

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Agroforestri sebagai Paradigma Pertanian Berkelanjutan

Sangat penting untuk menerapkan paradigma pertanian berkelanjutan untuk menghadapi tantangan degradasi lingkungan dan krisis keanekaragaman hayati sebagaimana diuraikan pada Bab I. Agroforestri tampaknya menjadi salah satu model yang ada untuk pengelolaan lahan yang paling menyeluruh dan menguntungkan. Agroforestri adalah lebih dari sekadar menanam pohon di lahan pertanian; itu adalah sistem pengelolaan sumber daya alam yang berkembang dan berbasis ekologi (Samal, 2021). Komponen berkayu (pohon, perdu, atau bambu) digabungkan dengan tanaman pertanian dan/atau ternak dalam satu unit pengelolaan lahan secara spasial dan temporal.

Agroforestri sebagai sistem penggunaan lahan terpadu yang memiliki dimensi sosial dan ekologis, dilakukan dengan menggabungkan pepohonan dengan tanaman pertanian dan/atau ternak untuk mencapai hasil yang optimal dan berkelanjutan. Definisi lain dari King dan Chandler (2003) mendefinisikan agroforestri sebagai sistem pengelolaan lahan lestari yang mampu meningkatkan produktivitas lahan secara keseluruhan melalui kombinasi tanaman pertanian dengan tanaman ternak (Hairiah *et al.*, 2003). Dari berbagai definisi tersebut, dapat disintesis bahwa agroforestri memiliki empat karakteristik kunci: disengaja (*intentional*), intensif (*intensive*), interaktif (*interactive*), dan terintegrasi (*integrated*).

Prinsip dasar yang menjadi motor penggerak sistem agroforestri bertumpu pada dua pilar utama: keanekaragaman dan efisiensi. Prinsip keanekaragaman diwujudkan dengan memadukan berbagai jenis tanaman dan/atau ternak untuk meningkatkan produktivitas total dan stabilitas ekosistem. Diversifikasi ini tidak hanya memperkaya produk ekonomi tetapi juga membangun resiliensi ekologis terhadap serangan hama, penyakit, dan fluktuasi iklim. Sementara itu, prinsip efisiensi penggunaan sumber daya dicapai melalui pemanfaatan sinergi antarkomponen untuk memaksimalkan penggunaan tanah, air, dan radiasi matahari. Sebagai contoh,

tajuk pohon dapat menciptakan iklim mikro yang lebih kondusif bagi tanaman di bawahnya, sementara dekomposisi serasah daun menjadi sumber bahan organik yang menyuburkan tanah, sehingga mengurangi ketergantungan pada pupuk eksternal (Elfis, 2024).

Pemahaman mendalam mengenai agroforestri menuntut adanya perbedaan antara "agroforestri sebagai teknik" dan "agroforestri sebagai sistem". Jika teknik hanya berfokus pada metode penanaman spesifik seperti tumpangsari lorong (*alley cropping*) atau pagar hidup (*living fence*), maka sistem berfokus pada pengelolaan interaksi ekologis dan ekonomis yang kompleks antar komponen dalam siklus berjangka panjang (lebih dari satu tahun) (Hairiah *et al.*, 2003). Manfaat fundamental agroforestri seperti siklus hara yang lebih tertutup, pengendalian erosi, dan peningkatan populasi musuh alami hama tidak lahir dari keberadaan komponen secara terpisah, melainkan dari hubungan sinergis yang terjalin di antara mereka. Konsekuensinya, analisis terhadap sistem agroforestri di KHDTK Wanadipa tidak dapat berhenti pada inventarisasi jenis semata. Analisis tersebut harus mampu mengungkap bagaimana struktur dan komposisi vegetasi yang ada menciptakan interaksi fungsional yang mendukung tujuan konservasi. Pendekatan ini menggeser fokus dari inventarisasi statis menjadi analisis fungsional dinamis, yang secara langsung relevan untuk menjawab Rumusan Masalah 1 (mengenai struktur dan komposisi) dan Rumusan Masalah 2 (mengenai dampak konservasinya).

2.2 Keanekaragaman Hayati: Konsep, Tingkatan, dan Urgensi Konservasi

Keanekaragaman hayati, atau biodiversitas, merupakan konsep sentral dalam ilmu lingkungan dan biologi konservasi. Secara definitif, keanekaragaman hayati adalah keragaman seluruh bentuk kehidupan di bumi, yang didasarkan pada ciri-ciri yang dapat diobservasi (Nisa *et al.*, 2024). Definisi ini mencakup totalitas variasi gen, jenis (spesies), dan ekosistem pada suatu wilayah. Keanekaragaman ini merupakan fondasi bagi fungsi, stabilitas, dan resiliensi ekosistem, serta menjadi penyedia jasa ekosistem vital bagi kesejahteraan manusia, seperti penyediaan pangan, air bersih, regulasi iklim, dan pengendalian penyakit.

Untuk keperluan analisis ilmiah, konsep keanekaragaman hayati yang luas ini perlu dipahami melalui tiga tingkatan hierarkis yang saling terkait :

1. **Keanekaragaman Tingkat Genetik:** Merujuk pada totalitas variasi genetik di dalam suatu populasi atau antarpopulasi dari satu spesies. Gen, sebagai unit dasar pewarisan sifat, menentukan karakteristik unik setiap individu. Variasi genetik ini merupakan bahan baku bagi proses evolusi dan adaptasi (Heriyanti *et al.*, 2023).
2. **Keanekaragaman Tingkat Spesies (Jenis):** Merujuk pada variasi spesies yang terdapat dalam suatu komunitas atau ekosistem. Tingkatan ini merupakan fokus yang paling umum dalam studi ekologi. Pengukurannya mencakup dua komponen utama: kekayaan spesies (*species richness*), yaitu jumlah total spesies, dan kemerataan spesies (*species evenness*), yaitu distribusi kelimpahan relatif individu di antara spesies-spesies tersebut. Penelitian ini akan berfokus pada pengukuran kuantitatif (Heriyanti *et al.*, 2023).
3. **Keanekaragaman Tingkat Ekosistem:** Merujuk pada keragaman habitat, komunitas biotik, dan proses-proses ekologis dalam suatu lanskap. Tingkatan ini mencakup interaksi kompleks antara faktor biotik (organisme hidup) dan abiotik (lingkungan fisik). Desain penelitian ini, yang membandingkan "ekosistem agroforestri" dengan "ekosistem pemanfaatan lain", pada dasarnya merupakan sebuah analisis pada tingkat ekosistem (Heriyanti *et al.*, 2023).

Ketiga tingkatan ini terhubung dalam hubungan kausalitas yang dinamis. Keputusan pengelolaan untuk menanam beragam jenis pohon (peningkatan keanekaragaman spesies) akan menciptakan struktur vegetasi yang kompleks. Struktur fisik ini membentuk keragaman habitat (peningkatan keanekaragaman ekosistem), yang pada gilirannya mampu menopang lebih banyak spesies fauna. Dengan demikian, penelitian ini secara empiris menguji rantai kausalitas tersebut, menghubungkan secara logis antara Rumusan Masalah 1 (struktur vegetasi) dengan Rumusan Masalah 2 (tingkat keanekaragaman hayati).

2.3 Pendekatan Strategis Konservasi Keanekaragaman Hayati (Konservasi *In-situ*)

Upaya mitigasi krisis biodiversitas global memerlukan pendekatan yang sistematis dan terintegrasi. Dalam literatur biologi konservasi dan kebijakan lingkungan global, strategi pelestarian keanekaragaman hayati diklasifikasikan ke dalam dua pendekatan utama yang saling melengkapi: konservasi *in-situ*. Pemahaman mendalam mengenai kedua strategi ini menjadi landasan penting untuk menganalisis posisi kawasan hutan pendidikan seperti KHDTK Wanadipa dalam jejaring konservasi regional.

Konservasi *in-situ* didefinisikan sebagai pelestarian ekosistem dan habitat alami serta pemeliharaan dan pemulihan populasi spesies yang layak (*viable populations*) di dalam lingkungan alaminya. Dalam konteks spesies tanaman budidaya, konservasi ini dilakukan di lingkungan tempat sifat-sifat khususnya berkembang (Hunter *et al.*, 2014). Di Indonesia, landasan hukum utama konservasi *in-situ* adalah **Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990** tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya. Implementasinya mewujudkan dalam bentuk Kawasan Suaka Alam (Cagar Alam, Suaka Margasatwa) dan Kawasan Pelestarian Alam (Taman Nasional, Taman Hutan Raya, Taman Wisata Alam).

Namun, paradigma konservasi *in-situ* modern telah bergeser dari sekadar "memagari kawasan lindung" (*fortress conservation*) menjadi pendekatan berbasis lanskap (*landscape approach*). (Dudley *et al.*, 2018) dan (Maxwell *et al.*, 2020) dalam publikasi terbaru menyoroti keterbatasan kawasan lindung formal yang sering kali terisolasi. Oleh karena itu, area di luar kawasan lindung resmi yang dikelola secara berkelanjutan dikenal dengan istilah OECM (*Other Effective area-based Conservation Measures*) menjadi sangat krusial. Dalam konteks ini, KHDTK Wanadipa yang menerapkan sistem agroforestri dapat dikategorikan sebagai area yang mendukung fungsi konservasi *in-situ* melalui penyediaan habitat penyangga dan koridor ekologis.

Penelitian di KHDTK Wanadipa ini menempatkan sistem agroforestri dalam kerangka irisan antara pemanfaatan lahan dan konservasi *in-situ*. Meskipun bukan hutan primer, sistem agroforestri kompleks memiliki struktur vegetasi yang menyerupai hutan alam, sehingga mampu berfungsi sebagai matriks berkualitas tinggi dalam lanskap konservasi.

Studi dari (Udawatta *et al.*, 2019) menunjukkan bahwa agroforestri mendukung strategi *in-situ* melalui tiga mekanisme: (1) menyediakan habitat sekunder bagi spesies hutan yang toleran terhadap gangguan; (2) meningkatkan permeabilitas lanskap sehingga satwa dapat bergerak antar fragmen hutan (*connectivity*); dan (3) mengurangi tekanan eksploitasi terhadap kawasan hutan lindung inti dengan menyediakan produk kayu dan non-kayu bagi masyarakat. Dengan demikian, analisis biodiversitas pada plot agroforestri dalam tesis ini merupakan evaluasi terhadap efektivitas strategi konservasi berbasis lanskap di luar kawasan konservasi formal (*protected areas*).

2.4 Burung sebagai Bioindikator Kualitas Lingkungan

Burung atau avifauna diakui secara luas sebagai bioindikator yang efektif untuk memantau kesehatan ekosistem karena sifatnya yang sangat responsif terhadap perubahan struktur vegetasi dan komposisi lanskap. Penggunaan avifauna sebagai indikator didasarkan pada kemampuannya untuk mencerminkan dampak gangguan lingkungan lebih cepat dibandingkan kelompok taksa lainnya, di mana perubahan dalam struktur komunitas burung menjadi sinyal dini bagi penurunan kualitas habitat. Penelitian terbaru oleh (Iswandaru *et al.*, 2020) mengenai distribusi komunitas burung menekankan pentingnya monitoring berkala di lingkungan akademik untuk memahami dinamika biodiversitas lokal. Secara ekologis, keragaman burung mencerminkan fungsionalitas jaring-jaring makanan dan ketersediaan sumber daya karena mereka menempati berbagai tingkatan trofik, dalam survei avifauna yang menyoroti peran strategis burung dalam mencerminkan kondisi lingkungan. Dalam lanskap agroforestri, kelompok burung tertentu menunjukkan resiliensi ekologis yang signifikan terhadap gradien penggunaan lahan (Pardede *et al.*, 2025). Struktur komunitas burung di hutan pendidikan sangat dipengaruhi oleh heterogenitas habitat. Selain itu, penggunaan burung

untuk melacak keberhasilan restorasi hutan memperkuat alasan pemilihan avifauna sebagai parameter kunci dalam menilai efektivitas pengelolaan di KHDTK Wanadipa, di mana kompleksitas vegetasi telah terbukti secara konsisten menjadi prediktor utama bagi tingginya keanekaragaman burung.

2.5 Peran Kunci Agroforestri dalam Konservasi Keanekaragaman Hayati

Hubungan antara sistem agroforestri dan konservasi keanekaragaman hayati merupakan inti dari kerangka teoretis penelitian ini. Berbeda dengan pertanian monokultur yang menyederhanakan struktur ekosistem, agroforestri yang dikelola baik dapat berfungsi ganda sebagai sistem produksi sekaligus wahana pendukung keanekaragaman hayati (Iswandaru *et al.*, 2023). Peran positif ini diwujudkan melalui serangkaian mekanisme ekologis:

1. **Formasi Struktur Vegetasi Kompleks:** Kemampuan agroforestri membentuk struktur vegetasi vertikal berlapis (*multi-strata*), menyerupai arsitektur hutan alam, menciptakan lebih banyak relung ekologis (*ecological niches*) bagi berbagai jenis fauna. Ini adalah inti dari Rumusan Masalah 1.
2. **Peningkatan Heterogenitas Habitat:** Kombinasi beragam bentuk kehidupan tumbuhan menciptakan mosaik habitat pada skala mikro, yang memungkinkan koeksistensi lebih banyak spesies.
3. **Fungsi sebagai Koridor Ekologis dan Habitat Tremplin:** Petak-petak agroforestri dapat menghubungkan fragmen-fragmen habitat alami yang terisolasi, memungkinkan pergerakan, migrasi, dan aliran gen satwa liar.
4. **Penyediaan Sumber Daya Pangan dan Sarang Berkelanjutan:** Keanekaragaman tumbuhan menyediakan sumber pakan dan tempat berlindung yang beragam bagi fauna sepanjang tahun.

2.6 Kapasitas Kelembagaan dalam Strategi Pemulihan Ekosistem

Keberhasilan program pengayaan jenis (*enrichment planting*) atau restorasi hutan tidak hanya ditentukan oleh kesesuaian faktor biofisik (seperti tanah dan iklim), tetapi juga sangat bergantung pada kapasitas kelembagaan

pengelola dalam menjamin keberlangsungan hidup tanaman pasca-tanam. Dalam konteks pengelolaan Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK), kerangka kelembagaan harus dipahami sebagai kemampuan manajerial untuk memobilisasi sumber daya internal guna mengatasi kendala ekologis.

1. Kapasitas Sumber Daya dan Intensitas Pengelolaan

Menurut teori manajemen hutan, tingkat keberhasilan tanaman (*survival rate*) berbanding lurus dengan intensitas pemeliharaan (Sofyan, 2024). Dalam sistem agroforestri atau rehabilitasi lahan yang tidak melibatkan petani penggarap (*non-participatory management*), seluruh beban pemeliharaan (penyiangan, penyulaman, perlindungan dari kebakaran) bertumpu pada unit pengelola. Oleh karena itu, analisis kapasitas kelembagaan berfokus pada tiga elemen kunci:

- Ketersediaan SDM Lapangan: Rasio jumlah staf patroli/pemelihara terhadap luas lahan yang dikelola. Keterbatasan SDM menuntut pemilihan strategi silvikultur yang minim tenaga kerja.
- Dukungan Anggaran Operasional: Ketersediaan dana berkelanjutan untuk biaya operasional pasca-tanam, yang seringkali menjadi titik lemah dalam proyek rehabilitasi hutan di Indonesia
- Aksesibilitas dan Kontrol: Kemampuan pengelola menjangkau lokasi tanam untuk monitoring rutin.

2. Pendekatan *Site-Species-Management Matching*

Jika pendekatan tradisional hanya menekankan pada *Site-Species Matching* (mencocokkan jenis tanaman dengan kondisi tanah), maka pendekatan modern dalam restorasi lahan kritis menambahkan dimensi ketiga, yaitu *Management Matching*. Konsep ini menekankan bahwa pemilihan jenis tanaman harus disesuaikan dengan kapasitas manajemen yang tersedia.

- Jika kapasitas manajemen tinggi (ada petani/banyak staf/dana besar), maka dapat direkomendasikan jenis tanaman yang "menuntut"

(*demanding species*) seperti tanaman buah komersial atau kayu pertukangan bernilai tinggi yang butuh pemupukan/penyiangan rutin.

- Jika kapasitas manajemen rendah (staf terbatas/minim dana/tanpa petani), maka strategi yang direkomendasikan harus beralih pada jenis tanaman "*Low Maintenance*" atau "*Self-Sustaining*". Jenis ini umumnya adalah spesies pionir atau lokal yang memiliki daya adaptasi tinggi (*resilient*), mampu bersaing dengan gulma tanpa disiangi, dan tidak memerlukan input pupuk buatan.

3. Implikasi terhadap Strategi Pengayaan di KHDTK

Dalam konteks KHDTK Wanadipa, analisis kelembagaan berfungsi sebagai "filter manajemen" untuk menyaring rekomendasi teknis. Strategi pengayaan jenis tidak boleh membebani pengelola di luar batas kemampuannya. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai kapasitas internal pengelola menjadi landasan teoretis untuk merumuskan rekomendasi tanaman yang realistis, efisien biaya (*cost-effective*), dan berkelanjutan secara ekologis.

4. Adopsi Inovasi Agroforestri.

Keberhasilan pengayaan jenis di lahan yang dikelola bersama masyarakat (*community-based management*) sangat bergantung pada tingkat adopsi petani. Menurut teori adopsi agroforestri, petani cenderung menolak menanam pohon jika: (1) Menaungi tanaman utama secara berlebihan, (2) Menjadi inang hama, atau (3) Tidak memiliki nilai ekonomi langsung. Oleh karena itu, kerangka kelembagaan dalam penelitian ini dianalisis untuk menemukan celah kemitraan: jenis tanaman apa yang dibolehkan regulasi KHDTK, namun juga 'menguntungkan' atau setidaknya 'tidak merugikan' bagi petani penggarap.

2.7 KHDTK Wanadipa sebagai Lokasi Studi

Pemilihan KHDTK Wanadipa sebagai lokasi penelitian bersifat strategis karena statusnya sebagai "laboratorium alam" (*natural laboratory*), sebuah arena yang secara legal dialokasikan untuk penelitian, pengembangan, pendidikan, dan pelatihan kehutanan (Pinudya *et al.*, 2025). Konteks ini memberikan beberapa justifikasi kuat bagi penelitian ini.

Pertama, pengelolaan oleh institusi akademik (Universitas Diponegoro) memberikan mandat yang jelas untuk kegiatan penelitian, sejalan dengan "Rencana Pengelolaan Jangka Panjang KHDTK Wanadipa 2023-2043". Kedua, penetapan blok-blok yang didedikasikan untuk agroforestri dalam zonasi kawasan merupakan poin yang sangat signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan agroforestri di KHDTK Wanadipa bukan merupakan praktik pertanian subsisten yang terjadi secara acak, melainkan sebuah intervensi yang disengaja dan terencana. Hal ini menempatkan penelitian ini dalam posisi ideal untuk mengevaluasi efektivitas sebuah strategi pengelolaan spesifik. Ketiga, dimensi sosial-ekonomi yang kompleks, termasuk keberadaan masyarakat penggarap (*pesanggem*), menambah lapisan relevansi yang penting, di mana interaksinya kini diatur dalam kerangka kelembagaan kemitraan yang akan dianalisis dalam penelitian ini.

Kawasan ini diamanatkan secara spesifik untuk menjadi lokasi penelitian, pengembangan teknologi kehutanan, pendidikan, serta pelatihan lingkungan. Pengelolaan hutan oleh institusi perguruan tinggi menuntut pengejawantahan nilai-nilai Tri Dharma Perguruan Tinggi secara terintegrasi. Dalam hal ini, KHDTK Wanadipa tidak hanya dituntut untuk memulihkan ekologi kawasan (*environmental sustainability*), tetapi juga harus mampu menghasilkan luaran riset yang terukur dan mengimplementasikan program pengabdian yang berdampak pada peningkatan taraf hidup masyarakat desa penyangga. Konteks ini memberikan landasan teori yang kuat bahwa pengelolaan di KHDTK harus dievaluasi berdasarkan keandalan model ilmiah yang diterapkan di dalamnya.

Kawasan ini juga dicirikan oleh topografi perbukitan dengan tingkat kemiringan yang bervariasi. Berdasarkan studi-studi terdahulu, area dengan kemiringan ekstrem memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap erosi dan limpasan permukaan (*run-off*) apabila kehilangan stratifikasi tajuk vegetasinya. Sifat fisik tanah yang rentan terhadap kekeringan saat kemarau panjang menjadikan kawasan ini sebagai arena pengujian yang menantang untuk melihat keberhasilan adaptabilitas tanaman rehabilitasi (seperti MPTS dan tanaman kehutanan lokal) di lahan kritis.

2.8 Hipotesis dan Orisinalitas

Berdasarkan kerangka pikir yang telah dibangun, penelitian ini mengajukan beberapa hipotesis untuk diuji secara empiris, serta menguraikan orisinalnya.

Hipotesis Penelitian

1. Struktur Vegetasi (RM 1):

Terdapat kesenjangan (*gap*) kompleksitas vertikal yang signifikan antara struktur vegetasi aktual sistem agroforestri di KHDTK Wanadipa yang bertipe sederhana dan didominasi tanaman kayu dengan struktur hutan alam ideal (*multistrata*).

2. Terkait Asosiasi Ekologis (RM 2):

Memiliki tingkat indeks keanekaragaman sedang hingga tinggi, serta terdapat hubungan korelasi yang signifikan dan positif (berbanding lurus) antara keberadaan/kerapatan spesies tanaman pakan alami dan peneduh dengan kehadiran serta keanekaragaman satwa (*avifauna*) di KHDTK Wanadipa.

3. Terkait Strategi Pengayaan dan Penerimaan Sosial (RM 3):

Strategi pengayaan jenis yang mengombinasikan tanaman MPTS dan tanaman hutan memberikan tingkat penerimaan sosial (*social acceptability*) yang lebih tinggi oleh petani dibandingkan penggunaan spesies pohon hutan murni, sehingga lebih menjamin keberlangsungan hidup tanaman di lapangan.

Orisinalitas Penelitian

Orisinalitas penelitian ini terletak pada sintesis unik dari tiga aspek yang selaras dengan rumusan masalah, yang secara kolektif mengisi kesenjangan pengetahuan yang signifikan.

1. Konteks Spesifik dan Evaluasi Model Intervensi : Penelitian ini merupakan studi komprehensif pertama yang secara kuantitatif menganalisis struktur dan komposisi vegetasi dari sebuah sistem agroforestri yang secara sengaja diimplementasikan dalam konteks institusional KHDTK yang dikelola universitas. Penelitian ini melampaui inventarisasi taksa tunggal (seperti semak saja), dengan menganalisis sistem agroforestri sebagai satu kesatuan fungsional yang utuh.
2. Resolusi Konflik dalam Desain Tanam : Kebanyakan penelitian hanya merekomendasikan "tanaman yang bagus secara ekologis" tanpa mempedulikan nasibnya di tangan penggarap. Penelitian ini memiliki orisinalitas dalam merancang Desain Agroforestri Kompromi. Penelitian ini menyaring rekomendasi spesies berdasarkan preferensi petani (aspek sosial) untuk meminimalisir penebangan liar atau penolakan, sehingga menjembatani tujuan konservasi biodiversitas dengan kebutuhan ekonomi masyarakat di dalam KHDTK.
3. Analisis Kelembagaan Internal Terfokus: Kebaruan utama tesis ini terletak pada analisis mendalam terhadap kerangka kelembagaan internal KHDTK. Berbeda dengan studi sosial-ekonomi yang berfokus pada petani, penelitian ini membedah "mesin" pengelolaan di baliknya, yaitu tata kelola universitas, struktur organisasi, dan alokasi sumber daya. Pendekatan ini tidak hanya menjawab "apa" hasil ekologisnya (RM 1 & 2), tetapi juga "bagaimana" desain kelembagaan internal pengelola (universitas) memfasilitasi atau menghambat pencapaian tujuan konservasi tersebut. Ini adalah pergeseran krusial dari analisis "sosial" eksternal menjadi analisis "kelembagaan" internal.