

PENGEMBANGAN MODEL AGROFORESTRI KAKAO SEBAGAI LANSKAP MULTIFUNGSI UNTUK OPTIMASI SINERGI DAN NILAI EKONOMI JASA EKOSISTEM

YUDHA KRISTANTO



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengembangan Model Agroforestri Kakao Sebagai Lanskap Multifungsi untuk Optimasi Sinergi dan Nilai Ekonomi Jasa Ekosistem” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Januari 2025

Yudha Kristanto
P0602201042



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

YUDHA KRISTANTO. Pengembangan Model Agroforestri Kakao Sebagai Lanskap Multifungsi untuk Optimalisasi Sinergi dan Nilai Ekonomi Jasa Ekosistem. Dibimbing oleh SURIA DARMA TARIGAN, TANIA JUNE, dan BAMBANG SULISTYANTARA.

Kabupaten Luwu Utara di Provinsi Sulawesi Selatan merupakan salah satu sentra produksi kakao di Indonesia. Perkebunan kakao di wilayah ini memiliki luas sebesar 40.508 ha yang seluruhnya dikelola oleh petani skala kecil dengan luas rata-rata 1-2 ha. Perkebunan rakyat ini menopang mata pencaharian sebanyak 29.179 rumah tangga. Meskipun memiliki peran penting dalam perekonomian lokal dan regional, pengembangan perkebunan kakao di Kabupaten Luwu Utara justru menghadapi berbagai tantangan, seperti penurunan produksi, fluktuasi harga, dan alih fungsi lahan ke komoditas lain yang lebih menguntungkan. Akibatnya, lanskap kakao diperkirakan akan bergeser dari wilayah hilir ke daerah hulu yang bersinggungan dengan ekosistem alami. Selain itu, tren budidaya kakao cenderung diintensifkan dengan sistem monokultur untuk meningkatkan produksi. Meskipun perluasan dan intensifikasi mendukung jasa penyediaan, hal ini dikhawatirkan menyebabkan penurunan kesehatan tanah dan jasa pengaturan, yang kemudian meningkatkan risiko bencana hidrometeorologi. Oleh karena itu, memenuhi permintaan produksi kakao seiring dengan mempertahankan jasa ekosistem merupakan tantangan dalam mewujudkan perkebunan kakao berkelanjutan.

Model lanskap multifungsi berbasis kakao sebagai komoditas utama perlu dikembangkan dengan mengintegrasikan pohon serbaguna (*multipurpose tree species*/MPTS) untuk mensinergikan berbagai jasa ekosistem sekaligus meningkatkan produksi total. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengembangkan model lanskap multifungsi berbasis kakao yang mengoptimalkan produktivitas, profitabilitas, dan sinergi jasa ekosistem, sehingga dapat diadopsi secara komersial oleh petani skala kecil. Untuk mencapai tujuan utama, tujuan antara yang perlu dicapai terlebih dahulu adalah: (1) mengevaluasi tingkat kesehatan tanah dan mengestimasi nilai ekonominya pada perkebunan kakao yang dikelola secara lanskap multifungsi, (2) mengkuantifikasi dan memetakan distribusi manfaat jasa ekosistem yang dihasilkan oleh lanskap yang didominasi perkebunan kakao, (3) mengevaluasi interaksi antar jasa ekosistem yang dihasilkan oleh lanskap yang didominasi perkebunan kakao secara spasiotemporal, serta (4) mengestimasi dan memetakan secara spasial nilai ekonomi jasa ekosistem yang dihasilkan oleh lanskap yang didominasi perkebunan kakao.

Penelitian ini mengembangkan kerangka kerja yang mengintegrasikan kuantifikasi, interaksi, dan valuasi ekonomi jasa ekosistem ke dalam perencanaan agroforestri kakao yang dapat diadopsi oleh petani skala kecil. Kerangka kerja yang dikembangkan dirancang sesuai dengan konteks lokal, sehingga memungkinkan petani skala kecil untuk memperoleh manfaat ekonomi dari peningkatan jasa ekosistem pada tingkat lahan hingga lanskap. Dengan dukungan bukti ilmiah yang kuat, penelitian ini memberikan rekomendasi kebijakan untuk mendorong adopsi model agroforestri kakao dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Kebaharuan penelitian ini juga terletak pada pengembangan pendekatan untuk

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

memperkirakan nilai ekonomi lahan yang mempertimbangkan hubungan kompleks antara parameter kesehatan tanah dengan jasa ekosistem yang didukungnya. Selain itu, penelitian ini mengeksplorasi interaksi antar jasa ekosistem secara spasiotemporal, yang membedakannya dari penelitian lain yang umumnya mengkaji jasa ekosistem tunggal. Dengan menerapkan valuasi ekonomi jasa ekosistem, penelitian ini menyoroti manfaat ekonomi tersembunyi dari jasa ekosistem secara spasial yang memberikan dasar ekonomi bagi para pemangku kepentingan untuk berinvestasi dalam agroforestri kakao.

Penelitian ini dibagi menjadi lima tahapan utama untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan. Tahap pertama adalah mengevaluasi parameter kesehatan tanah pada perkebunan kakao yang dikelola dengan sistem agroforestri dan monokultur. Selanjutnya, nilai ekonomi kesehatan tanah sebagai modal alam diestimasi berdasarkan efek berjenjangnya dalam penyediaan jasa ekosistem. Tahap kedua mengkuantifikasi dan memetakan distribusi manfaat jasa ekosistem menggunakan model *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) dan *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs* (InVEST). Sepuluh indikator yang dikuantifikasi mencakup jasa penyediaan, pengendalian erosi, pengaturan iklim, retensi hara, dan pengaturan air. Tahap ketiga mengevaluasi interaksi antar jasa ekosistem secara spasiotemporal menggunakan analisis korelasi dan perubahan, serta mengelompokkan jasa ekosistem menggunakan analisis kluster. Tahap keempat adalah mengestimasi nilai ekonomi jasa ekosistem berdasarkan efek berjenjang menggunakan metode valuasi ekonomi yang andal untuk menentukan nilai ekonomi total setiap jenis penggunaan lahan. Tahap terakhir adalah mengembangkan model lanskap multifungsi yang mempertimbangkan komposisi dan konfigurasi tanaman kakao serta pohon serbaguna (MPTS) pada skala lahan dan lanskap. Setiap model dievaluasi menggunakan nisbah ekuivalen lahan, analisis biaya-manfaat finansial, dan analisis biaya-manfaat ekonomi.

Kesehatan tanah merupakan modal alam yang mendukung berbagai jasa ekosistem bernilai ekonomi tinggi, seperti porositas tanah yang mendukung jasa pengaturan air, karbon organik yang mendukung jasa pengaturan iklim, organisme tanah yang mendukung jasa biodiversitas, serta kandungan hara yang mendukung jasa retensi hara. Namun, petani sering kali kurang memperhatikan kesehatan tanah karena dianggap tidak menguntungkan secara ekonomi. Agroforestri kakao tidak hanya meningkatkan kesehatan tanah di setiap jenis tanah secara signifikan, tetapi juga meminimalkan degradasinya akibat erosi. Peningkatan setiap parameter kesehatan tanah pada agroforestri kakao berkontribusi pada nilai guna tidak langsung, yang merupakan eksternalitas jika tidak dimasukkan dalam analisis biaya-manfaat. Total nilai guna tidak langsung (IUV) kesehatan tanah pada agroforestri kakao di tanah Endoaquepts dan Dystrudepts masing-masing 1,57 dan 1,27 kali lebih tinggi dibandingkan dengan kakao monokultur. Karbon organik tanah memiliki kontribusi tertinggi terhadap IUV, diikuti oleh kandungan nitrogen. Valuasi ekonomi kesehatan tanah dapat mendorong internalisasi nilai ekonomi kesehatan tanah dalam desain pengelolaan lahan yang berkelanjutan.

Agroforestri kakao tidak hanya menyediakan jasa ekosistem yang bermanfaat bagi petani, tetapi juga jasa ekosistem yang bermanfaat bagi masyarakat luas. Untuk melestarikan jasa ekosistem yang disediakan oleh agroforestri kakao, jasa tersebut harus didefinisikan, dikuantifikasi, dan distribusi manfaatnya dipetakan secara rinci. Agroforestri kakao menurunkan limpasan permukaan, erosi, nitrogen tercuci, fosfor

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

tercuci, dan bahang terasa masing-masing sebesar 23-26%, 69-70%, 26-34%, 20-31%, dan 0,2-0,5%, serta meningkatkan simpanan karbon, pengisian ulang air tanah, dan komponen hasil air berkelanjutan masing-masing sebesar 30-37%, 15-22%, dan 15-20% dibandingkan dengan kakao monokultur. Agroforestri kakao meningkatkan jasa ekosistem pada lanskap pertanian melalui strukturnya yang terdiri atas tajuk dan perakaran multistrata, penutup tanah, dan tanah yang sehat. Kuantifikasi dan pemetaan distribusi manfaat menjadi sangat penting untuk mengoptimalkan berbagai jasa ekosistem, sekaligus mencegah strategi yang hanya berfokus pada memaksimalkan salah satu jasa ekosistem dan mengabaikan jasa ekosistem lainnya.

Tekanan terhadap ekosistem akibat meningkatnya kebutuhan manusia mendorong pengelolaan lanskap yang mampu menjaga keseimbangan penyediaan berbagai jasa ekosistem. Di sisi lain, jasa ekosistem saling berinteraksi satu sama lain, sehingga perubahan pada salah satu jasa ekosistem akan memengaruhi jasa ekosistem lainnya. Kehadiran agroforestri kakao menciptakan rumpun lanskap multifungsi yang menggabungkan jasa pengaturan yang optimal dari rumpun vegetasi alami dengan jasa penyediaan yang optimal dari rumpun pertanian intensif. Jasa pengaturan menunjukkan interaksi yang saling bersinergi satu sama lain, sementara terjadi *trade-off* terhadap jasa penyediaan. Interaksi antara pengendalian limpasan permukaan dan pengisian ulang air tanah menunjukkan sinergi terkuat, sedangkan interaksi antara jasa penyediaan dan pengendalian pencucian fosfor menunjukkan *trade-off* terkuat. Sebagai konsekuensi dari interaksi ini, perubahan lahan yang mengubah jasa ekosistem dapat meningkatkan kesejahteraan jika menciptakan sinergi positif, memicu degradasi jika menghasilkan sinergi negatif, dan menimbulkan konflik jika terjadi *trade-off*. Dengan pemahaman ini, para pemangku kepentingan dapat merumuskan kebijakan yang efektif untuk mengoptimalkan jasa ekosistem sekaligus menghindari konflik dan degradasi jasa ekosistem.

Valuasi ekonomi diperlukan untuk menginternalisasi nilai ekonomi jasa ekosistem dari agroforestri kakao dalam pengambilan keputusan. Mengingat banyak jasa ekosistem tidak memiliki nilai pasar, pemilihan metode valuasi yang tepat menjadi krusial untuk menghindari kesalahan hitung dan risiko perhitungan ganda. Jasa penyediaan, yang merupakan manfaat privat langsung, memberikan kontribusi tertinggi terhadap total nilai ekonomi jasa ekosistem, baik pada agroforestri kakao maupun kakao monokultur. Dalam hal manfaat sosial tidak langsung, pengisian ulang air tanah memberikan kontribusi tertinggi terhadap total nilai ekonomi pada agroforestri kakao dan kakao monokultur di wilayah hilir, yaitu masing-masing sebesar 26% dan 24%. Di wilayah hulu, kontribusi tertinggi terhadap total nilai ekonomi agroforestri kakao berasal dari pengendalian limpasan permukaan sebesar 23%, sedangkan kakao monokultur memperoleh kontribusi tertinggi dari pengaturan iklim mikro yang mencapai 24%. Pencucian hara justru mengurangi nilai ekonomi pada kedua penggunaan lahan tersebut. Total nilai ekonomi jasa ekosistem dari agroforestri kakao menjadi lebih rendah jika hanya berfokus pada jasa penyediaan. Sementara itu, nilai ekonomi agroforestri kakao dapat melampaui nilai kakao monokultur ketika mempertimbangkan kontribusi jasa pengaturan.

Kesadaran akan dampak negatif dari kakao monokultur telah mendorong adopsi lanskap multifungsi untuk mengoptimalkan aspek ekologi, sosial, dan

ekonomi pada perkebunan kakao. Penelitian ini mengembangkan model lanskap multifungsi pada skala lahan dan lanskap guna mendukung pengembangan kakao yang berkelanjutan dan regeneratif di DAS Rongkong. Model lanskap multifungsi yang melibatkan skenario agroforestri (*land sharing*) dan *land sparing* dievaluasi dengan mempertimbangkan sinergi dan nilai ekonomi jasa ekosistem yang dihasilkan oleh masing-masing skenario. Kombinasi agroforestri kakao-durian-alpukat diidentifikasi sebagai alternatif terbaik, berkat sinergi jasa ekosistem, nilai finansial, dan nilai ekonomi yang ditawarkannya. Kombinasi ini mengungguli skenario lainnya dengan menghasilkan NPV_F , NPV_E , BCR_F , dan BCR_E yang lebih tinggi masing-masing 2,23; 1,66; 1,77; dan 1,51 kali di wilayah hulu, serta 2,26; 1,61; 1,78; dan 1,42 kali di wilayah hilir dibandingkan dengan kakao monokultur. Oleh karena itu, karena kombinasi ini layak secara ekologis dan ekonomis pada 1 hektar lahan, maka menjadi lebih sesuai diterapkan di wilayah kajian dengan petani kecil yang mengelola lahan seluas 1-2 hektar. Kombinasi kakao-alpukat-durian secara agroforestri juga mampu menghemat lahan sebesar 0,4 hektare untuk menghasilkan manfaat yang sama jika kombinasi tersebut diatur secara *land sparing*. Di tingkat lanskap, agroforestri kakao-durian-alpukat memberikan manfaat yang lebih holistik ketika diperluas untuk menggantikan seluruh lahan potensial, yang meliputi kakao monokultur, agroforestri kakao *business as usual*, dan lahan marjinal yang ada. Namun, penting untuk dicatat bahwa implementasi agroforestri dapat berdampak pada perbedaan nilai LER, NPV, dan BCR, tergantung pada kondisi biofisik dan sosial-ekonomi wilayah.

Kata kunci: jasa penyediaan, agroforestri kakao, kesehatan tanah, *land sharing* vs *land sparing*, pengaturan air, pengaturan iklim, pengendalian erosi, retensi hara, sinergi dan *trade-off*, valuasi ekonomi jasa ekosistem

SUMMARY

YUDHA KRISTANTO. Development of Cacao Agroforestry Model as a Multifunctional Landscape for Optimizing Synergy and Economic Value of Ecosystem Services. Supervised by SURIA DARMA TARIGAN, TANIA JUNE, and BAMBANG SULISTYANTARA.

North Luwu Regency in South Sulawesi Province is one of Indonesia's cacao production centers. The cacao plantations in this region cover an area of 40,508 hectares, all of which are managed by small-scale farmers with an average land size of 1–2 hectares. These smallholder plantations support the livelihoods of 29,179 households. Despite their significant role in the local and regional economy, cacao plantation development in North Luwu Regency faces various challenges, such as declining production, price fluctuations, and land conversion to other more profitable commodities. As a result, the cacao landscape is predicted to shift from downstream areas to upstream regions that intersect with natural ecosystems. Moreover, cacao cultivation trends lean toward intensification using monoculture systems to increase production. While expansion and intensification support provisioning services, they raise concerns about soil health degradation and regulating services, which may elevate the risk of hydrometeorological disasters. Therefore, meeting the demand for cacao production while maintaining ecosystem services presents a challenge in achieving sustainable cacao plantations.

A multifunctional landscape model based on cacao as the main commodity needs to be developed by integrating multipurpose tree species (MPTS) to synergize various ecosystem services while increasing total production. The primary objective of this research is to develop a multifunctional cacao-based landscape model that optimizes productivity, profitability, and ecosystem service synergy, making it commercially adoptable by small-scale farmers. To achieve this primary goal, intermediate objectives that must first be accomplished include: (1) evaluating soil health levels and estimating their economic value in cacao plantations managed as multifunctional landscapes, (2) quantifying and mapping the benefit distribution of ecosystem service provided by cacao-dominated landscapes, (3) evaluating spatial and temporal interactions among ecosystem services in cacao-dominated landscapes, and (4) estimating and spatially mapping the economic value of ecosystem services generated by cacao-dominated landscapes.

This study develops a framework that integrates the quantification, interaction analysis, and economic valuation of ecosystem services into cacao agroforestry planning, which can be adopted by small-scale farmers. The framework is designed to align with local contexts, enabling small-scale farmers to gain economic benefits from enhanced ecosystem services at both the plot and landscape levels. Supported by strong scientific evidence, this research provides policy recommendations to promote the adoption of cacao agroforestry models in supporting sustainable development. The novelty of this research also lies in developing an approach to estimate land economic value by considering the complex relationships between soil health parameters and the ecosystem services they support. Furthermore, this study explores spatial and temporal interactions among ecosystem services, distinguishing it from other studies that typically

examine single ecosystem services. By applying ecosystem service economic valuation, the research highlights the hidden economic benefits of ecosystem services spatially, providing an economic rationale for stakeholders to invest in cacao agroforestry.

This research is divided into five main stages to achieve the specified objectives. The first stage evaluates soil health parameters in cacao plantations managed using agroforestry and monoculture systems. The economic value of soil health as natural capital is then estimated based on its cascading effects on ecosystem service provision. The second stage quantifies and maps the distribution of ecosystem service benefits using the Soil and Water Assessment Tools (SWAT) model and the Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs (InVEST). Ten indicators quantified include provisioning services, erosion control, climate regulation, nutrient retention, and water regulation. The third stage evaluates spatial and temporal interactions among ecosystem services using correlation and change analysis, as well as clustering ecosystem services through cluster analysis. The fourth stage estimates the economic value of ecosystem services based on cascading effects using reliable economic valuation methods to determine the total economic value of each land use type. The final stage develops a multifunctional landscape model that considers the composition and configuration of cacao crops and multipurpose tree species (MPTS) at both plot and landscape scales. Each model is evaluated using land equivalent ratio, financial cost-benefit analysis, and economic cost-benefit analysis.

Soil health is a natural asset that supports various high-value ecosystem services, such as soil porosity for water regulation services, organic carbon for climate regulation services, soil organisms for biodiversity services, and nutrient content for nutrient retention services. However, farmers often neglect soil health as it is perceived to lack direct economic benefits. Cacao agroforestry not only significantly enhances soil health across different soil types but also minimizes degradation caused by erosion. Improvements in each soil health parameter under cacao agroforestry contribute to indirect use values (IUV), which are considered externalities if not included in cost-benefit analysis. The total IUV of soil health in cacao agroforestry on Endoaquepts and Dystrudepts soils is 1.57 and 1.27 times higher, respectively, than in cacao monoculture. Soil organic carbon contributes the most to IUV, followed by nitrogen content. Economic valuation of soil health can encourage the internalization of soil health's economic value into sustainable land management designs.

Cacao agroforestry provides ecosystem services that benefit not only farmers but also the broader community. To preserve the ecosystem services provided by cacao agroforestry, these services must be defined, quantified, and their benefit distribution mapped in detail. Cacao agroforestry reduces surface runoff, erosion, nitrogen leaching, phosphorus leaching, and perceived heat by 23-26%, 69-70%, 26-34%, 20-31%, and 0.2-0.5%, respectively, while increasing carbon storage, groundwater recharge, and sustainable water yield components by 30-37%, 15-22%, and 15-20%, respectively, compared to cacao monoculture. Cacao agroforestry enhances ecosystem services in agricultural landscapes through its multistrata canopy and root structure, ground cover, and healthy soil. Quantifying and mapping the distribution of benefits are essential to optimize multiple

ecosystem services while avoiding strategies that focus solely on maximizing one service at the expense of others.

Pressure on ecosystems due to increasing human demands drives the need for landscape management that balances the provision of various ecosystem services. On the other hand, ecosystem services interact with one another, meaning changes in one service can affect others. Cacao agroforestry creates multifunctional landscape clusters that combine optimal regulating services from natural vegetation clusters with optimal provisioning services from intensive agricultural clusters. Regulating services exhibit synergistic interactions, while trade-offs occur with provisioning services. The interaction between surface runoff control and groundwater recharge shows the strongest synergy, whereas the interaction between provisioning services and phosphorus leaching control shows the strongest trade-off. Consequently, land-use changes that alter ecosystem services can improve welfare if they create positive synergies, trigger degradation if they produce negative synergies, and cause conflicts if trade-offs occur. With this understanding, stakeholders can formulate effective policies to optimize ecosystem services while avoiding conflicts and degradation.

Economic valuation is necessary to internalize the economic value of ecosystem services from cacao agroforestry into decision-making processes. Since many ecosystem services lack market value, selecting the appropriate valuation method is crucial to avoid miscalculations and the risk of double counting. Provisioning services, as direct private benefits, contribute the most to the total economic value of ecosystem services in both cacao agroforestry and monoculture. In terms of indirect social benefits, groundwater recharge contributes the highest to the total economic value of cacao agroforestry and monoculture in downstream areas, at 26% and 24%, respectively. In upstream areas, surface runoff control contributes the most to the total economic value of cacao agroforestry at 23%, while microclimate regulation contributes the highest for cacao monoculture at 24%. Nutrient leaching reduces the economic value in both land uses. The total economic value of ecosystem services from cacao agroforestry is lower if only provisioning services are considered. However, the economic value of cacao agroforestry surpasses that of monoculture when the contribution of regulating services is included.

Awareness of the negative impacts of cacao monoculture has driven the adoption of multifunctional landscapes to optimize ecological, social, and economic aspects of cacao plantations. This study develops multifunctional landscape models at plot and landscape scales to support sustainable and regenerative cacao development in the Rongkong watershed. Multifunctional landscape models involving agroforestry (land-sharing) and land-sparing scenarios are evaluated, considering the synergy and economic value of the ecosystem services generated by each scenario. The combination of cacao-durian-avocado agroforestry is identified as the best alternative, offering superior ecosystem service synergy, financial value, and economic value. This combination outperforms other scenarios, producing higher NPVF, NPVE, BCRF, and BCRE values—2.23, 1.66, 1.77, and 1.51 times higher in upstream areas, and 2.26, 1.61, 1.78, and 1.42 times higher in downstream areas compared to cacao monoculture. Therefore, since this combination is ecologically and economically viable on 1 hectare of land, it is more suitable for application in the study area, where small-

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

scale farmers manage 1-2 hectares of land. The cacao-avocado-durian agroforestry combination also saves 0.4 hectares of land to generate the same benefits if arranged in a land-sparing system. At the landscape level, cacao-durian-avocado agroforestry provides more holistic benefits when expanded to replace all potential land, including cacao monoculture, business-as-usual cacao agroforestry, and existing marginal land. However, it is important to note that the implementation of agroforestry can impact LER, NPV, and BCR values differently depending on the biophysical and socio-economic conditions of the region.

Keywords: agroforestry, climate regulation, erosion prevention, economic valuation of ecosystem services, land sparing vs land sharing, nutrient retention, provisioning services, soil health, synergy and trade-off, water regulation



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PENGEMBANGAN MODEL AGROFORESTRI KAKAO SEBAGAI LANSKAP MULTIFUNGSI UNTUK OPTIMASI SINERGI DAN NILAI EKONOMI JASA EKOSISTEM

YUDHA KRISTANTO

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor
pada Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam
dan Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tertutup:

1. Prof. Dr. Ir. I Nengah Surati Jaya, M.Agr.
2. Dr. Kaswanto, S.P., M.Si.

Tim Penguji pada Ujian Terbuka:

1. Prof. Dr. Ir. I Nengah Surati Jaya, M.Agr.
2. Dr. Ir. Bambang Supriyanto, M.Sc.



Judul Disertasi : Pengembangan Model Agroforestri Kakao Sebagai Lanskap Multifungsi untuk Optimalisasi Sinergi dan Nilai Ekonomi Jasa Ekosistem

Nama : Yudha Kristanto

NIM : P0602201042

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Suria Darma Tarigan, M.Sc.

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Tania June, M.Sc.

Pembimbing 3:

Dr. Ir. Bambang Sulistyantara, M.Agr.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Widiatmaka, DAA.

NIP 19621201 198703 1 002

Dekan Sekolah Pascasarjana:

Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop.

NIP 19700329 199608 1 001



Tanggal Ujian: 24 Januari 2025

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian disertasi yang berjudul “Pengembangan Model Agroforestri Kakao Sebagai Lanskap Multifungsi untuk Optimalisasi Sinergi dan Nilai Ekonomi Jasa Ekosistem” ini dapat diselesaikan. Keberhasilan dalam ilmu yang penulis geluti ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan yang baik ini, dengan segala kerendahan hati penulis sampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ayahanda, ibunda, dan adik-adik yang saya sayangi dan cintai, yang selalu mendukung, mendoakan, dan memberikan kasih sayang, semangat, motivasi, inspirasi, dan nasihat kepada saya untuk terus berusaha dan pantang menyerah dalam menyelesaikan karya ilmiah ini.
2. Prof. Dr. Ir. Suria Darma Tarigan, M.Sc., selaku ketua komisi pembimbing sekaligus promotor PMDSU yang telah mencurahkan waktu dan pemikirannya untuk memberikan bimbingan, arahan, serta kritik dan saran yang membangun sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
3. Prof. Dr. Ir. Tania June, M.Sc. dan Dr. Ir. Bambang Sulistyantara, M.Agr. selaku ko-promotor yang juga telah mencurahkan waktu dan pemikirannya untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta kritik dan saran yang membangun sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
4. Dr. Pini Wijayanti, SP, M.Si. dan Dr. Ir. Supijatno, M.Si. sebagai penguji luar dalam ujian prelim yang telah memberikan saran membangun dalam penyusunan proposal penelitian.
5. Prof. Dr. Ir. I Nengah Surati Jaya, M.Agr., Dr. Kaswanto, S.P., M.Si., dan Dr. Ir. Bambang Supriyanto, M.Sc. sebagai penguji luar dalam ujian tertutup maupun ujian terbuka yang telah memberikan telaah dan saran membangun dalam penyempurnaan isi dalam disertasi ini.
6. Beasiswa PMDSU yang menjadi sponsor utama dalam penelitian ini.
7. Penelitian TEEB Agrifood Indonesia dari UNEP dan *Matching Fund* Kedaireka tahun 2022 dari Kemendikbud yang juga menjadi sponsor dalam pengambilan data.
8. Segenap *stakeholders* Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan yang telah memberikan bimbingan, arahan, nasehat, serta ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
9. Bapak/Ibu dan rekan-rekan dari TEEB Agrifood Indonesia, *Matching Fund* Kedaireka, Kelola Bumi Nawasena, PSL2020, PMDSU V, GFM51, serta tim lapang TEEB yang memberikan dukungan dan bantuan selama proses penulisan disertasi.
10. Seluruh pihak yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan dan tidak dapat disebutkan satu persatu disini.

Penulis menyadari bahwa penulisan disertasi ini tidak luput dari kekurangan, untuk itu penulis sangat berterima kasih bila ada kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan karya ilmiah ini. Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bogor, Januari 2025
Yudha Kristanto



DAFTAR ISI

RINGKASAN	iii
SUMMARY	vii
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR GAMBAR	xxi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Kerangka Pemikiran	6
1.6 Ruang Lingkup Penelitian	8
1.7 Kebaharuan (<i>Novelty</i>) dan <i>State of The Art</i>	9
1.8 Struktur Disertasi	11
II TINJAUAN PUSTAKA	16
2.1 Konsep Jasa Ekosistem	16
2.2 Interaksi Antar Jasa Ekosistem: Sinergi dan <i>Trade-off</i>	18
2.3 Lanskap Multifungsi	19
2.4 Agroforestri sebagai Lanskap Multifungsi	21
2.5 Model Jasa Ekosistem: SWAT dan InVEST	23
2.6 Kesehatan Tanah	23
2.7 Valuasi Ekonomi Jasa Ekosistem	24
III METODE	26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan	27
3.3 Prosedur Kerja	28
3.4 Analisis data	29
IV KESEHATAN TANAH PADA AGROFORESTRI KAKAO DAN KAKAO MONOKULTUR	31
4.1 Pendahuluan	31
4.2 Metode	32
4.3 Hasil	38
4.4 Pembahasan	47
4.5 Kesimpulan	50
V KUANTIFIKASI DAN PEMETAAN DISTRIBUSI MANFAAT JASA EKOSISTEM	51
5.1 Pendahuluan	51
5.2 Metode	53
5.3 Hasil	64
5.4 Pembahasan	80
5.5 Kesimpulan	83

VI	INTERAKSI ANTAR JASA EKOSISTEM SECARA SPASIAL DAN TEMPORAL	85
6.1	Pendahuluan	85
6.2	Metode	87
6.3	Hasil	91
6.4	Pembahasan	99
6.5	Kesimpulan	101
VII	VALUASI EKONOMI JASA EKOSISTEM	103
7.1	Latar Belakang	103
7.2	Metode	105
7.3	Hasil	112
7.4	Pembahasan	122
7.5	Kesimpulan	124
VIII	MODEL LANSKAP MULTIFUNGSI DENGAN KOMODITAS UNGGULAN KAKAO	125
8.1	Latar Belakang	125
8.2	Metode	127
8.3	Hasil	134
8.4	Pembahasan	140
8.5	Kesimpulan	143
IX	PEMBAHASAN UMUM	144
X	SIMPULAN DAN SARAN	150
10.1	Simpulan	150
10.2	Saran	152
	DAFTAR PUSTAKA	153
	LAMPIRAN	176
	RIWAYAT HIDUP	181



DAFTAR TABEL

1	Penelitian terkait evaluasi dan valuasi jasa ekosistem menurut kerangka kerja TEEB selama 10 tahun terakhir	12
2	Bahan yang digunakan dalam penelitian	27
3	Alat yang digunakan dalam penelitian	28
4	Matriks hubungan tujuan penelitian, jenis data, sumber data, analisis data, dan keluaran penelitian	29
5	Parameter kesehatan tanah, jasa ekosistem yang didukung, serta metode valuasi untuk mengestimasi nilai ekonomi setiap parameter kesehatan tanah	36
6	Parameter kesehatan tanah pada agroforestri kakao dan monokultur	38
7	Fungsi pedotransfer untuk mengestimasi organisme tanah	44
8	Rekapitulasi nilai ekonomi tidak langsung kesehatan tanah	46
9	Indikator yang disusulkan dalam kuantifikasi dan pemetaan distribusi manfaat jasa ekosistem pada lanskap yang didominasi oleh perkebunan kakao	55
10	Data-data yang diperlukan dalam kuantifikasi jasa ekosistem	57
11	Kriteria kehandalan model berdasarkan nilai NSE dan R^2	63
12	Populasi tanaman kakao dan MPTS pada agroforestri kakao dan kakao monokultur di wilayah kajian	66
13	Simpanan karbon pada agroforestri kakao dan kakao monokultur di wilayah kajian	68
14	Distribusi manfaat dari setiap indikator jasa ekosistem di wilayah kajian	79
15	Metode valuasi ekonomi untuk mengestimasi nilai ekonomi jasa ekosistem berdasarkan efek berjenjang	107
16	Perbandingan nilai ekonomi jasa penyediaan dari berbagai tipe penggunaan lahan	113
17	Perbandingan total nilai ekonomi jasa ekosistem yang dihasilkan agroforestri kakao, kakao monokultur, dan ekosistem hutan	120
18	Rencana penanaman (<i>planting plan</i>) untuk setiap model lanskap multifungsi skala lahan	129
19	Pertumbuhan dan perkembangan tanaman kakao dan MPTS selama satu kali periode rotasi tanam	131
20	Nilai rasio ekuivalen lahan untuk setiap skenario lanskap multifungsi skala lahan	135
21	Nilai biaya-manfaat finansial dan ekonomi untuk setiap skenario lanskap multifungsi	135
22	Luas lahan tersedia untuk setiap skenario lanskap multifungsi skala lanskap	138
23	Nilai rasio ekuivalen lahan, nilai finansial, dan nilai ekonomi untuk setiap skenario model lanskap multifungsi skala lanskap	139

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram sekuens pencapaian tujuan utama melalui serangkaian tujuan antara	5
2	Diagram alir kerangka pikir penelitian	8
3	Kerangka kerja jasa ekosistem berdasarkan MEA (Fisher <i>et al.</i> (2013))	16
4	Kerangka kerja jasa ekosistem berdasarkan TEEB (Fisher <i>et al.</i> (2013))	17
5	Interaksi antar sepasang jasa ekosistem	18
6	Posisi agroforestri dan <i>land sparing</i> pada lanskap multifungsi (Sumber: MacDicken 1989)	21
7	Peta wilayah kajian	26
8	Diagram alir tahapan penelitian	30
9	Diagram alir evaluasi parameter kesehatan tanah dan estimasi nilai ekonomi kesehatan tanah	34
10	Boxplot karbon organik tanah pada setiap penggunaan lahan dan jenis tanah	40
11	Distribusi ruang pori pada setiap penggunaan lahan dan jenis tanah	41
12	Boxplot (a) total nitrogen dan (b) fosfor tersedia pada setiap penggunaan lahan dan jenis tanah	43
13	Boxplot (a) total mikroba, (b) total fungi, dan (c) total invertebrata pada setiap penggunaan lahan dan jenis tanah	44
14	Perbandingan antara (a) total fungi, (b) total mikroba, dan (c) total invertebrata dari hasil observasi dan fungsi pedotransfer	45
15	Nilai ekonomi (a) dan nilai kini (b) kesehatan tanah pada setiap pengelolaan lahan dalam satu rotasi tanam kakao	47
16	Kontribusi jasa ekosistem terhadap kesejahteraan masyarakat berdasarkan efek berjenjangnya (Sumber: Fedele <i>et al.</i> 2017)	54
17	Perbandingan debit sungai Rongkong secara observasi dan simulasi selama periode validasi (2018-2019) dan kalibrasi (2013-2016)	65
18	Sebaran spasial (a) produksi kakao, (b) MPTS, dan (c) tanaman pertanian lain di DAS Rongkong	67
19	Sebaran spasial simpanan karbon di DAS Rongkong	68
20	Sebaran spasial bahang terasa di DAS Rongkong	69
21	Pola evapotranspirasi (a) dan bahang terasa (b) pada agroforestri kakao dan monokultur kakao secara temporal di DAS Rongkong	70
22	Sebaran spasial erosi tanah di DAS Rongkong	71
23	Pola erosi tanah pada agroforestri kakao dan monokultur kakao secara temporal di DAS Rongkong	72
24	Sebaran spasial (a) limpasan permukaan, (b) pengisian ulang air tanah, dan (c) hasil air di DAS Rongkong	73
25	Pola (a) limpasan permukaan, (b) pengisian ulang air tanah, dan (c) hasil air pada agroforestri kakao dan monokultur kakao secara temporal di DAS Rongkong	74
26	Sebaran spasial (a) pencucian nitrogen dan (b) pencucian fosfor di DAS Rongkong	76
27	Pola (a) pencucian nitrogen dan (b) pencucian fosfor pada agroforestri kakao dan monokultur kakao secara temporal di DAS Rongkong	77

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perbandingan jasa ekosistem antara agroforestri kakao, kakao monokultur, dan ekosistem lain di (a) wilayah hilir dan (b) hulu DAS Rongkong 78

29 Kerangka kerja untuk eksplorasi interaksi antar jasa ekosistem 88

30 Kuadran interaksi antar jasa ekosistem secara temporal 91

31 Sebaran spasial dari sepuluh indikator jasa ekosistem di DAS Rongkong pada tahun 2020 92

32 Sebaran spasial rumpun jasa ekosistem di DAS Rongkong 93

33 Dendrogram pengelompokan jasa ekosistem dan diagram mawar karakteristik jasa ekosistem pada setiap kelompok jasa ekosistem di DAS Rongkong 94

34 Korelasi antar indikator jasa ekosistem di DAS Rongkong 95

35 Peran agroforestri terhadap masing-masing jasa ekosistem serta interaksinya dengan jasa ekosistem lainnya 96

36 Interaksi antar jasa ekosistem secara temporal akibat perubahan jasa ekosistem pada kurun waktu 2005-2020 di DAS Rongkong 97

37 Interaksi antar jasa ekosistem secara langsung dan tak langsung 100

38 Sebaran spasial nilai ekonomi jasa penyediaan di DAS Rongkong 113

39 Sebaran spasial (a) nilai marjinal simpanan karbon dan (b) nilai ekonomi simpanan karbon di DAS Rongkong 114

40 Sebaran spasial (a) nilai marjinal bahang terasa dan (b) nilai ekonomi pengaturan iklim mikro di DAS Rongkong 115

41 Sebaran spasial (a) nilai marjinal pengisian ulang air tanah dan (b) nilai ekonomi pengisian ulang air tanah di DAS Rongkong 116

42 Sebaran spasial (a) nilai marjinal hasil air dan (b) nilai ekonomi hasil air di DAS Rongkong 116

43 Sebaran spasial nilai marjinal pencucian nitrogen (a) dan fosfor (b) serta nilai ekonomi pengendalian pencucian hara (c) di DAS Rongkong 117

44 Sebaran spasial (a) nilai marjinal limpasan permukaan dan (b) nilai ekonomi pengaturan limpasan permukaan di DAS Rongkong 118

45 Sebaran spasial (a) nilai marjinal laju erosi tanah dan (b) nilai ekonomi pengendalian erosi di DAS Rongkong 119

46 Sebaran spasial total nilai ekonomi jasa ekosistem di DAS Rongkong 119

47 Diagram radar nilai ekonomi jasa ekosistem agroforestri kakao, kakao monokultur, dan ekosistem hutan di wilayah hilir (a) dan hulu (b) DAS Rongkong 121

48 Proporsi nilai ekonomi setiap jasa ekosistem terhadap total nilai ekonomi pada agroforestri kakao, kakao monokultur, dan ekosistem hutan di wilayah hilir (a) dan wilayah hulu (b) DAS Rongkong 121

49 Nilai kini (*present value*) finansial dan ekonomi untuk setiap skenario lanskap multifungsi dalam satu periode rotasi tanam 137

50 Sebaran spasial agroforestri kakao untuk setiap skenario lanskap multifungsi skala lanskap di DAS Rongkong 138

51 Diagram radar nilai LER, NPV, dan BCR untuk setiap skenario lanskap multifungsi: (a) skala lahan di wilayah hulu, (b) skala lahan di wilayah hilir, dan (c) skala lanskap 142