No. 611: 1-9. Pusat Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Rochmayanto, Y. 2009. Perubahan kandungan karbon dan nilai ekonominya pada konservasi hutan rawa gambut menjadi hutan tanaman industry pulp. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rahayu, S., B. Lusiana dan M. V. Noordwijk. 2006. Pendugaan cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur. ICRAF.Bogor.
- Rangkuti, R., Pindi, P., Siti, L., (2012), Pola Aktivitas Orangutan Sumatera (*Pongo abelii*) Pada Struktur dan Komposisi Vegetasi Hutan di Pusat Pengamatan Orangutan Sumatera Taman Nasional Gunung Leuser (Activity pattern of Sumatran Orangutan (*Pongo abelii*) in the Structure and Composition of Forest Vegetation in Sumatran Orangutan Observation Center Gunung Leuser National Park). *Jurnal Ekologi*, (47-53).
- Ravindranath dan Madelene. 2008. *Carbon Inventory Methods - Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projection*. Springer. University of Geneva. Switzerland.
- Shagir, K. J., Paembonan, S.A., Achmad, A. 2015. Komposisi Jenis dan Potensi Simpanan Karbon pada Hutan Bukit Kapur (Limestone Forest) di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung. Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.
- Samsuudin, I., I. W. S. Dharmawan dan C. A. Siregar. 2009. Potensi biomasa karbon pada hutan alam dan hutan bekas tebangan setelah 30 tahun di Hutan Penelitian Malinau, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan* Vol. 6, 2009. Pusat Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa, Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon. Wetland International Indonesia Programme. Bogor.
- Tim Perubahan Iklim Badan Litbang Kehutanan. 2010. Cadangan Karbon pada Berbagai Tipe Hutan dan Jenis Tanaman di Indonesia. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Perubahan Iklim Dan Kebijakan. Bogor.