

Less Steep Slope Stored More Soil C Than Those Steep Ones: A Case Study in HPFU Samarinda**Wahjuni Hartati^{1*}, Wandri Leme Piri², Triyono Sudarmadji³, Syahrinudin⁴**^{1,2,3,4} Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman***corresponding email: wahjunihartati@fahatan.unmul.ac.id****Submitted: 2024-10-08; Accepted: 2024-11-27; Published: 2024-12-10****ABSTRACT**

Global warming is a phenomenon of increasing global temperature of the earth from year to year due to the greenhouse effect that contains greenhouse gases (GHG) one of which is carbon dioxide (CO₂), thereby increasing the absorption of heat released by the earth into the atmosphere, forests have a contribution as a provider of environmental services as an absorber of carbon dioxide (CO₂). Hutan Pendidikan Fahutan Unmul (HPFU) is an area with forest status in Samarinda and is currently still dominated by land cover in the form of young secondary forest. this study was conducted to estimate the C reserves stored in the soil under the young secondary forest cover, determine its contribution to the total C reserves in the young secondary forest and estimate the potential of the total C reserves in the soil in HPFU. PUP is made measuring 20 m x 20 m on secondary forest cover with gentle slope (L2) to slightly steep (L3) at the top, middle, and bottom of the slope. In each slope do repetition as much as 3 times. In each PUP, a whole soil sample was taken using a sample ring and the soil was disturbed using a hoe at 3 depths, namely : 0-10 cm, 10-20 cm, and 20-30 cm. young secondary forest cover dominates the HPFU area on a gentle to rather steep slope. the C content of soil as deep as 30 cm in the sloping Slope area is 75.29 tons/ha with a total reserve of C is 5,499.80 tons and in a rather steep slope area is 54.69 tons/ha with a total reserve of C is 3,822.83 tons.

Keywords: soil C-stored, secondary forest, slope

PENDAHULUAN

Pemanasan global (*global warming*) adalah proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca (GRK) yang berakibat terhadap perubahan iklim. Peningkatan konsentrasi GRK terutama karbondioksida (CO₂) dan gas-gas lainnya di atmosfer berasal pemakaian bahan bakar fosil dan pengalihfungsian hutan (deforestasi). Hutan merupakan penyerap karbon terbesar yang dapat menyerap karbondioksida (CO₂) dan mengubahnya menjadi oksigen (O₂) dalam proses fotosintesis, karena memiliki keragaman vegetasi di atas permukaan tanahnya dan juga karbon yang tersimpan di dalam tanah.

Jumlah cadangan karbon antar lahan dan kelerengan berbeda-beda, demikian pula jenis tanah dan kesuburan tanah serta cara pengelolaannya berpengaruh terhadap simpanan C pada suatu lahan. Lahan dengan kesuburan tanah baik maka simpanan C pada lahan tersebut akan meningkat.

Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman (HPFU) merupakan satu-satunya areal berstatus hutan di Samarinda. Areal seluas 299,03 ha, kurang lebih 69% luasannya berupa hutan sekunder muda yang tersebar di lahan dengan kemiringan landai hingga curam (Hartati dkk., 2021). HPFU juga merupakan areal perwakilan skala mikro bagi hutan tropis lembap di Kalimantan Timur. Selain itu, areal ini sangat mudah dijangkau karena

hanya berjarak 8,4 km dari Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman (Fahutan Unmul) yang juga terletak di pusat ibu kota Provinsi Kalimantan Timur, yaitu Samarinda. Oleh karenanya, HPFU menjadi penting bagi sebagian besar peneliti hutan tropis lembap, sehingga keberadaannya perlu dipertahankan.

Fungsi utama HPFU adalah sebagai sarana pendidikan bagi para mahasiswa Fahutan Unmul namun karena HPFU merupakan satu-satunya areal berstatus hutan di Kota Samarinda maka HPFU juga berfungsi sebagai penyedia jasa lingkungan berupa gas O₂. Penelitian tentang estimasi cadangan karbon pada berbagai komponen hutan telah dilakukan di HPFU, antara lain cadangan karbon pada tumbuhan bawah pada pada berbagai tutupan lahan (Sunaryanto dkk., 2016; Valentino, dkk., 2016; Karyati, 2020; Hartati, dkk., 2021). Oleh karenanya, mengestimasi cadangan karbon tanah di HPFU akan melengkapi data cadangan karbon di HPFU dan memberikan gambaran utuh tentang cadangan karbon di hutan tropis lembap.

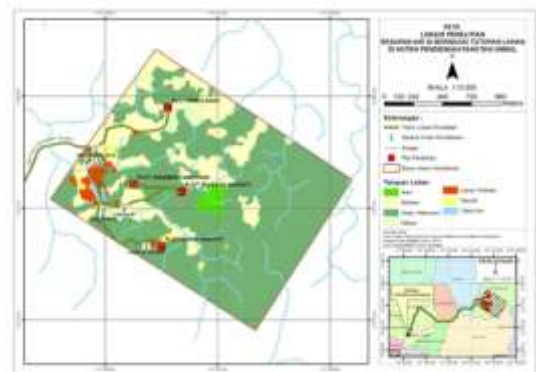
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kandungan karbon tanah pada lahan dengan kemiringan landai dan lahan dengan kemiringan curam di area HPFU Samarinda, untuk mengkuantifikasi perbedaan simpanan karbon tanah antara kedua tipe kemiringan lahan tersebut.

METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan di HPFU. Secara administratif HPFU berada dalam wilayah Kelurahan Tanah Merah Kecamatan Samarinda Utara dan Kelurahan Mugirejo Kecamatan Sungai Pinang, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis terletak antara 117°12'15.388"BT – 117°13'35.786" BT dan antara 0°26'17.435"LS – 0°27'32.769" LS. HPFU memiliki luas 299,03 ha dengan jenis

tanah Podsolik Kandik, Podsolik Kromik dan Kambisol Distrik. Secara geologi sebagian besar wilayah atau seluas 98% berada pada Formasi Pamaluan dan sisanya berada pada Formasi Pulau Balang (Hartati dkk., 2021).

Berdasarkan sistem klasifikasi iklim Schmidt dan Ferguson wilayah HPFU tergolong dalam tipe iklim A dengan nilai 0,095. Rekam data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Temindung Samarinda pada Tahun 1990 sampai Tahun 2023 menyatakan Samarinda memiliki curah hujan tahunan rata-rata 2.145 mm, suhu udara rata-rata 27,4°C, kelembaban udara rata-rata 82,2%, dan rata-rata lamanya penyinaran matahari adalah 41,8 jam. HPFU memiliki ketinggian antara 50 – 1.500m dpl dengan relief bergelombang sampai agak berbukit. Tutupan lahan di HPFU berupa tegakan aren, belukar, hutan sekunder, kebun, lahan terbuka, semak dan tubuh air (Hartati dkk., 2021)



Gambar 1. Lokasi penelitian di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur (Hartati dkk, 2021)

Bahan dan peralatan yang digunakan di lapangan meliputi: GPS untuk menetapkan letak geografis Plot Ukur Penelitian (PUP), *clinometer* untuk mengukur kelerengan, parang, meteran dan tali untuk membuat PUP, *core sampler*, cangkul, pisau *cutter*, kantong

plastik, *spidol permanent* untuk pengambilan sampel tanah utuh untuk uji BD dan sampel tanah terganggu untuk uji kadar C. Bahan dan peralatan yang digunakan di laboratorium meliputi: timbangan analitik, corong, labu didih 100 ml, alat pembakaran, pipet, botol semprot, tabung sentrifus, sentrifus, *cuvef*, spektrofotometer, larutan $K_2Cr_2O_7$, larutan H_2SO_4 95-97 %, serta *aquadest*.

Sebagian besar areal penelitian berlereng landai (8-15%) yang diberi simbol L2 dan agak curam (15-25%) yang diberi simbol L3 dengan tutupan hutan sekunder muda sehingga titik pengamatan ditetapkan selain berdasarkan perbedaan lereng juga berdasarkan letaknya pada lereng, yaitu lereng atas, lereng tengah dan lereng bawah. Pada kelas lereng dan posisi lereng yang sama ditetapkan 3 (tiga) titik pengamatan sehingga dalam penelitian ini terdapat 18 titik pengamatan.

Pengambilan sampel tanah utuh dan terganggu dilakukan pada setiap titik pengamatan dengan cara membuat profil tanah dengan ukuran 100cmx100cmx30cm. Pada kedalaman tanah 0-10cm; 10-20cm; 20-30cm diambil masing-masing 2 sampel tanah sehingga jumlah sampel tanah utuh dan terganggu masing-masing adalah 54 sampel atau total 108 sampel tanah.

Penetapan BD tanah dilakukan secara gravimetri dengan cara mengeringkan sampel tanah utuh dalam

core sampler menggunakan oven selama 10 jam pada suhu 105°C. Selanjutnya berat sampel tanah diperoleh dengan cara menghitung selisih nilai timbangan *core sampler* berisi tanah dengan *core sampler* tanpa tanah. Volume *core sampler* dihitung untuk menetapkan volume sampel tanahnya. Selanjutnya BD diperoleh dengan mengikuti rumus berikut (1):

$$BD \text{ (kg/dm}^3\text{)} = \frac{\text{Berat sampel tanah (kg)}}{\text{Volume sampel tanah (dm}^3\text{)}} \quad (1)$$

Kadar C tanah diuji dengan metode destruksi basah Walkey dan Black terhadap sampel tanah terganggu yang dikompositkan terlebih dahulu. Selanjutnya kandungan C dihitung dengan rumus berikut (2):

$$C \text{ (ton/ha)} = \text{Kadar C (\%)} \times \text{BD (ton/m}^3\text{)} \times \text{Kedalaman tanah (m)} \times \text{Luas (m}^2\text{)} \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar C Tanah (%) dan Bulk Density (kg/dm³)

Rataan kadar C tertinggi pada kelas lereng L2 untuk semua kedalaman berada pada bagian bawah lereng berturut-turut untuk kedalaman tanah 0-10cm, 10-20cm dan 10-30 cm yaitu 2,85%; 1,99% dan 1,73% dan terendah berada pada bagian atas lereng berturut untuk setiap kedalaman yaitu 2,49%; 1,70% dan 1,30% (Tabel 1).

Tabel 1. Rataan kadar C dan bulk density tanah pada kelas lereng landai dan lereng agak curam di areal penelitian HPFU Samarinda

Kedalaman (cm)	Atas		Tengah		Bawah	
	C (%)	BD (kg/dm ³)	C (%)	BD (kg/dm ³)	C (%)	BD (kg/dm ³)
Landai (L2)						
0 – 10	2,49	1,29	2,61	1,24	2,85	1,28
10 – 20	1,70	1,12	1,75	1,27	1,99	1,35
20 – 30	1,30	1,12	1,49	1,23	1,73	1,38
Agak Curam (L3)						
0 – 10	1,71	1,22	1,87	1,28	2,43	1,18

Kedalaman (cm)	Atas		Tengah		Bawah	
	C (%)	BD (kg/dm ³)	C (%)	BD (kg/dm ³)	C (%)	BD (kg/dm ³)
10 – 20	1,18	1,20	1,22	1,26	1,31	1,22
20 – 30	1,07	1,22	1,10	1,37	1,22	1,39

Sama halnya dengan kelas lereng L2, pada kelas lereng agak curam (L3) kadar C tertinggi untuk semua kedalaman tanah yang diteliti berada pada bagian bawah lereng yaitu berturut-turut untuk kedalaman tanah 0-10cm, 10-20cm dan 10-30 cm yaitu 2,43%; 1,31% dan 1,22% dan terendah berada pada bagian atas lereng berturut untuk setiap kedalaman yaitu 1,71%; 1,18% dan 1,07%. Hal ini menunjukkan berdasarkan posisi lerengnya baik pada lahan dengan kemiringan landai (L2) maupun agak curam (L3), kadar C meningkat seiring dengan semakin bawah posisinya pada lerengnya. Berdasarkan kelas lerengnya, kadar C pada lereng landai lebih besar dibanding lereng agak curam.

Dalam konteks lahan hutan, kadar karbon (C) di tanah seringkali menunjukkan pola yang bervariasi berdasarkan posisi vertikal pada lereng, baik di lahan lereng landai maupun curam. Penelitian menunjukkan bahwa kadar C cenderung meningkat seiring dengan semakin dalam posisi pada lereng. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang saling terkait, termasuk akumulasi bahan organik, dinamika hidrologi, dan proses erosi yang berbeda antara lereng landai dan curam.

Pertama, akumulasi bahan organik merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kadar C di tanah. Di lahan lereng landai, proses pengendapan bahan organik lebih efisien karena aliran air yang lebih lambat, yang memungkinkan lebih banyak waktu bagi bahan organik untuk terakumulasi di lapisan permukaan. Sebaliknya, pada lahan lereng curam, aliran air yang cepat dapat mengakibatkan pencucian bahan organik dari lapisan atas, sehingga kadar C di permukaan tanah menjadi lebih

rendah dibandingkan dengan kedalaman yang lebih dalam (Astuti dkk., 2020).

Kedua, dinamika hidrologi juga berperan penting dalam distribusi karbon. Pada lereng landai, air yang mengalir lebih lambat memungkinkan lebih banyak bahan organik untuk terakumulasi, sedangkan pada lereng curam, aliran air yang cepat dapat mengakibatkan hilangnya lapisan atas tanah yang kaya akan bahan organik (Naharuddin dkk., 2020). Hal ini sejalan dengan temuan Naharuddin et al., yang mencatat bahwa sifat tanah, termasuk kadar C, dapat bervariasi tergantung pada penggunaan lahan dan posisi vertikal di lereng (Naharuddin dkk., 2020).

Ketiga, proses erosi yang berbeda antara lereng landai dan curam juga mempengaruhi kadar C. Erosi yang lebih intens pada lereng curam dapat mengakibatkan hilangnya lapisan tanah yang kaya akan karbon, sementara di lereng landai, erosi cenderung lebih rendah, sehingga memungkinkan akumulasi karbon yang lebih baik di lapisan permukaan (Sumarlin dkk., 2021). Penelitian oleh Sumarlin et al. menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dapat berdampak signifikan terhadap cadangan karbon, yang menunjukkan pentingnya mempertahankan tutupan vegetasi untuk menjaga kadar C di tanah (Sumarlin dkk., 2021).

Pada kelas lereng L2 nilai BD pada kedalaman tanah 0-10 cm tertinggi berada pada bagian atas lereng, yaitu 1,29 kg/dm³ dan terendah berada pada bagian tengah lereng yaitu 1,24 kg/dm³ sedangkan untuk kedalaman tanah selanjutnya BD tertinggi pada bagian bawah lereng dan terendah pada bagian atas lereng (Tabel 1). Pada lereng agak curam (L3) hingga kedalaman tanah 20

cm BD tertinggi berada pada bagian tengah lereng dan terendah pada bagian atas lereng namun pada kedalaman tanah selanjutnya (20-30 cm) BD tertinggi ditunjukkan oleh bagian bawah lereng sedangkan terendah tetap berada di bagian atas lereng. Kadar bahan organik dan kadar liat mempengaruhi BD tanah.

Posisi Lereng Atas: Bulk density tertinggi ditemukan di posisi lereng atas. Hal ini disebabkan oleh erosi yang lebih intensif di bagian atas lereng yang menghilangkan partikel tanah yang lebih halus dan bahan organik, sehingga meningkatkan kepadatan tanah (Zhu dkk., 2022; Khan dkk., 2013; Ewetola dkk., 2010). Erosi di lereng atas menghilangkan partikel tanah yang lebih halus dan bahan organik, sementara deposisi di lereng bawah mengakumulasi partikel-partikel ini, yang mempengaruhi bulk density secara signifikan (Zhu dkk., 2022; Khan dkk., 2013; Ewetola dkk., 2010)

Kandungan C Tanah (ton/ha)

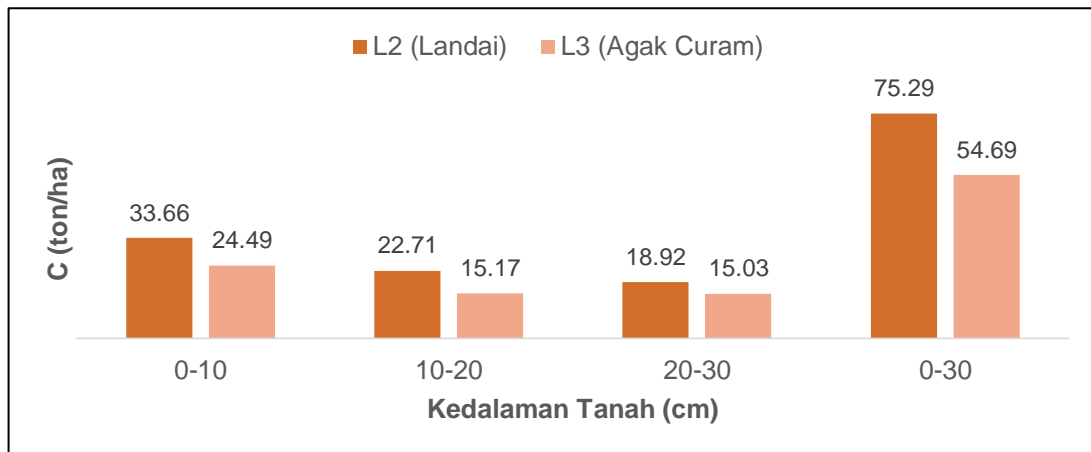
Kandungan C tanah (ton/ha) setiap lapisan tanah yang diteliti diperoleh dari hasil perkalian berat tanahnya dengan kadar C per-hektar. Berdasarkan data kadar C (%) dan BD tanah pada Tabel 1 bahwa kadar C tanah baik pada lahan landai maupun agak curam meningkat berdasarkan posisi lerengnya, lereng atas menunjukkan nilai terendah dan lereng bawah menunjukkan nilai terbesar. Namun tidak demikian dengan berat tanahnya mengingat BD tanah menunjukkan dinamika yang berbeda dengan kadar C tanahnya. Akan tetapi berdasarkan perhitungan tersebut kandungan C tanah (ton/ha) baik pada lahan landai (L2) maupun agak curam (L3) mempunyai kecenderungan yang sama dengan kadar C (%) tanahnya, yaitu terendah di lereng bagian atas dan tertinggi di lereng bagian bawah (Tabel 2).

Tabel 1. Kandungan C tanah (ton/ha) di HPFU

Kedalaman (cm)	Kandungan C Tanah (ton/ha)			
	Atas	Tengah	Bawah	Rataan
Landai (L2)				
0 - 10	32,12	32,36	36,48	33,66
10 - 20	19,04	22,23	26,87	22,71
20 - 30	14,56	18,33	23,87	18,92
Total	65,72	72,92	87,22	75,29
Agak Curam (L3)				
0 - 10	20,86	23,94	28,67	24,49
10 - 20	14,16	15,37	15,98	15,17
20 - 30	13,05	15,07	16,96	15,03
Total	48,08	54,38	61,61	54,69

Berdasarkan kedalaman tanahnya, rata-rata kandungan C (ton/ha) menurun seiring bertambahnya kedalaman tanah. Hal ini terjadi baik pada lahan landai (L2) maupun lahan agak curam (L3) dan berdasarkan

kelerengannya kandungan C (ton/ha) pada setiap lapisan tanah maupun pada lapisan tanah 30 cm teratas lahan landai tanahnya menyimpan karbon (C) lebih besar dibanding tanah di lahan agak curam (Gambar 2).



Gambar 2. Kandungan C tanah (ton/ha) pada kelas lereng landai (L2) dan kelas lereng agak curam (L3) di areal penelitian HPFU Samarinda

Untuk memberikan gambaran umum kondisi C tanah di HPFU Samarinda maka perlu adanya pembandingan dengan lahan di lokasi

lainnya. Tabel 3 berikut adalah kandungan C tanah pada berbagai tempat dan berbagai tipe penggunaan lahan

Tabel 3. Kandungan C Tanah di berbagai tipe penggunaan lahan

No	Lokasi	C (ton/ha)	Tutupan Lahan	Referensi
1	Hutan Pendidikan Unmul (L2)	75,29	Hutan sekunder	Penelitian ini
2	Hutan Pendidikan Unmul (L3)	54,69	Hutan sekunder	Penelitian ini
3	PT Berau Coal Site Sambarata	33,98	Revegetasi pascatambang	Hartati dan Sudarmadji, 2022
4	PT Berau Coal Site Binungan	23,01	Revegetasi pascatambang	Hartati dan Sudarmadji, 2022
5	PT Berau Coal Site Lati	37,50	Revegetasi pascatambang	Hartati dan Sudarmadji, 2022
6	Aceh Besar District, Aceh	124,48	Padang rumput	Abdullah dkk., 2022
7	Aceh Besar District, Aceh	131,61	Hutan belukar	Abdullah dkk., 2022
8	North Lombok, West Nusa Tenggara	10,30	Lahan pertanian	Kusumo dkk., 2018
9	North Kayong, Kalimantan Barat	111,56	Hutan gambut	Astiani dkk., 2017
10	Karimun Java Island, Jawa Tengah	158,37	Hutan mangrove	Nehren dan Wicaksono 2018
11	PT Finnantara Intiga, Kalimantan Barat	40,59	Hutan tanaman	Widhanarto dkk., 2016

Berdasarkan data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan karbon tanah di HPFU Samarinda nilainya jauh lebih besar dibanding dengan lahan berhutan daratan di lokasi lainnya, seperti lahan revegetasi pascatambang batubara di kawasan hutan, hutan tanaman di PT Finnantara Intiga Kalimantan Barat. Namun jika dibandingkan dengan karbon

tanah pada hutan gambut, hutan belukar, padang rumput maupun hutan mangrove, kandungan karbon di HPFU Samarinda nilainya lebih rendah.

Cadangan karbon pada Tanah

curam (L3) di areal penelitian HPFU Samarinda disajikan pada Tabel 4.

Cadangan C tanah (ton) pada kelas lereng landai dan kelas lereng agak

Tabel 4. Cadangan C tanah (ton) pada kelas lereng landai dan kelas lereng agak curam (L3) di areal penelitian HPFU Samarinda

Kelas Lereng (luasan)	Kedalaman Tanah (cm)	Kandungan C (ton/Ha)	Total C (ton)
L2 (72,99 ha)	0 – 10	33,66	2.456,84
	10 – 20	22,77	1.661,98
	20 – 30	18,92	1.499,97
Total (L2)		75,29	5.499,80
L3 (69,90 ha)	0 – 10	24,49	1.711,85
	10 – 20	15,17	1.060,38
	20 – 30	15,03	1.050,60
Total (L3)		54,69	3.822,83
Total (L2 + L3)			9.322,63

Potensi kandungan C tanah sedalam 30 cm teratas di HPFU Samarinda sebesar 3.822,83 ton untuk lahan berlereng landai dan sebesar 5.499,80 ton untuk lahan berlereng agak curam. Total karbon tersimpan untuk kedua lahan tersebut adalah 9.322,63 ton (Tabel 3). Tanah sedalam 30 cm teratas dengan tutupan hutan sekunder muda di HPFU yang diteliti, yaitu seluas 142,89 ha dapat menyimpan C sebanyak 9,322,63 ton. Jumlah simpanan C tersebut setara dengan lahan pascatambang batubara yang telah direvegetasi seluas 292,34 ha. Nilai tersebut diperoleh dari nilai rata-rata kandungan karbon sedalam 30 cm teratas pada lahan pascatambang batubara yang telah direvegetasi antara 2 hingga 10 tahun (Hartati dan Sudarmadji, 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan perbedaan kelerengan mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyimpan karbon, dimana area dengan kelerengan yang lebih landai memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang lebih tinggi, Tanah sedalam 30 cm teratas pada hutan sekunder muda menyimpan C dua kali lebih luas dibanding lahan

pascatambang batubara di kawasan hutan yang telah direvegetasi.

Penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai peran lereng dalam penyimpanan karbon tanah, yang dapat digunakan untuk pengelolaan hutan yang lebih baik dan menyusun strategi mitigasi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, U.H., Sufardi, S., Syafruddin, S., dan Arabia, T. (2022). Soil organic carbon of grassland and bush forest on dryland in Aceh Besar District, Indonesia. *Biodiversitas* 23 (5): 2594-2600. DOI: 10.13057/biodiv/d230541.

Astiani, D., Mujiman, M., Rafiastanto, A. (2017). Forest type diversity on carbon stocks: Cases of recent land cover conditions of tropical lowland, swamp, and peatland forests in West Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas* 18 (1): 137-144. DOI: 10.13057/biodiv/d180120

Astuti, R., Wasis, B., & Hilwan, I. (2020). Potensi cadangan karbon pada lahan rehabilitasi di kabupaten gunung mas, kalimantan tengah. *Media Konservasi*, 25(2), 140-148.

Hartati, W., et.al. (2024) "Less Steep Slope Stored More Soil C Than Those Steep Ones: A Case Study In Hpfu Samarinda", Jurnal Agriment, 9(2).

- <https://doi.org/10.29244/medkon.25.2.140-148>
- Ewetola, E., Oyediran, G., Owoade, F., & Ojo, O. (2010). Variations in soil physical properties along toposequence of an alfisol in Southern Guinea Savanna of Nigeria. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 3, 303-305
- Hartati, W., Sudarmadji, T. (2016). Relationship between soil texture and soil organic matter content on mined-out lands in Berau, East Kalimantan, Indonesia. *Nusantara Biosci* 8 (1): 83-88. DOI: 10.13057/nusbiosci/n080115
- Hartati, W., Suhadiman, A., Sudarmadji, T., dan Sulistiyo, E.A. (2021). Estimasi cadangan karbon pada tumbuhan bawah dan serasah di KHDTK HPFU Samarinda. *Ulin - J Hut Trop* 5 (2) : 63-72.
- Hartati, W. dan Sudarmadji, T. (2022). The dynamics of soil carbon in revegetated post-coal mining sites: A case study in Berau, East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas* 23 (10): 4984-4991. DOI: 10.13057/biodiv/d231004
- Heriyanto, N., Priatna, D., & Samsedin, I. (2022). Keanekaragaman tumbuhan dan kandungan karbon di Hutan Tembawang Alak, Sintang, Kalimantan Barat. *Buletin Kebun Raya*, 25(3), 142-155. <https://doi.org/10.55981/bkr.2022.723>
- Heriyanto, N., Samsedin, I., & Kartawinata, K. (2019). Tree species diversity, structural characteristics and carbon stock in a one-hectare plot of the protection forest area in West Lampung Regency, Indonesia. *Reinwardtia*, 18(1). <https://doi.org/10.14203/reinwardtia.v18i1.3574>
- Khan, F., Hayat, Z., Ahmad, W., Ramzan, M., Shah, Z., Sharif, M., Mian, I., & Hanif, M. (2013). Effect of slope position on physico-chemical properties of eroded soil. *Soil in the Environment*, 32, 22-28.
- Kusumo, B.H., Sukartono, Bustan. (2018). The rapid measurement of soil carbon stock using near-infrared technology. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 129 (1): 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/129/1/012023
- Li, W., Dickinson, R., Fu, R., Niu, G., Yang, Z., & Canadell, J. (2007). Future precipitation changes and their implications for tropical peatlands. *Geophysical Research Letters*, 34(1). <https://doi.org/10.1029/2006gl028364>
- Naharuddin, N., Sari, I., Harijanto, H., & Wahid, A. (2020). Sifat fisik tanah pada lahan agroforestri dan hutan lahan kering sekunder di Sub DAS WUNO, DAS PALU. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 8(2), 189-200. <https://doi.org/10.36084/jpt.v8i2.251>
- Nehren, U., Wicaksono, P. 2018. Mapping soil carbon stocks in an oceanic mangrove ecosystem in Karimunjawa Islands, Indonesia. *Estuar Coast Shelf Sci* 214: 185-193. DOI: 10.1016/j.ecss.2018.09.022
- Sumarlin, D., Gusmayanti, E., & Anshari, G. (2021). Analisis perubahan penggunaan lahan dan cadangan karbon sebagai indikator degradasi lingkungan di Kecamatan Sandai Kabupaten Ketapang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 576-581. <https://doi.org/10.14710/jil.19.3.576-581>
- Sunaryanto, Karyati dan Syafrudin, M. (2016). Biomassa dan cadangan karbon tumbuhan bawah pada tiga penutupan vegetasi berbeda di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman
- Valentino, F., Karyati dan Syafrudin, M. (2016). Biomassa dan cadangan karbon tiga jenis tumbuhan herba dari Famili *Asteraceae*. *Prosiding Seminar Nasional Silvikultur ke IV dan Kongres Masyarakat Silvikultur Indonesia*. Pusat Pengkajian

Perubahan Iklim, Universitas
Mulawarman. Samarinda.

Widhanarto, G.O., Purwanto, R.H.,
Maryudi, A., Senawi. (2016).
Assessing carbon pool of forest
plantation to support REDD+
implementation in Indonesia. AIP
Conf Proc 1755 (1): 130008. DOI:
10.1063/1.4958552.

Zhu, H., Li, H., Liang, C., Chang, X., Wei,
X., & Zhao, X. (2022). Spatial
variation in soil physico-chemical
properties along slope position in a
small agricultural watershed
scale. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102457>.