

KONTRIBUSI JASA LANSKAP AGROFORESTRI SEBAGAI USAHA PENINGKATAN RESILIENSI EKOSISTEM TERHADAP TEKANAN LINGKUNGAN

Dwi Ekky Septian^{1*}, Regan Leonardus Kaswanto², Hadi Susilo Arifin²

¹ Program Studi Magister Arsitektur Lanskap, Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB University, Dramaga, Bogor, 16680, Indonesia

² Divisi Manajemen Lanskap, Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB University, Dramaga, Bogor, 16680, Indonesia

*Email: ekky.workspace@gmail.com

ABSTRAK

Perubahan penggunaan lahan akibat pertumbuhan populasi manusia meningkatkan tekanan pada lingkungan. Lanskap agroforestri merupakan sistem *mixed-use* yang menawarkan solusi dalam memenuhi mengatasi tekanan lingkungan sekaligus mempertahankan jasa lanskap. Penelitian ini memberikan rekomendasi manajemen jasa lanskap berupa keragaman jenis tanaman, penyimpanan karbon, dan tata kelola air dengan menggunakan *i-Tree Eco*. Hasil analisis menunjukkan jasa lanskap agroforestri mampu berkontribusi terhadap tekanan lingkungan sejalan dengan tujuan *Sustainable Development Goals* SDG's 11 (pembangunan perkotaan dan masyarakat kota yang berkelanjutan), SDG's 13 (mitigasi perubahan iklim) dan SDG's 15 (perlindungan ekosistem daratan). Lanskap agroforestri pada penelitian ini berkontribusi dalam keragaman jenis tanaman dengan tingkat sedang, sebagai penyedia sumber daya genetik, penyedia makanan, peningkatan produksi biomassa, ketahanan varietas lokal dan sebagai area penyangga dalam lanskap. Lanskap agroforestri pada penelitian ini menyimpan karbon dalam jumlah sedang yang mendukung target Indonesia mengurangi emisi karbon pada tahun 2030. Lanskap agroforestri penelitian ini berkontribusi dalam mengurangi limpasan air melalui evapotranspirasi dan infiltrasi tanah, meningkatkan ketahanan lingkungan terhadap musim kemarau.

Kata kunci: Degradasi lingkungan, *i-Tree ECO*, karbon tersimpan, keragaman jenis tanaman, tata kelola air

CONTRIBUTION OF AGROFORESTRY LANDSCAPE SERVICES AS AN EFFORT TO IMPROVE ECOSYSTEM RESILIENCE TO ENVIRONMENTAL PRESSURE

ABSTRACT

Land use change driven by human population growth increases pressure on the environment. Agroforestry landscapes are mixed-use systems that provide solutions to meet the environment pressure while maintaining landscape services. This study analyzes landscape services in terms of plant species diversity, carbon storage, and water management using i-Tree Eco. The results indicate that agroforestry landscape services contribute to mitigating environmental pressures in alignment with the Sustainable Development Goals (SDG's), specifically SDG's 11 (sustainable cities and communities), SDG's 13 (climate action), and SDG's 15 (life on land). The agroforestry landscape examined in this study supports a moderate level of plant species diversity, serving as a genetic resource provider, food source, biomass producer, and contributor to the resilience of local varieties, while also functioning as a buffer zone within the landscape. Additionally, this agroforestry landscape stores a moderate amount of carbon, supporting Indonesia's target of reducing carbon emissions by 2030. Furthermore, it helps mitigate water runoff through evapotranspiration and soil infiltration, enhancing environmental resilience during dry seasons.

Keywords: Carbon stored, ecological degradation, *i-Tree ECO*, plant species diversity, water management

PERNYATAAN KUNCI

- Lanskap agroforestri mampu mempertahankan jasa lanskap berupa keragaman jenis tanaman, sebagai indikator penting dalam usaha resiliensi terhadap tekanan lingkungan akibat perubahan penggunaan lahan. Jasa lanskap ini sesuai tujuan SDG's 11 untuk mewujudkan pembangunan perkotaan yang inklusif dan berkelanjutan.
- Lanskap agroforestri mampu berkontribusi untuk target Negara Indonesia untuk menyimpan karbon sebanyak 912 juta ton CO₂ pada tahun 2030. Karbon tersimpan melalui tumbuhan pada lanskap agroforestri berfungsi sebagai penyangga alami terhadap pemanasan global akibat emisi gas rumah kaca. Hal ini sejalan dengan tujuan SDG's 13 mengenai tindakan terhadap perubahan iklim.
- Lanskap agroforestri mampu menyediakan jasa lanskap berupa tata kelola air dengan mengurangi limpasan air dan mencegah erosi melalui strata tanaman yang memperlambat jatuhnya air ke tanah yang mengakibatkan degradasi lingkungan. Hal ini mendukung tindakan konservasi tanah dan air. Pengurangan limpasan air oleh lanskap agroforestri selaras dengan tujuan SDG's 15 mengenai perlindungan ekosistem daratan, termasuk hutan yang lestari.

REKOMENDASI KEBIJAKAN

Lanskap agroforestri pada penelitian ini memiliki 38 spesies tanaman dengan indeks keanekaragaman H' pada kategori sedang. Pemerintah perlu mengintegrasikan lanskap agroforestri dalam kebijakan tata ruang dan memberikan insentif pajak bagi masyarakat yang menanam spesies lokal untuk meningkatkan keragaman jenis tanaman dan daya lenting ekosistem. Pihak swasta perlu mengembangkan model bisnis berkelanjutan, berinvestasi dalam skema insentif dan membangun rantai pasok dari hulu ke hilir.

Lanskap agroforestri pada penelitian ini mampu menyimpan karbon pada tingkat “sedang” yang mampu berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim. Perlu adanya skema pembayaran jasa lanskap dan insentif pajak karbon yang diterapkan untuk mendorong peran masyarakat dalam penyimpanan karbon sesuai target *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia. Lanskap agroforestri pada penelitian

ini juga mampu menyediakan tata kelola air sebagai strategi konservasi air. Perlu adanya kolaborasi pemerintah dan akademisi dalam inovasi, riset, monitoring secara berkala dan pendampingan teknis seperti, jenis tanaman, pola tanam, pemangkasan, dan pemupukan berbasis lanskap alami.

PENDAHULUAN

Perubahan penggunaan lahan terjadi untuk pemenuhan kebutuhan masyarakat yang terus meningkat akibat pertambahan jumlah populasi manusia. Perubahan penggunaan lahan juga mengakibatkan perubahan fungsi dan bentuk pada lanskap alami. Kebutuhan tempat tinggal dan mata pencaharian menjadi faktor pendorong perubahan penggunaan lahan untuk kebutuhan dan kesejahteraan masyarakat. Perubahan penggunaan lahan yang terjadi tanpa terkendali dapat menyebabkan terjadinya eksploitasi sumber daya alam termasuk hutan sebagai penyedia kebutuhan lokal masyarakat (Akbar *et al.* 2025). Deforestasi atau penggundulan hutan terjadi akibat adanya eksploitasi hutan sebagai penyedia sumber daya bahan baku kayu dan juga perubahan penggunaan lahan untuk industri yang dinilai lebih menguntungkan secara ekonomi (Sirait *et al.* 2021; Aboye *et al.* 2023; Chen *et al.* 2023; Zain dan Nurrochmat 2021).

Tekanan pada lingkungan menyebabkan banyak dampak negatif karena berkurangnya keragaman jenis tanaman flora maupun fauna, berkurangnya penyerapan karbon dan terjadinya limpasan air akibat terbentuk lapisan tanah yang tidak mampu menyerap air. Dampak negatif ini akan menimbulkan terjadinya perubahan iklim pada lingkungan dan memperbesar risiko bencana alam (Arifin dan Nakagoshi 2011; Pendrill *et al.* 2022; Aboye *et al.* 2023).

Permasalahan lingkungan yang timbul akibat perubahan lanskap alami dapat memperbesar risiko terhambatnya pembangunan masyarakat yang sejahtera dan berkelanjutan (Arifin *et al.* 2009a). Dampak Perubahan penggunaan lahan perlu menjadi perhatian untuk menyeimbangkan antara kebutuhan pembangunan sosial ekonomi dan mempertahankan jasa lanskap (Aboye *et al.* 2023). Hal ini sejalan dengan tujuan SDS's poin 11 yang bertujuan untuk pembangunan perkotaan yang inklusif dan berkelanjutan.

Proses perubahan lahan perlu memperhatikan proses perencanaan, pengelolaan dan evaluasi yang baik untuk menghadapi

perubahan iklim dan usaha konservasi pengelolaan hutan sebagai ekosistem daratan. Hal ini sesuai dengan tujuan SDG's pada poin 13 dan 15. Sistem penggunaan lahan secara bersamaan atau *mixed-use* menjadi salah satu solusi untuk menghindari konflik penggunaan lahan agar dapat menghasilkan fungsi dan manfaat secara bersamaan.

Sistem pengelolaan lahan secara *mixed-use* pada lanskap agroforestri dinilai dapat mengelola lahan secara efisien untuk meningkatkan hasil ekonomi dan memberikan jasa lanskap. Lanskap agroforestri merupakan bentang alam dengan pemanfaatan agroforestri (Arifin 2009; Prastiyo *et al.* 2018a). Lanskap agroforestri memiliki interaksi antara heterogenitas yang menyebabkan dinamika dan pengaruh secara spasial secara biotik maupun abiotik. Lanskap agroforestri juga mampu bertindak sebagai area penyangga karena dapat menciptakan iklim mikro yang sesuai kebutuhan bagi organisme di dalamnya (Arifin 2009; Kaswanto *et al.* 2013).

Agroforestri merupakan suatu rangkaian pengelolaan lahan yang berbasis ekologi untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Agroforestri memadukan tegakan pohon hutan dengan tanaman pertanian maupun peternakan atau perikanan. Agroforestri terbukti dapat meningkatkan produksi pertanian dan nilai ekonomi hingga 21% dengan risiko yang sama pada penggunaan lahan monokultur. Agroforestri juga meningkatkan kesuburan tanah dan juga mampu menciptakan iklim mikro yang lebih baik (Paul *et al.* 2017; Kuyah *et al.* 2019; Asante *et al.* 2021; Meckelburg dan Wardana 2024; Zoungwana *et al.* 2024; Arifin *et al.* 2009b; Kaswanto dan Muttaqin 2013; Prastiyo *et al.* 2018b).

SITUASI TERKINI

Perubahan penggunaan lahan akibat urbanisasi dipengaruhi oleh beragam faktor, seperti kebijakan pemerintah dan juga kondisi sosial ekonomi pada masyarakat (Kaswanto *et al.* 2021). Perubahan lahan akibat proses urbanisasi pada Desa Parakanlima dipengaruhi oleh kebijakan yang tertuang dalam Rencana Kerja Pemerintah Kabupaten Sukabumi tahun 2022. Kebijakan ini menyatakan Desa Parakanlima termasuk dalam Kecamatan Cikembar yang direncanakan sebagai pusat pelayanan kawasan perkotaan termasuk administratif, perdagangan, pertanian dan konservasi (PEMKAB Sukabumi 2021).

Lanskap agroforestri menjadi sistem strategis yang dapat diterapkan pada penggunaan lahan dengan sistem *mix-used*. Interaksi antara heterogenitas pada lanskap agroforestri memberikan jasa lanskap yang mampu memberikan daya lenteng atau resiliensi pada tekanan lingkungan akibat pembangunan yang mengakibatkan perubahan penggunaan lahan. Lanskap agroforestri memiliki keunggulan dapat mempertahankan keragaman jenis tanaman, sebagai penyerapan dan penyimpanan karbon dan mengurangi limpasan air (Ali *et al.* 2024; Kaswanto 2022; Sunardi *et al.* 2020).

Studi kasus pada penelitian ini dilakukan pada lanskap agroforestri dengan luas lahan 22,19 ha. Lanskap agroforestri ini masih memiliki 87,50% tutupan lahan berupa vegetasi, 2,36%, lahan terbangun dan 1,87% berupa badan air (Tabel 1). Luas tutupan lahan berupa vegetasi pada penelitian ini mencapai 19,41 ha. Tutupan lahan ini merupakan luasan paling tinggi di antara tutupan lahan lainnya, dengan penggunaan lahan seperti pertanian, hutan alami, dan talun. Hal ini menunjukkan bahwa lanskap agroforestri memiliki potensi besar mempertahankan vegetasi dalam tutupan lahan, sekaligus mampu memenuhi kebutuhan masyarakat dalam penggunaan lahan lainnya.

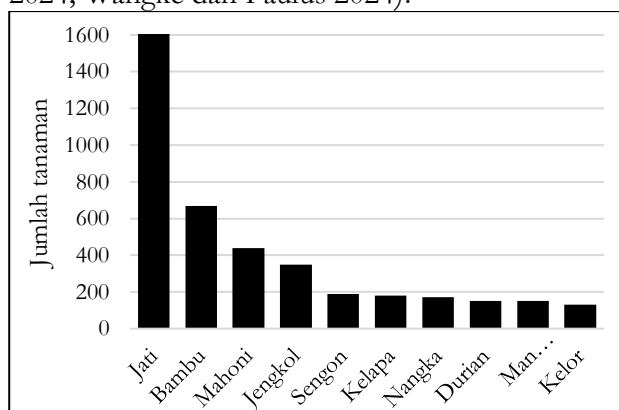
Tabel 1. Tutupan Lahan

| No. | Tutupan Lahan | Luas Area (ha) | Persentase (%) |
|--------------|---------------|----------------|----------------|
| 1 | Vegetasi | 19,41 | 87,50 |
| 2 | Bangunan | 2,36 | 10,64 |
| 3 | Badan Air | 0,41 | 1,87 |
| Total | | 22,19 | 100,00 |

Vegetasi pada lanskap agroforestri ini setidaknya memiliki 38 spesies tanaman dengan 10 spesies yang mendominasi (Gambar 1). Spesies terbanyak pada lanskap agroforestri ini adalah bambu mencapai 33,20% dari total jumlah tanaman lainnya. Spesies lain yang mendominasi adalah jengkol dan kelapa. Jenis tanaman yang mendominasi pada lanskap agroforestri umumnya dapat memberikan manfaat lokal seperti konsumsi pribadi dan juga bahan bangunan lokal.

Potensi lanskap agroforestri dalam mempertahankan tutupan lahan bervegetasi membutuhkan peran penting dari berbagai macam *stakeholder* pemerintah, masyarakat dan akademisi. Pemerintah sebagai *stakeholder* utama merupakan faktor utama yang mampu mendorong terlaksananya berbagai macam regulasi yang konsisten. Hal ini berkaitan dengan

insentif, disinsentif, akses terhadap modal maupun sumber daya dan lainnya. Keterlibatan masyarakat sebagai kunci agar regulasi bisa berjalan sesuai dengan karakter pada suatu daerah, untuk itu penting dalam memperhitungkan karakter masyarakat dan melibatkan masyarakat dalam penyusunan regulasi. Akademisi juga memiliki peran penting dalam inovasi dan riset maupun membangun generasi yang berwawasan lingkungan. dimulai dari tingkat kurikulum pendidikan dasar hingga perguruan tinggi (Adrian *et al.* 2024; Prihartono *et al.* 2024; Suryaalim *et al.* 2024; Wangke dan Paulus 2024).



Gambar 1. Jumlah Populasi Tanaman

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada lanskap agroforestri milik mitra pengguna CV. Antoni Farm. Lokasi penelitian terletak pada 6°59'15" sampai 6°59'45"LS dan 106°51'05.30 sampai 106°51'05.45" BT, pada Desa Parakanlima, Kecamatan Cikembar, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Luas lanskap pada penelitian ini sebesar 22,18 ha. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi, seperangkat komputer, GPS, meteran, *Phi Band*, *bagameter*, *i-Tree Eco*, *ArcGIS* dan *website randomizer*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, *tally sheet*, yang akan digunakan ketika observasi langsung di lokasi penelitian, penanda, kertas label. Selain itu, data pendukung dari berbagai sumber dan laporan terdahulu juga menjadi referensi dan pertimbangan dalam melakukan penelitian ini.

Analisis jasa lanskap yang dilakukan pada penelitian ini mencakup tiga jasa lanskap yaitu keragaman jenis tanaman, karbon tersimpan dan pengurangan limpasan air yang dianalisis menggunakan *i-Tree Eco*. Pengumpulan data pada penelitian ini sesuai dengan petunjuk manual *i-Tree Eco*. Pengumpulan data di lapangan dilakukan dengan cara *stratified random sampling*. Penentuan

sebaran jumlah plot dilakukan dengan jumlah plot yang dapat mewakili area lokasi penelitian (*i-Tree Company* 2023). Penentuan jumlah plot pada pengamatan lapang ini menggunakan persamaan.

$$\text{Jumlah Plot Sampel} = \frac{\text{Luas Kawasan (m)}^2}{400\text{m}^2} \times 10\%$$

Angka sebagai jumlah sebaran calon plot yang sudah ditentukan, kemudian titiknya ditentukan menggunakan Software *ArcGIS* dan diperbanyak menjadi 10x dari jumlah plot sampel yang dibutuhkan. Sebaran plot kemudian dipilih secara acak *website randomizer*. Pengambilan data di lapangan dilakukan dengan menentukan titik pusat plot yang diketahui berdasarkan koordinat pada GPS (Syasita 2022). Proses pengambilan data dilakukan dengan inventarisasi terhadap vegetasi sesuai pada petunjuk penggunaan *software i-Tree Eco*, termasuk pada kriteria diameter tanaman yang lebih besar dari 10 cm dan berada di radius 11, 3 m dari pusat plot. Data yang dikumpulkan untuk menggunakan *i-Tree Eco* yaitu data spesies pohon, tinggi pohon total, tinggi pohon hidup, tinggi dasar tajuk, *Diameter at Breast High* (DBH), lebar tajuk, persentase tajuk hilang, kesehatan tajuk dan paparan cahaya tajuk.

Data yang dikumpulkan pada *i-Tree Eco* menghasilkan data keragaman jenis tanaman, biomassa yang dapat merepresentasikan karbon tersimpan dan data yang menginterpretasikan pengurangan limpasan air pada satu kawasan. Data tersebut meliputi jumlah individu pohon, luas tajuk, evapotranspirasi potensial, evaporasi, transpirasi, air terserap, pengurangan limpasan dan nilai pengurangan limpasan.

ANALISIS DAN ALTERNATIF SOLUSI/PENANGANAN

Dampak negatif dari tekanan lingkungan terhadap perubahan penggunaan lahan yang tidak terkendali dapat memperbesar risiko perubahan iklim dan bencana alam. Variabel keunggulan pada lanskap agroforestri berupa keragaman jenis tanaman, sebagai penyimpanan karbon dan pengurangan limpasan air menjadi dasar pada penelitian ini. Variabel ini dinilai untuk melihat kontribusi lanskap agroforestri dalam menghadapi tekanan lingkungan karena perubahan penggunaan lahan.

Keragaman Jenis Tanaman

Keragaman jenis tanaman dapat dibedakan menjadi keragaman vertikal dan horizontal. Keragaman vertikal diklasifikasikan dari berbagai strata pada tinggi tanaman. Keragaman horizontal

diklasifikasikan sebagai jenis fungsi tanaman seperti, tanaman hias, tanaman buah-buahan, tanaman sayur-sayuran, tanaman rempah-rempah, tanaman obat-obatan, tanaman bertepung, tanaman industri dan lainnya (Arifin *et al.* 1998). Analisis keragaman jenis tanaman pada penelitian ini menggunakan data pada *i-Tree Eco* berdasarkan perhitungan *Shannon–Wiener Index*. Persamaan *Shannon–Wiener Index* digunakan untuk menghitung keanekaragaman dengan gabungan antara jumlah jenis dan jumlah individu dalam satu plot. Analisis Keragaman jenis tanaman pada penelitian ini menunjukkan dalam lanskap agroforestri memiliki 38 spesies tanaman, dengan nilai *Shannon–Wiener index* sebesar 2,5 yang berarti berada dalam kategori keragaman sedang.

Keragaman jenis tanaman memainkan peran penting sebagai resiliensi atau daya lenting pada tekanan lingkungan. Tingkat keragaman tanaman dalam suatu lanskap sangat dipengaruhi oleh preferensi pengelola atau pemilik lahan. Preferensi tanaman yang sering menjadi pilihan adalah tanaman yang memiliki nilai komersial, termasuk pada segi estetika, ekonomi dan penyedia makanan (Cavender-Bares *et al.* 2020).

Keragaman jenis tanaman memiliki dampak positif sebagai daya lenting atau resiliensi terhadap tekanan lingkungan dari berbagai tingkatan. Keragaman jenis tanaman pada tingkat genotipe mampu menyediakan sumber daya genetik sebagai dasar pemuliaan tanaman. Sumber daya genetik seperti kerabat liar dan sumber daya lokal bisa digunakan pada peningkatan produksi, ketahanan terhadap hama maupun cekaman lingkungan seperti kekeringan (McCouch *et al.* 2020; Brooker *et al.* 2023; Gepts 2023).

Keragaman jenis tanaman pada tingkat kawasan memiliki berbagai macam fungsi. Tanaman non-produksi dapat menyediakan sumber makanan bagi musuh alami pada hama maupun hewan yang membantu penyerbukan. Keragaman jenis tanaman pada tingkat kawasan juga mampu meningkatkan biomassa, proses dekomposisi, kesuburan tanah secara bertahap (Zaret *et al.* 2022; Brooker *et al.* 2023; Zhang *et al.* 2023).

Keragaman jenis tanaman pada tingkat lanskap berkontribusi sebagai penyangga terhadap tekanan terhadap lingkungan (Brooker *et al.* 2023). Keragaman jenis tanaman yang tinggi mampu meningkatkan produksi biomassa sebagai penyerapan karbon, peningkatan simpanan karbon dan ketahanan terhadap kekeringan. Manfaat keragaman jenis tanaman yang tinggi ini

menjadi *buffer* resistensi dalam tekanan lingkungan (Hong *et al.* 2022).

Perubahan kondisi lingkungan yang ekstrem mampu meningkatkan produksi biomassa dan ketahanan pada beberapa populasi, ketika populasi yang lain menjadi lemah. Hal ini menunjukkan bahwa keragaman jenis tanaman mampu memberikan manfaat secara periodik pada suatu ekosistem. Dampak keragaman jenis tanaman bisa meningkat hingga 61% pada produksi biomassa yang dibantu fitoplankton (Hong *et al.* 2022). Dampak positif dari keragaman jenis tanaman dapat dimaksimalkan dengan sistem pertanian berkelanjutan seperti pada lanskap agroforestri. Sistem pengelolaan lanskap agroforestri yang memadukan beragam spesies dapat menjadi solusi untuk peningkatan keragaman jenis tanaman sebagai usaha resiliensi terhadap tekanan lingkungan. Lanskap agroforestri dengan pemilihan tanaman yang tepat dengan menyesuaikan preferensi masyarakat dan juga pengetahuan lokal dapat menjadi usaha konservasi dan solusi berkelanjutan (Cavender-Bares *et al.* 2020; Kimaro *et al.* 2024).

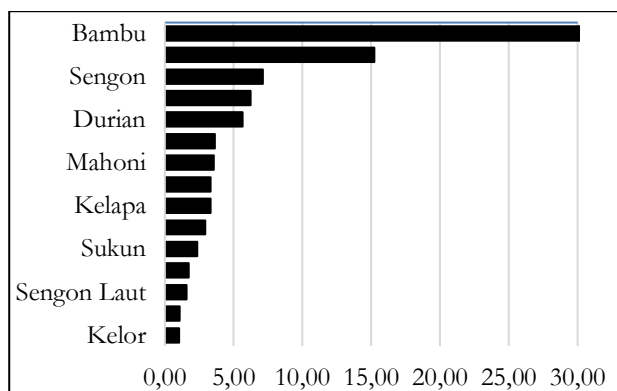
Tindakan pengelolaan lanskap agroforestri membutuhkan peranan beragam pihak. Masyarakat dan akademisi berperan mengembangkan pengetahuan dan pelestarian pengetahuan mengenai spesies lokal. Pihak swasta dan media dapat menciptakan pasar dan promosi yang mampu mendukung komersialisasi produk lokal untuk mengembangkan preferensi masyarakat tentang komoditas komersial. Pemerintah dapat mendukung dengan aturan sebagai regulasi usaha konservasi spesies-spesies lokal (Moreno *et al.* 2018; Cavender-Bares *et al.* 2020; Brooker *et al.* 2023; Kimaro *et al.* 2024).

Karbon Tersimpan

Lanskap agroforestri pada penelitian ini berhasil berkontribusi dengan memiliki total karbon tersimpan sebanyak 97,58 ton. Karbon tersimpan terbanyak pada lanskap agroforestri ini diwakili oleh 15 spesies tanaman yang mencapai 91,38 % dari total simpanan karbon dalam lanskap agroforestri. Tanaman terbanyak yang menyimpan karbon pada lanskap agroforestri penelitian ini adalah bambu (*Bambusa sp.*) yang nilai karbon tersimpan sebanyak 30,39 ton dan jengkol (*Archidendron pauciflorum*) dengan nilai karbon tersimpan sebanyak 15,22 ton (Gambar 2).

Jumlah karbon tersimpan pada suatu lanskap dipengaruhi oleh biomassa yang dihasilkan oleh tanaman. Pembentuk biomassa

bergantung pada jenis, tinggi, dan diameter tanaman (Irundu *et al.* 2023). Karbon tersimpan pada sistem agroforestri pada penelitian ini termasuk dalam kategori sedang. Jumlah simpanan karbon pada lanskap agroforestri juga bergantung pada praktik pengelolaannya, dalam beberapa penelitian lain lanskap agroforestri mampu memiliki karbon tersimpan dalam kategori tinggi menyaingi karbon tersimpan pada hutan alami. Secara umum tipe ekosistem lanskap agroforestri biasanya mampu menyimpan karbon dengan kategori sedang, mencapai 50-200 ton. Karbon tersimpan pada ekosistem daratan dapat ditentukan oleh tipe penggunaan lahan. Karbon tersimpan dalam ekosistem daratan tertinggi biasanya ditemukan pada tipe ekosistem hutan tropis, dengan nilai karbon tersimpan mencapai 200-1500 ton. Hal ini karena ekosistem hutan tropis memiliki beragam jenis tanaman yang tidak ditemukan pada ekosistem lainnya (IPCC Climate 2022).



Gambar 2. Karbon Tersimpan (ton)

Tipe ekosistem pada pertanian monokultur merupakan ekosistem yang paling rendah dalam kemampuan menyimpan karbon, dengan nilai di bawah 50 ton. Karbon tersimpan yang rendah pada tipe pertanian monokultur disebabkan kandungan bahan organik tanah yang rendah akibat penggunaan lahan yang intensif dan jenis tanaman yang tidak beragam. Hal ini terjadi karena minimnya rotasi tanaman dan terbatasnya tutupan vegetasi pada sepanjang tahun, sehingga rentan terhadap degradasi tanah dan kehilangan karbon akibat erosi maupun pengolahan lahan (IPCC Climate 2022).

Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi karbon melalui program NDC sebanyak 915 juta ton pada tahun 2030. Pengurangan emisi karbon diimplementasi pada berbagai sektor, seperti sumber daya energi, industri, kehutanan, pertanian dan pengelolaan limbah. Target pengurangan emisi karbon dari sektor kehutanan

mencapai 500 juta ton dan sektor pertanian mencapai 10 juta ton pada tahun 2030 (Republik Indonesia 2022). Termasuk pada lanskap agroforestri mangrove yang ada di Indonesia (Inayah dan Kaswanto 2023).

Komitmen Indonesia dalam mengurangi emisi karbon memerlukan informasi teknis yang mudah diakses dan diimplementasikan dalam meningkatkan kontribusi masyarakat. Komitmen Indonesia pada sektor kehutanan ditunjukkan oleh berbagai regulasi yang telah dibuat. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menargetkan restorasi lahan yang terdegradasi sebanyak 12 juta ha. komitmen ini tertuang dalam enam aksi mitigasi utama yaitu, pengurangan laju deforestasi dan degradasi hutan, pembangunan hutan tanaman industri, pengelolaan hutan lestari, rehabilitasi hutan, pengelolaan lahan gambut termasuk mangrove, dan peningkatan peran konservasi (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia 2022).

Pengelolaan yang optimal pada sistem agroforestri sederhana mampu menyaingi agroforestri kompleks dalam kemampuan menyimpan karbon dalam menghadapi tekanan lingkungan (Lestari dan Dewi 2023). Lanskap agroforestri sebagai salah satu ruang terbuka hijau yang mampu menyimpan cadangan karbon lebih baik dibandingkan dengan sistem pertanian monokultur. Lanskap agroforestri juga memberikan dampak pada peningkatan kualitas kesuburan tanah (Maharjan *et al.* 2024). Lanskap agroforestri juga merupakan ruang terbuka hijau yang dapat strategi jangka panjang untuk mendukung resiliensi terhadap tekanan lingkungan (Prihartono *et al.* 2024).

Tata Kelola Air

Lanskap agroforestri mampu meningkatkan sistem pengelolaan air termasuk dalam pengurangan limpasan air dan pengurangan erosi tanah. Jasa lanskap berupa sistem pengelolaan melalui pengurangan limpasan air mampu berkontribusi dalam konservasi tanah dan air. Agroforestri pada wilayah tropis mampu mengurangi tingkat erosi tanah hingga 50%. Hal ini karena agroforestri mampu meningkatkan stabilitas struktur tanah dan meningkatkan laju infiltrasi (Muchane *et al.* 2020).

Hasil analisis menggunakan *i-Tree ECO* menunjukkan estimasi pengurangan limpasan air pada lanskap agroforestri penelitian ini mencapai 246,31 m³/tahun. Pengurangan limpasan air ini merupakan kontribusi dari proses evapo-

transpirasi diestimasi mencapai 39495,94 m³/tahun dan nilai intersepsi sebesar 18231,87 m³/tahun. Tanaman berperan besar dalam mengurangi jumlah limpasan air, jumlah tanaman pada Lanskap agroforestri penelitian ini diestimasi mencapai 4867 tanaman dengan luas area permukaan daun mencapai 33,06 ha (Tabel 3).

Tabel 2. Potensi Pengurangan Limpasan Air

| No. | Data | Estimasi |
|-----|---|----------|
| 1 | Estimasi jumlah tanaman (individu) | 4867,00 |
| 2 | Luas area permukaan daun (ha) | 33,06 |
| 3 | Estimasi Evapotranspirasi (m ³ /tahun) | 39495,94 |
| 4 | Intersepsi (m ³ /tahun) | 18231,87 |
| 5 | Estimasi pengurangan limpasan air (m ³ /tahun) | 246,31 |

Jasa lanskap tata kelola air pada lanskap Agroforestri dapat meningkatkan kesuburan tanah karena mampu mengurangi jumlah hara yang tercuci. Penelitian Sebelumnya menyebutkan bahwa sistem agroforestri bahkan mampu mempertahankan unsur nitrogen tersedia hingga 46%. (Muchane *et al.* 2020). Jasa lanskap tidak langsung diberikan dalam praktik agroforestri. Lanskap agroforestri membutuhkan beberapa periode tanam sebelum mampu memberikan manfaat. Periode awal masa tanam jasa lanskap berupa pengurangan limpasan air belum terlalu berpengaruh, namun dapat dirasakan pada musim tanam berikutnya karena kanopi tanaman sudah berkembang dan mampu menghasilkan iklim mikro maupun serasah untuk mengurangi jumlah pemupukan (Fahad *et al.* 2022).

Lanskap agroforestri yang memiliki lebih sedikit tutupan tajuk akan menghasilkan limpasan air yang lebih besar, sedangkan pada lanskap agroforestri yang lebih rapat dengan keanekaragaman yang tinggi mampu mengurangi nilai limpasan air sebanyak 63,42% sampai 74,33%. Pengurangan limpasan air pada Lanskap agroforestri terjadi karena beragamnya lebar tajuk oleh tanaman yang mampu menghalangi air jatuh pada permukaan tanah (Pratiwi *et al.* 2020).

Lanskap agroforestri juga menjaga sumber mata air dari segi kuantitas dan kualitas sehingga menyediakan air bahkan pada masa kemarau. Keunggulan lanskap agroforestri mampu menciptakan iklim mikro sehingga dapat mempertahankan lingkungan dari ancaman

kekeringan dan menyimpan lebih banyak air dalam tanah. Kualitas air pada lanskap agroforestri terjaga karena lanskap agroforestri mampu menyediakan filter alami (Yuniti *et al.* 2022).

Lanskap agroforestri memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi. Pengelolaan yang kurang tepat pada lanskap agroforestri dapat menimbulkan persaingan antar tanaman yang berdampak pada hasil produksi tanaman tidak maksimal. Pengelolaan yang tepat pada lanskap agroforestri dapat membutuhkan pengetahuan mengenai teknis meliputi pemilihan jenis tanaman, rotasi tanam, teknik perawatan hingga proses panen dan meminimalisir penggunaan sumber daya. Pengembangan pengetahuan teknis melibatkan berbagai *stakeholder* untuk mendukung solusi pertanian berkelanjutan (Moreno *et al.* 2018; Asante *et al.* 2021; Kimaro *et al.* 2024).

DAFTAR PUSTAKA

- Aboye BH, Gebre-Egziabher T, Kebede B, Minale AS. 2023. Changing Farming Practices as Integral to Sustenance And Cropland-Use Loss in the Context of Urban Expansion: The Case of Jimma City, Southwest Ethiopia. *Cleaner Environmental Systems* 9:100117. DOI: 10.1016/j.cesys.2023.100117.
- Adrian A, Widiatmaka W, Munibah K, Firmansyah I. 2024. Desain Regulasi Spasial Lanskap Lahan Pertanian untuk Kemandirian Pangan Kabupaten Majalengka Hingga Tahun 2045. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 11(2): 113–123. DOI: 10.29244/jkebijakan.v11i2.56379.
- Akbar IZ, Afrianti C, Kaswanto RL, Wiyoga H, Mosyafitiani A. 2025. The Role of Monitoring Carbon Storage and Sequestration in Advancing the Vision of Forest City: Lesson Learned from Urban Forest Assessment in Bandung, West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1447(1): 012026. IOP Publishing.
- Ali MM, Islam MA, Islam MR, Dipto SS, Bari MS. 2024. Assessing the Cropland Changes into Agroforestry and Its Livelihood Outcomes: Evidence from Northern Bangladesh. *Trees, Forests and People*. 15:100497. DOI: 10.1016/j.tfp.2024.100497.
- Arifin H, Munandar A, Arifin N, Kaswanto R. 2009a. Permukiman Sehat dan Berwawasan

- Lingkungan (Buku Seri III: Manajemen Lanskap Perdesaan bagi Kelestarian dan Kesejahteraan Lingkungan). Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Arifin H, Nakagoshi N. 2011. Landscape Ecology and Urban Biodiversity in Tropical Indonesian Cities. *Landscape and Ecological Engineering* 7:33–43. DOI: 10.1007/s11355-010-0145-9.
- Arifin H, Nurhayati, Munandar A, Kaswanto R. 2009b. Revitalisasi Praktek Agroforestri di Perdesaan (Buku Seri I: Manajemen Lanskap Perdesaan bagi Kelestarian dan Kesejahteraan Lingkungan). Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Arifin HS. 2009c. Analisis Lanskap Agroforestri: Konsep, Metode, dan Pengelolaan Agroforestri Skala Lanskap dengan Studi Kasus Indonesia, Filipina, Laos, Thailand, dan Vietnam. IPB Press. Bogor.
- Arifin HS, Sakamoto K, Chiba K. 1998. Effects of Urbanization on the Vegetation Structure of Home Gardens in West Java, Indonesia. *Jpn. J. Trop. Agr.* 42(2): 94-102. DOI: 10.11248/jsta1957.42.94.
- Asante WA, Ahoma G, Gyampoh BA, Kyereh B, Asare R. 2021. Upper Canopy Tree Crown Architecture and Its Implications for Shade in Cocoa Agroforestry Systems in the Western Region of Ghana. *Trees, Forests and People* 5:100100. DOI: 10.1016/j.tfp.2021.100100.
- Brooker RW, Hawes C, Iannetta PPM, Karley AJ, Renard D. 2023. Plant Diversity and Ecological Intensification in Crop Production Systems. *Journal of Plant Ecology* 16(6). DOI: 10.1093/jpe/rtad015.
- Cavender-Bares J, Padullés Cubino J, Pearse WD, Hobbie SE, Lange AJ, Knapp S, Nelson KC. 2020. Horticultural Availability and Homeowner Preferences Drive Plant Diversity and Composition In Urban Yards. *Ecological Applications*. 30(4). DOI: 10.1002/eap.2082.
- Chen M, Huang X, Cheng J, Tang Z, Huang G. 2023. Urbanization and Vulnerable Employment: Empirical Evidence from 163 Countries in 1991–2019. *Cities* 135:104208. DOI: 10.1016/j.cities.2023.104208.
- Fahad S, Chavan SB, Chichaghare AR, Uthappa AR, Kumar M, Kakade V, Pradhan A, Jinger D, Rawale G, Yadav DK, *et al.* 2022. Agroforestry Systems for Soil Health Improvement and Maintenance. *Sustainability* 14(22): 14877. DOI: 10.3390/su142214877.
- Gepts P. 2023. Biocultural Diversity and Crop Improvement. *Emerging Topics in Life Sciences* 7(2):151–196. DOI: 10.1042/ETLS20230067.
- Hong P, Schmid B, De Laender F, Eisenhauer N, Zhang X, Chen H, Craven D, De Boeck HJ, Hautier Y, Petchey OL, *et al.* 2022. Biodiversity promotes Ecosystem Functioning Despite Environmental Change. Mori A, editor. *Ecology Letters* 25(2): 555–569. DOI: 10.1111/ele.13936.
- Inayah A, Kaswanto RL. 2023. Nilai Biodiversitas Lanskap Mangrove DKI Jakarta, Kelurahan Penjaringan, Kecamatan Muara Kamal, Jakarta Utara. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan* 7(2): 118-134. DOI: 10.36813/jplb.7.2.118-134.
- IPCC Climate. 2022. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. IPCC. Geneva.
- Irundu D, Idris AI, Sudiarmiko P, Irlan. 2023. Biomassa dan Karbon Tersimpan di Atas Tanah pada Hutan Rakyat Agroforestri di Kecamatan Bulu Kabupaten Polman. *Jurnal Hutan dan Masyarakat* 15(1): 32-4.
- Kaswanto RL, Baihaqi M, Hadi AA. 2013. Desain Lanskap Agroforestri Menuju Masyarakat Rendah Karbon. *Prosiding Forum Komunikasi Perguruan Tinggi Indonesia* 2: 418-429.
- Kaswanto RL, Muttaqin T. 2013. Revitalisasi Pekarangan sebagai Lanskap Agroforestri Skala Mikro Untuk Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat. *Prosiding Seminar Nasional Agroforestri*. Balai Penelitian Teknologi Agroforestri.
- Kaswanto RL, Aurora RM, Yusri D, Sjaf S. 2021. Analisis Faktor Pendorong Perubahan Tutupan Lahan selama Satu Dekade di Kabupaten Labuhanbatu Utara. *J. Ilmu Lingk.* 19(1): 107–116. DOI: 10.14710/jil.19.1.107-116.
- Kaswanto RL. 2022. Manajemen Metabolisme Lanskap Mewujudkan Lanskap Rendah Karbon. Dalam Ragam Aktualisasi Agromaritim Indonesia Bunga Rampai: Pemikiran Dosen Muda Institut Pertanian Bogor. IPB Press. Bogor.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2022. Indonesia Forestry and Other Land Use (FOLU) Net

- Sink 2030 untuk Pengendalian Perubahan Iklim.
- Kimaro OD, Desie E, Kimaro DN, Vancampenhout K, Feger K-H. 2024. Salient Features and Ecosystem Services of Tree Species in Mountainous Indigenous Agroforestry Systems of North-Eastern Tanzania. *Front. For. Glob. Change* 6:1082864. DOI: 10.3389/ffgc.2023.1082864.
- Kuyah S, Whitney CW, Jonsson M, Sileshi GW, Öborn I, Muthuri CW, Luedeling E. 2019. Agroforestry Delivers A Win-Win Solution for Ecosystem Services in Sub-Saharan Africa. A Meta-Analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 39(5):47. DOI:10.1007/s13593-019-0589-8.
- Lestari KW, Dewi N. 2023. Potensi Simpanan Karbon pada Beberapa Tipe Agroforestri Berbasis Kopi Robusta di Desa Rowosari, Jember. *J-Silvtrop.* 14(02): 150–157. DOI: 10.29244/j-siltrop.14.02.150-157.
- Maharjan M, Ayer S, Timilsina S, Ghimire P, Bhatta S, Thapa N, Timilsina YP, Lama S, Yadav VK, Okolo CC. 2024. Impact of Agroforestry Intervention on Carbon Stock and Soil Quality in Mid-Hills of Nepal. *Soil Security* 16:100164. DOI: 10.1016/j.soisec.2024.100164.
- McCouch S, Navabi ZK, Abberton M, Anglin NL, Barbieri RL, Baum M, Bett K, Booker H, Brown GL, Bryan GJ, *et al.* 2020. Mobilizing Crop Biodiversity. *Molecular Plant* 13(10): 1341–1344. Doi: 10.1016/j.molp.2020.08.011.
- Meckelburg R, Wardana A. 2024. The Political Economy of Land Acquisition for Development in The Public Interest: The Case of Indonesia. *Land Use Policy* 137:107017. DOI: 10.1016/j.landusepol.2023.107017.
- Moreno G, Aviron S, Berg S, Crous-Duran J, Franca A, De Jalón SG, Hartel T, Mirck J, Pantera A, Palma JHN, *et al.* 2018. Agroforestry Systems of High Nature and Cultural Value in Europe: Provision of Commercial Goods and Other Ecosystem Services. *Agroforest Syst.* 92(4): 877–891. DOI: 10.1007/s10457-017-0126-1.
- Muchane MN, Sileshi GW, Gripenberg S, Jonsson M, Pumariño L, Barrios E. 2020. Agroforestry Boosts Soil Health in the Humid and Sub-Humid Tropics: A Meta-Analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 295:106899. DOI: 10.1016/j.agee.2020.106899.
- Paul C, Weber M, Knoke T. 2017. Agroforestry Versus Farm Mosaic Systems – Comparing Land-Use Efficiency, Economic Returns and Risks Under Climate Change Effects. *Science of the Total Environment* 587–588: 22–35. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.037.
- Pemkab Sukabumi. 2021. Rencana Kerja Pemerintah Daerah Kabupaten Sukabumi 2022. Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat.
- Pendrill F, Gardner TA, Meyfroidt P, Persson UM, Adams J, Azevedo T, Bastos Lima MG, Baumann M, Curtis PG, De Sy V, *et al.* 2022. Disentangling the Numbers behind Agriculture-Driven Tropical Deforestation. *Science* 377(6611). DOI: 10.1126/science.abm9267.
- Prastiyo YB, Kaswanto RL, Arifin HS. 2018a. Analisis Ekologi Lanskap Agroforestri pada Riparian Sungai Ciliwung di Kota Bogor. *Jurnal Lanskap Indonesia* 9(2): 81-90. DOI: 10.29244/jli.v9i2.16964.
- Prastiyo YB, Kaswanto RL, Arifin HS. 2018b. Plants production of agroforestry system in Ciliwung riparian landscape, Bogor Municipality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 179(1): 012013. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/179/1/012013.
- Pratiwi P, Mindawati N, Tyasmoro SY. 2020. Surface Runoff and Erosion on Various Sengon (*Falcataria moluccana* Miq.). Barneby & J.W.Grimes)–Based Agroforestry Patterns in Small Scale Private Forest, Sumber Urip Village, Blitar, East Java. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 533(1): 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/533/1/012008.
- Prihartono R, Falatehan AF, Widyastutik. 2024. Strategi Adaptasi dan Mitigasi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Melalui Sektor Transportasi di Kota Bogor. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 11(3):244–263. DOI: 10.29244/jkebijakan.v11i3.60430.
- Republik Indonesia. 2022. Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia.
- Santoro A, Piras F, Yu Q. 2023. Spatial Analysis of Deforestation in Indonesia in the Period 1950–2017 and the Role of Protected Areas.

- Biodiversity and Conservation*. DOI: 10.1007/s10531-023-02679-8.
- Sirait DA, Widiatmaka W, Rusdiana O. 2021. Arahan Pengembangan Hutan Rakyat untuk Penanganan Lahan Kritis di Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. *Tataloka* 23(3): 344–353. DOI: 10.14710/tataloka.23.3.344-353.
- Sunardi, Kaswanto RL, Sjaf S. 2020. Relationship between Plant Biodiversity and Carbon Stock in Rural Area of Cisadane Watershed. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 18(3): 610-616. DOI: 10.14710/jil.18.3.610-616.
- Suryaalam MA, Rohman MAF, Barlan ZA, Indriana H, Gandi R, Ramadhan G. 2024. Peran Pemimpin dalam Keberhasilan Program Kampung Wisata Tematik Mulyaharja. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 11(3): 217-225. doi:10.29244/jkebijakan.v11i3.58427.
- Wangke F, Paulus JM. 2024. Kota Hutan Ibu Kota Nusantara Dalam Model Desain Ramah Lingkungan. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 11(2): 143–154. DOI: 10.29244/jkebijakan.v11i2.55559.
- Yuniti IGDA, Purba JH, Sasmita N, Komara LL, Olviana T, Kartika IM. 2022. Balinese Traditional Agroforestry as Base of Watershed Conservation. *J. appl. agricultural sci. technol.* 6(1):4 9–60. DOI: 10.55043/jaast.v6i1.54.
- Zain FA, Nurrochmat DR. 2021. Analisis Finansial dan Nilai Tambah Usaha Agroforestri Kopi pada Program CSR PT Indonesia Power Up Mrica Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 8(3): 109-120. DOI: 10.29244/jkebijakan.v8i3.33482
- Zaret MM, Kuhs MA, Anderson JC, Seabloom EW, Borer ET, Kinkel LL. 2022. Seasonal Shifts from Plant Diversity to Consumer Control of Grassland Productivity. Novotny V, editor. *Ecology Letters* 25(5):1215–1224. DOI: 10.1111/ele.13993.
- Zhang W-P, Fornara D, Yang H, Yu R-P, Callaway RM, Li L. 2023. Plant Litter Strengthens Positive Biodiversity–Ecosystem Functioning Relationships Over Time. *Trends in Ecology & Evolution* 38(5): 473–484. DOI: 10.1016/j.tree.2022.12.008.
- Zoungrana A, Cissé M, Traoré M, De Cannière C, Bationo BA, Visser M, Traoré S. 2024. Influence of Agroforestry Systems on Earthworm Diversity and Soil Properties in A Sudano-Sahelian Landscape. *Geoderma Regional* 37. DOI: 10.1016/j.geodrs.2024.e00786.