

**Restorasi 15 Tahun: Analisis Komposisi, Potensi, dan Keanekaragaman
Jenis di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Jawa Barat**
(*Restoration of 15 years: Analysing species composition, potential, and diversity*)

**Mawazin^{*1,2}, Prijanto Pamoengkas¹, Darwo², Ika Heriansyah² dan/and
Rosita Dewi^{1,2}**

¹Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Jawa Barat, 16680, Indonesia, (+62) 251 8622642

²Pusat Penelitian Ekologi dan Etnobiologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jalan Raya Jakarta-Bogor Km.46, Cibinong 16911, Indonesia, (+62) 81119333639

*E-mail: mawazin22@gmail.com

Tanggal diterima: 21 Agustus 2024; Tanggal disetujui: 15 Agustus 2024; Tanggal direvisi: 18 Desember 2024

Abstract

Degraded forests have a negative impact on biodiversity, stand potential, flora and fauna habitat, and environmental carrying capacity. The study aims to analyze the success of restoration after 15 years based on species composition, structure, and stand potential. The study was conducted in a 15-year-old restoration plant area and natural forest in Gunung Gede Pangrango National Park, West Java. Sample plots were made measuring 20 x 20 m, with as many as 25 plots for each in the restoration area and natural forest. Plot size was 20 x 20 m for the tree level, and then sub-plots were made measuring 10 x 10 m, 5 x 5 m, and 2 x 2 m for pole, stake, and seedling levels. The method of restoration success through forest recovery assessment based on the increase in stand structure achieved in the restoration area compared to the stand structure of the surrounding natural forest. The results showed that restoration activities in degraded areas of former plantations have been able to restore the ecosystem sustainably. Restored plants with a diameter of 10-40 cm have reached the potential for stands above their natural forest, and a diameter of 40-50 cm is almost close to their natural forest, while a diameter above 50 cm has yet to be achieved. The presence of new species at the seedling and sapling levels shows that natural regeneration is taking place and ensures the sustainability of the forest.

Keywords: *Ecosystem restoration, regeneration, stand structure and potential*

Abstrak

Hutan yang terdegradasi berdampak buruk pada biodiversitas, potensi tegakan, habitat flora dan fauna, serta daya dukung lingkungan. Penelitian bertujuan menganalisis keberhasilan restorasi setelah 15 tahun berdasarkan komposisi jenis, struktur, dan potensi tegakan. Penelitian dilakukan pada areal tanaman restorasi umur 15 tahun dan hutan alam di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Jawa Barat. Sampel plot dibuat berukuran 20 m x 20 m sebanyak 25 plot untuk masing-masing di areal restorasi dan hutan alam. Plot ukuran 20 m x 20 m untuk tingkat pohon, selanjutnya dibuat sub-plot berukuran 10 m x 10 m, 5 m x 5 m, dan 2 m x 2 m untuk tingkat tiang, pancang dan semai. Metode keberhasilan restorasi melalui penilaian pemulihan hutan berdasarkan peningkatan struktur tegakan yang dicapai di areal restorasi dibandingkan struktur tegakan hutan alam di sekitarnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil restorasi di areal terdegradasi bekas perladangan sebagian telah mampu memulihkan ekosistem secara berkelanjutan. Tanaman hasil restorasi berdiameter 10-40 cm sudah mencapai potensi tegakan di atas kondisi hutan alamnya dan diameter 40-50 cm hampir mendekati hutan alamnya, sedangkan diameter di atas 50 cm belum tercapai. Kehadiran jenis baru pada tingkat semai dan pancang menunjukkan bahwa regenerasi alami berjalan dan menjamin kelangsungan hutan.

Kata kunci: Restorasi ekosistem, regenerasi, struktur dan potensi tegakan

1. Pendahuluan

Hutan menyediakan habitat, sumber daya dan perlindungan bagi keanekaragaman hayati, menjaga suplai air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, dan memelihara kesuburan tanah (KLHK, 2020). Hutan yang terganggu berdampak terhadap penurunan fungsi ekosistem sebagai penyedia jasa lingkungan (Rosenbaum, 2017).

Pada tahun 2003, kawasan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango (TNGGP) mendapat tambahan luas sebesar 7.655 ha yang berasal dari hutan produksi. Sebagian kawasan tersebut mengalami degradasi hutan sekitar 2.707 ha akibat aktivitas pertanian. Hal ini berdampak terhadap penurunan keanekaragaman hayati, potensi tegakan hutan, kehadiran satwa, kesuburan tanah serta daya dukung lingkungan.

Sebagai respon degradasi hutan, pada 2008 TNGGP bekerjasama dengan yayasan Konservasi Internasional melakukan restorasi dengan nama “*Green Wall*”. Program “*Green Wall*” adalah sebuah kemitraan antara pemerintah, swasta, dan masyarakat dalam merestorasi lahan terdegradasi di TNGGP. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa hasil restorasi bisa pulih kembali seperti kondisi ekosistem semula membutuhkan waktu yang bervariasi. Seperti suksesi alami selama 70 tahun tutupan lahan mencapai 8,1% (Solano et al., 2021), lahan bekas pertanian di Italia selama 85 tahun mencapai tutupan 85% (Santoro & Piras, 2023), struktur tegakan bisa pulih setelah 60 tahun (IPBES & IPCC, 2021), kekayaan jenis tanpa mempertimbangkan kelas diameter pulih setelah 30 tahun, distribusi diameter menyerupai hutan tua memerlukan ratusan tahun (Letcher & Chazdon, 2009).

Percepatan pemulihan vegetasi merupakan langkah efektif. Dalam 13 tahun, restorasi hutan di Hutan Penelitian Gunung Dahu mampu meningkatkan tutupan lahan hingga 113,8% (Saputra et al., 2023). Tegakan *Shorea mecistopteryx* berumur 32 tahun menunjukkan struktur kurva normal, namun diperlukan 83 tahun untuk mencapai struktur seperti hutan alam (Anam et al., 2024).

Keberhasilan pemulihan ekosistem hutan dipengaruhi komponen kesehatan hutan yang mendukung stabilitas tanah, sifat fisik, struktural, dan kesuburan tanah (Biao et al., 2015; Gould et al., 2016), serta temperatur tanah (Shuklina & Voropay, 2020). Penilaian keberhasilan restorasi mencakup tiga aspek utama komposisi jenis, kerapatan pohon, dan potensi tegakan (Ruiz-Jaen & Mitchell-Aide, 2005). Pemulihan hutan merupakan proses jangka panjang, sehingga diperlukan evaluasi secara bertahap untuk memantau kemajuan (Longo et al., 2020). Tahapan waktu yang dibutuhkan untuk mengevaluasi kegiatan restorasi menjadi tolok ukur dan panduan kegiatan restorasi ekosistem hutan tertentu. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan secara berkala guna menyesuaikan strategi dan inovasi untuk mempercepat pemulihan.

Tolak ukur keberhasilan restorasi bergantung pada tujuan yang ditetapkan dan fungsi ekosistem hutannya. Keberhasilan dapat dinilai dengan membandingkan hutan yang direstorasi dengan hutan alam, melalui parameter keanekaragaman jenis dan struktur vegetasi (Crouzeilles et al., 2017). Penelitian ini bertujuan menganalisis keberhasilan restorasi setelah 15 tahun di TNGGP berdasarkan komposisi jenis, kerapatan, dan potensi tegakan.

2. Metodologi

2.1. Lokasi Penelitian

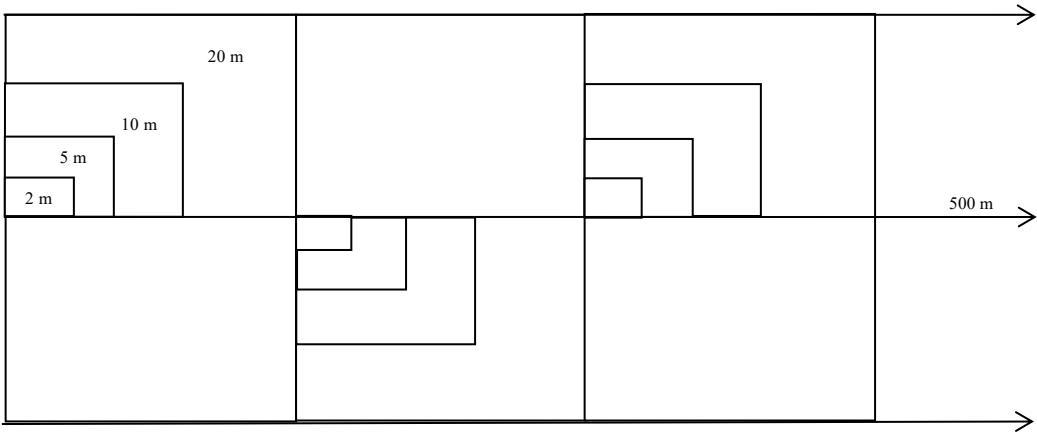
Penelitian dilakukan pada kawasan hutan Taman Nasional Gunung Gede-Pangrango di Kecamatan Nagrak, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Berdasarkan peta tanah Kabupaten Bogor termasuk jenis tanah latosol dengan warna coklat kekuningan, topografi relatif curam dengan kemiringan lahan mencapai 30-100%, ketinggian tempat 700-1.000 m dpl, tipe iklim A dengan curah hujan 3.000-4.500 mm/tahun. Kondisi lahan sebelum di restorasi tergolong rusak berat dan lahan terbuka. Penelitian dilakukan di areal restorasi pada umur 15 tahun dan hutan alam di sekitarnya sebagai pembanding. Areal yang direstorasi seluas 40 ha dengan menanam jenis asli

setempat, pemeliharaan sampai umur 5 tahun. Jenis-jenis yang ditanam, yaitu rasamala (*Altingia excelsa* Noronha), kisireum (*Decaspermum fruticosum* J.R.Forst. & G.Forst.), janitri (*Elaeocarpus sphaericus* (Gaertn.) K. Schum.), huru madang (*Litsea angulata* Bl.), manglid (*Manglietia glauca* Bl.), puspa (*Schima wallichii* (DC.) Korth.), suren (*Toona sureni* (Blume) Merr), salam (*Syzygium polyanthum* (Wight.) Walp).

2.2. Pengumpulan Data

Penelitian ini mengevaluasi hasil restorasi tegakan berumur 15 tahun

dengan menggunakan indikator berupa komposisi jenis, struktur, potensi tegakan, dan keanekaragaman spesies. Pengamatan dilakukan dengan metode jalur dengan garis berpetak ukuran 20 m x 500 m sebanyak 25 plot pada tegakan berumur 15 tahun dan 25 plot pada hutan alam yang berdekatan dengan petak restorasi. Jalur pengamatan terbagi menjadi plot berukuran 20 m x 20 m untuk pohon, sub-plot 10 m x 10 m untuk tiang, 5 m x 5 m untuk pancang dan 2 m x 2 m untuk semai. Arah jalur pengamatan dibuat melintasi kontur lahan (Perdirjen KSDAE, 2015; Siappa et al., 2016) (Gambar 1).



Gambar (Fig.) 1. Bentuk plot pengamatan (*The shape of observation plots*)

Parameter yang diamati mencakup permudaan (semai dan pancang) dan pohon dewasa (tiang dan pohon). Kriteria semai yaitu anakan dengan tinggi < 1,5 m; tingkat pancang dengan tinggi > 1,5 m dan diameter < 10 cm, tingkat tiang merupakan pohon dewasa berdiameter 10 cm sampai kurang dari 20 cm, dan pohon ialah pohon dewasa diameter > 20 cm (Perdirjen-KSDAE, 2015). Variabel yang diamati untuk permudaan meliputi nama jenis dan jumlah jenis, sedangkan pohon

dewasa mencakup nama jenis, diameter, dan tinggi pohon.

2.3. Analisis Data

Penilaian pemulihan hutan ditentukan berdasarkan peningkatan struktur tegakan yang dicapai areal restorasi dibandingkan struktur tegakan hutan alam berdekatan dengan areal restorasi. Tingkat pemulihan dinyatakan dalam persen (Solano et al., 2021).

$$\text{Tingkat pemulihan} = \frac{\text{Struktur tegakan di areal restorasi}}{\text{Struktur tegakan di hutan alam}} \times 100\%$$

Parameter yang dibandingkan meliputi komposisi jenis, kerapatan tagakan, struktur tegakan, potensi tegakan (Mulverhill et al., 2019; Schulte et al., 2014). Data yang terkumpul digunakan

untuk menganalisis perkembangan kemajuan restorasi berdasarkan analisis vegetasi (Soerianegara & Indrawan, 1998).

$$\text{Kerapatan (K)} = \frac{\text{Jumlah individu suatu jenis dalam plot contoh}}{\text{Luas plot contoh}}$$

$$\text{Frekuensi (F)} = \frac{\text{Jumlah plot contoh ditemukan suatu jenis}}{\text{Jumlah seluruh plot contoh}}$$

$$\text{Dominansi (D)} = \frac{\text{Luas bidang suatu jenis dalam plot contoh}}{\text{Luas seluruh plot contoh}}$$

$$\text{Kerapatan Relatif (KR)} = \frac{\text{Kerapatan suatu jenis}}{\text{Kerapatan seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Frekuensi Relatif (FR)} = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis}}{\text{Frekuensi seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Dominansi Relatif (DR)} = \frac{\text{Dominansi suatu jenis}}{\text{Dominansi seluruh jenis}} \times 100\%$$

Indeks nilai penting (INP) tingkat permudaan (semai, pancang dan tiang) adalah penjumlahan antara kerapatan relatif (KR) + frekuensi relatif (FR), sedangkan INP untuk tingkat pohon merupakan penjumlahan antara kerapatan relatif (KR) + frekuensi relatif (FR) + dominansi relatif (DR).

2.3.1. Indeks kekayaan jenis Margalef (R)

Untuk mengetahui besarnya kekayaan jenis digunakan indeks Margalef (Ludwig & Reynolds, 1988):

$$\text{Indeks kekayaan jenis Margalef (R)} = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

Keterangan:

R = Indeks kekayaan jenis Margalef,
S = Jumlah jenis,
N = Jumlah total individu.

Kriteria:

R ≤ 3,5 (rendah), 3,5 < R ≤ 5 (sedang), dan
R > 5 (tinggi).

2.3.2. Indeks keanekaragaman jenis (H')

Indeks keanekaragaman jenis ditentukan dengan menggunakan rumus Shannon-Wiener indeks (Ludwig & Reynolds, 1988):

$$\text{Indeks keanekaragaman jenis (H')} = -\sum \left(\frac{n_i}{N} \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right)$$

Keterangan:

H' = Indeks keanekaragaman Shanon Wiener

n_i = INP jenis ke-i,

N = Total INP.

Kriteria:

H' ≤ 1,0 (rendah), 1,0 < H' ≤ 3,0 (sedang),
dan H' > 3.0 (tinggi).

2.3.3. Indek pemerataan jenis (E)

Indeks pemerataan jenis (E) ditentukan dengan rumus:

$$\text{Indeks pemerataan jenis (E)} = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Keterangan:

E = Indeks pemerataan jenis,

H' = Indeks keanekaragaman jenis

S = Jumlah jenis.

Kriteria:

E ≤ 0,4 (rendah), 0,4 < E ≤ 0,6 (sedang), E
> 0,6 (tinggi) (Odum 1996).

2.3.4. Potensi tegakan

Potensi tegakan merupakan besarnya volume pohon dalam 1 ha (m³/ha). Volume tegakan ditentukan dengan menjumlahkan semua volume pohon yang ada dalam luasan 1 hektar. Volume pohon ditentukan menggunakan angka bentuk = 0,7 (Ode et al., 2021):

$$\text{Volume pohon (V)} = \frac{1}{4} \pi d^2 t f$$

Keterangan :

V = Volume pohon (m³),
π = 3,14,
d = diameter setinggi dada (1,3 m),
t = tinggi bebas cabang,
f = Angka bentuk (0,7)

3. Hasil dan Pembahasan
3.1. Hasil

Fase pertumbuhan hutan mencakup perkembangan dari permudaan tingkat semai, pancang, tiang, hingga pohon dewasa. Penilaian parameter kerapatan, komposisi, kekayaan jenis, dan keanekaragaman jenis disajikan pada Tabel 1. Hasil analisis menunjukkan bahwa perbandingan antara kerapatan di areal restorasi dengan hutan alamnya untuk tingkat semai 98%, pancang 9%, tiang 214%, dan pohon 91%. Komposisi jenis yang ditemukan untuk semai, pancang, tiang dan pohon masing-masing adalah 41%, 34%, 50%, dan 42%. Indeks kekayaan jenis antara areal restorasi dengan hutan alam untuk tingkat semai, pancang, tiang dan pohon masing-masing adalah 35%, 43%, 42%, dan 41%. Indeks kekayaan jenis untuk tingkat semai,

pancang, tiang, dan pohon di areal restorasi termasuk rendah, sedangkan di hutan alamnya untuk tingkat semai termasuk sedang, dan untuk tingkat pancang, tiang dan pohon kategori tinggi. Indeks keanekaragaman jenis di areal restorasi dibandingkan dengan hutan alamnya untuk tingkat semai, pancang, tiang, dan pohon masing-masing adalah 62%, 50%, 66%, dan 65%. Indeks keanekaragaman jenisnya di areal restorasi untuk tingkat semai, pancang, tiang dan pohon termasuk sedang, namun di hutan alam untuk semai dan tiang termasuk sedang, namun tingkat pancang dan pohon termasuk tinggi. Perbandingan antara indeks kemerataan jenis di areal restorasi umur 15 tahun dengan hutan alamnya untuk tingkat semai, pancang, tiang dan pohon masing-masing sebesar 88%, 56%, 75%, dan 79%. Indeks kemerataan jenis di areal restorasi untuk tingkat semai (tinggi), pancang (rendah), namun tingkat tiang dan pohon kategori sedang. Indeks kemerataan jenis di hutan alam untuk tingkat semai, pancang, tiang dan pohon termasuk tinggi.

Tabel (Table) 1. Perbandingan struktur tegakan antara areal restorasi umur 15 tahun dengan hutan alam (*Comparison of stand structure of restoration area on 15 years with natural forest*)

Parameter (<i>Parameters</i>)	Area restorasi umur 15 tahun (<i>Restoration area on 15 years</i>)		Areal hutan alam (<i>Natural forest area</i>)		Perbandingan terhadap hutan alam (<i>Comparison to natural forest</i>)
	Rata-rata (<i>Means</i>)	Kategori (<i>Categori</i>)	Rata-rata (<i>Means</i>)	Kategori (<i>Categori</i>)	
Kerapatan (<i>Density</i>) (N/ha):					
a. Semai (<i>Seedling</i>)	15.100	-	15.400	-	98%
b. Pancang (<i>Sapling</i>)	260	-	3.024	-	9%
c. Tiang (<i>Pole</i>)	992	-	464	-	214%
d. Pohon (<i>Tree</i>)	153	-	168	-	91%
Komposisi jenis (<i>Species composition</i>):					
a. Semai (<i>Seedling</i>)	9	-	22	-	41 %
b. Pancang (<i>Sapling</i>)	14	-	41	-	34 %
c. Tiang (<i>Pole</i>)	14	-	28	-	50 %
d. Pohon (<i>Tree</i>)	15	-	36	-	42 %
Indeks kekayaan jenis (<i>Species richness index</i>):					
a. Semai (<i>Seedling</i>)	1,45	(Rendah)	4,17	(Sedang)	35%
b. Pancang (<i>Sapling</i>)	3,11	(Rendah)	7,63	(Tinggi)	43%
c. Tiang (<i>Pole</i>)	2,36	(Rendah)	5,68	(Tinggi)	42%
d. Pohon (<i>Tree</i>)	2,78	(Rendah)	6,83	(Tinggi)	41%
Indeks keanekaragaman jenis (<i>Species diversity index</i>):					
a. Semai (<i>Seedling</i>)	1,73	(Sedang)	2,77	(Sedang)	62%
b. Pancang (<i>Sapling</i>)	1,67	(Sedang)	3,33	(Tinggi)	50%
c. Tiang (<i>Pole</i>)	1,91	(Sedang)	2,89	(Sedang)	66%
d. Pohon (<i>Tree</i>)	2,02	(Sedang)	3,12	(Tinggi)	65%
Indeks kemerataan jenis (<i>Evenness index of species</i>):					

a. Semai (<i>Seedling</i>)	0,63 (Tinggi)	0,72 (Tinggi)	88%
b. Pancang (<i>Sapling</i>)	0,38 (Rendah)	0,68 (Tinggi)	56%
c. Tiang (<i>Pole</i>)	0,48 (Sedang)	0,64 (Tinggi)	75%
d. Pohon (<i>Tree</i>)	0,50 (Sedang)	0,63 (Tinggi)	79%

Potensi tegakan yang dijabarkan dalam distribusi kelas diameter tegakan terhadap kerapatan dan volume tegakan di areal restorasi umur 15 tahun dan hutan alam disajikan pada Tabel 2. Perbandingan kerapatan tegakan antara areal restorasi dengan hutan alam untuk kelas diameter 10-40 cm telah mencapai di atas 100%, namun untuk kelas diameter

40-50 cm baru mencapai 50%. Volume tegakan antara areal restorasi dengan hutan alamnya untuk kelas diameter 10-30 cm telah mencapai di atas 100%, kelas diameter 30-40 cm mencapai 95%, kelas diameter 40-50 cm mencapai 24%, sedangkan kelas diameter 50 cm ke atas belum ada.

Tabel (Table) 2. Perbandingan distribusi diameter tegakan pada areal restorasi umur 15 tahun dengan hutan alam (*Comparison of Diameter distribution of stands at restoration forest on 15 years with natural forest*)

Kelas diameter (<i>Diameter class</i>)	Kerapatan (<i>Density</i>) (Ind./ha)			Volume (<i>Volume</i>) (m ³ /ha)		
	Areal restorasi umur 15 tahun (<i>Restoration area on 15 years</i>)	Areal hutan alam (<i>Natural forest area</i>)	Perbandingan terhadap hutan alam (<i>Comparison to natural forest</i>)	Areal restorasi umur 15 tahun (<i>Restoration area on 15 years</i>)	Areal hutan alam (<i>Natural forest area</i>)	Perbandingan terhadap hutan alam (<i>Comparison to natural forest</i>)
a. 10-20 cm	612	464	132%	75	62	121%
b. 20-30 cm	266	79	337%	100	40	251%
c. 30-40 cm	73	44	166%	55	58	95%
d. 40-50 cm	9	18	50%	10	43	24%
e. 50-60 cm	0	7	0%	0	20	0%
f. 60 cm up	0	21	0%	0	214	0%

3.2. Pembahasan

Pemulihan hutan tercermin dari perubahan komposisi jenis, struktur tegakan, dan jumlah populasi (Meiners et al., 2015). Restorasi hutan setelah 15 tahun menunjukkan adanya peningkatan komposisi jenis, keanekaragaman jenis, dan potensi tegakan.

Perkembangan fase pertumbuhan hasil restorasi pada umur 15 tahun menunjukkan bahwa kerapatan tingkat semai dan tiang telah mencapai di atas 100%, tingkat pohon hampir mencapai 100%, namun untuk tingkat pancang hanya mencapai 9%. Kerapatan tingkat pancang yang sangat rendah bisa menjadi indikator adanya kendala dalam transisi dari semai ke pancang. Beberapa penyebabnya diduga adanya persaingan antar spesies, kondisi tanah atau iklim mikro dan faktor umur yang kurang mendukung perkembangan semai ke fase pancang.

Pemulihan ekosistem Taman Nasional Gunung Gede Pangrango pada areal terdegradasi bekas perladangan setelah 15 tahun telah mendukung perkembangan semai dan pertumbuhan

tanaman restorasi yang dipilih. Pemulihan vegetasi untuk tingkat semai dan pancang menunjukkan keberhasilan regenerasi alami. Peningkatan jumlah semai yang tinggi terjadi karena cahaya yang masuk ke lantai hutan merangsang regenerasi alami. Spesies seperti *D. fruticosum*, *S. polyanthum*, dan *S. wallichii* cenderung tumbuh di area terbuka dan berkelompok, sementara di lahan tertutup semak, jumlah anakan jarang ditemukan. Di hutan alam, lebih sedikit semai yang tumbuh, hal ini karena adanya tutupan tajuk, semak, dan serasah yang menghambat perkecambahan, sehingga benih sulit menembus tanah. Semakin tebal tutupan semak dan serasah, semakin besar hambatannya terhadap regenerasi alami (Yang et al., 2014).

Kondisi biodiversitas dalam ekosistem digunakan untuk menilai keanekaragaman pada komunitas tumbuhan. Indeks keanekaragaman jenis di areal restorasi setelah berumur 15 tahun termasuk sedang, sedangkan di hutan alam termasuk tinggi. Tingkat keberhasilan restorasi ekosistem di areal taman nasional terdegradasi pada umur 15 tahun dapat

dilihat dari nilai keanekaragaman jenis. Keanekaragaman jenis mencerminkan stabilitas komunitas, semakin tinggi keanekaragaman jenisnya, semakin stabil komunitasnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan antara nilai indeks keanekaragaman jenis di areal restorasi dengan di areal hutan alam sebesar 50%.

Komposisi seluruh jenis pohon mulai dari tingkat semai hingga pohon pada areal restorasi sebanyak 23 jenis dan pada hutan alam sebanyak 54 jenis dengan persentase pemulihan sebesar 42,6%. Komposisi jenisnya sebanyak 10 jenis terdapat pada areal restorasi dan hutan alam. Komposisi jenis tingkat semai, pancang, tiang, dan pohon telah meningkat, namun belum sepenuhnya pulih, dengan persentase masing-masing 14%, 34%, 42%, dan 34%. Berdasarkan kondisi tersebut, diduga pemulihan 100% ekosistem di areal bekas perladangan membutuhkan waktu 37 tahun untuk semai, 44 tahun untuk pancang, 30 tahun untuk tiang, dan 36 tahun untuk pohon. Pengetahuan tentang komposisi ini penting untuk menilai produktivitas dan keberlanjutan pemulihan hutan (Sreelekshmi et al., 2018). Perubahan pemulihan, seperti perubahan tutupan lahan, dengan meningkatnya tutupan tajuk mengindikasikan keberhasilan restorasi (Solano et al., 2021).

Restorasi selama 15 tahun berhasil memicu regenerasi alami, ditandai dengan munculnya 9 jenis baru pada tingkat semai dan 14 jenis pada tingkat pancang. Regenerasi alami semai dan pancang diduga berasal tanaman restorasi, bank benih yang ada di lantai hutan, serta penyebaran biji oleh hewan. Peningkatan komposisi jenis pada tingkat tiang dan pohon berasal dari vegetasi hasil restorasi dan regenerasi alami.

Jumlah jenis permudaan pada tingkat semai dan pancang mencapai 16 jenis, terdiri dari 11 jenis tanaman restorasi, 2 jenis baru, dan 2 jenis tumbuh alami. Komposisi jenis ini menunjukkan bahwa regenerasi alami berjalan, memungkinkan pemulihan keanekaragaman jenis seiring waktu. Tegakan tingkat tiang dan pohon terdapat 20 jenis, terdiri dari 16 jenis tanaman restorasi, 3

jenis tumbuh alami dan 1 jenis baru. Pemulihan tingkat tiang dan pohon menunjukkan keberhasilan tanaman restorasi. Tegakan tingkat tiang yang ditemukan terdiri dari 12 jenis tanaman restorasi, 1 jenis tumbuh alami dan 1 jenis dari regenerasi alam, sedangkan tegakan tingkat pohon ditemukan 12 jenis tanaman restorasi, 2 jenis tumbuh alami, dan 1 jenis dari suksesi.

Indikator lainnya yang berhubungan dengan keberhasilan restorasi yaitu potensi tegakan. Kerapatan tegakan tertinggi ditemukan pada pohon berdiameter 10-20 cm, yang kemudian menurun pada diameter 20-30 cm, 30-40 cm, dan 40-50 cm. Areal restorasi pada umur 15 tahun telah membentuk pola distribusi diameter pohon seperti di hutan alam, yaitu semakin besar diameter pohon, semakin sedikit jumlah individunya. Kurva struktur tegakan di areal restorasi membentuk distribusi huruf “J” terbalik, yaitu semakin besar diameter pohon, semakin sedikit jumlahnya (Marjenah et al., 2023). Struktur tegakan terbentuk dari dinamika pertumbuhan, peningkatan dimensi, munculnya spesies baru, serta perubahan pada pohon-pohon penyusun tegakan (Kuswandi, 2017). Semakin besar diameter pohon, kebutuhan energi untuk pertumbuhan meningkat, sehingga terjadi persaingan antar individu, baik sejenis maupun antar jenis, yang memicu seleksi alam (Kusmana & Susi, 2015). Keterbatasan sumber daya lahan hanya mendukung jumlah pohon tertentu, sehingga lebih sedikit pohon yang mencapai diameter besar. Persaingan ini terjadi karena peningkatan diameter dan tinggi pohon (Rupšys & Petrauskas, 2022).

Potensi tegakan di areal restorasi cenderung menurun seiring bertambahnya kelas diameter pohon, hal ini karena jumlah pohon yang semakin sedikit. Areal terdegradasi yang telah direstorasi selama 15 tahun dengan menggunakan 8 jenis asli setempat belum mencapai diameter lebih dari 50 cm. Umur pohon memengaruhi pertumbuhan dan proses fisiologis yang berkontribusi pada perubahan volume tegakan. Hal ini sebagai hasil dari proses ekofisiologis yang dinamis dan berkorelasi dengan kondisi iklim, kondisi hara, rentang toleransi jenis, faktor

biogeografi (Kenfack et al., 2014), dan persaingan dan interaksi antara populasi (Ricklefs & He, 2016), kesesuaian habitat (Mori, 2019).

Secara umum, penanaman meningkatkan kekayaan dan keanekaragaman jenis. Namun, pada restorasi 15 tahun, sebagian sudah terlampaui dan sebagian belum tercapai. Peningkatan keanekaragaman menunjukkan bahwa pemulihan sedang berlangsung seiring waktu. Menariknya, kehadiran jenis baru pada tingkat semai dan pancang menunjukkan bahwa regenerasi alami berjalan dan menjamin kelangsungan hutan.

Dengan demikian, jika dilihat dari aspek kerapatan tegakan, komposisi jenis, indeks keanekaragaman jenis, indeks kekayaan jenis, dan indeks pemerataan jenis dalam kurun waktu 15 tahun mampu memulihkan ekosistem Taman Nasional Gunung Gede Pangrango secara berkelanjutan.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Kegiatan restorasi di areal terdegradasi bekas perladangan di Taman Nasional Gunung Gede-Pangrango selama 15 tahun sebagian telah mampu memulihkan ekosistem secara berkelanjutan. Indikatornya yaitu telah terjadi peningkatan kerapatan tegakan, komposisi jenis, indeks keanekaragaman jenis, indeks kekayaan jenis, dan indeks pemerataan jenis. Struktur dan potensi tegakan pada kelas diameter 15-40 cm dari hasil restorasi selama 15 tahun sudah mencapai di atas kondisi hutan alam sekitarnya, dan kelas diameter 40-50 cm hampir mendekati hutan alam sekitarnya, namun diameter di atas 50 cm belum tercapai. Kehadiran jenis baru pada tingkat semai dan pancang menunjukkan bahwa regenerasi alami berjalan dan menjamin kelangsungan hutan.

4.2. Saran

Percepatan pemulihan ekosistem restorasi terdegradasi bekas perladangan diperlukan penambahan penanaman jenis-jenis asli setempat yang bersifat intoleran agar keberhasilan tahapan restorasi meningkat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan teknis yang diterima dari Pengelola Taman Nasional Gunung Gede-Pangrango dan Yayasan Konservasi Internasional, serta Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah membiayai studi.

Daftar Pustaka

- Anam, R.A., Pamoengkas, P., Darwo, & Dewi, R. (2024). Struktur dan produktivitas tegakan hutan tanaman *Shorea mecistopteryx* di KHDTK Haurbentes, Kabupaten Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 2(1), 18–35.
- Biao, F., Yanbing, Q., & Qingrui, C. (2015). Impacts of revegetation management modes on soil properties and vegetation ecological restoration in degraded sandy grassland in farming-pastoral ecotone. *Biol Eng*, 8(1), 26–34.
- Crouzeilles, R., Ferreira, M.S., Chazdon, R.B., Lindenmayer, D.B., Jerônimo, B., Sansevero, B., Monteiro, L., Iribarrem, A., Agnieszka, E., Bernardo, L., & Strassburg, B.N. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science Advances*, 3.
- Gould, I.J., Quinton, J.N., Weigelt, A., De Deyn, G.B., & Bardgett, R.D. (2016). Plant diversity and root traits benefit physical properties key to soil function in grasslands. *Ecology Letters*, 19(9), 1140–1149.
- IPBES & IPCC. (2021). IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change. Workshop report. DOI:10.5281/zenodo.4782538
- Kenfack, D., Chuyong, G.B., Condit, R., Russo, S.E., & Thomas, D.W. (2014). Demographic variation and habitat specialization of tree species in a diverse Tropical Forest of Cameroon. *Forest Ecosystem*, 1(1), 1–13.
- Kusmana, C., & Susi, S. (2015). Komposisi dan struktur tegakan

- hutan alam di Hutan Pendidikan Gunung Walat, Sukabumi. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 5(3), 210–217.
- Kuswandi, R. (2017). Model pertumbuhan tegakan hutan alam bekas tebangan dengan sistem tebang pilih di Papua. *Jurnal Pemuliaan Hutan Tanaman*, 11(1), 45–55.
- Letcher, S.G., & Chazdon, R.L. (2009). Rapid recovery of biomass, species richness, and species composition in a forest chronosequence in Northeastern Costa Rica. *Biotropica*, 41(5), 608–617. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00517.x>
- Longo, M., Saatchi, S., Keller, M., Bowman, K., Ferraz, A., Moorcroft, P.R., Morton, D.C., Bonal, D., Brando, P., Burban, B., Derroire, G., dos-Santos, M.N., Meyer, V., Saleska, S., Trumbore, S., & Vincent, G. (2020). Impacts of degradation on water, energy, and carbon cycling of the Amazon tropical forests. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(8). <https://doi.org/10.1029/2020JG005677>
- Ludwig, J.A., & Reynolds, F. (1988). *Statistical ecology: A primer methods and computing*. John Wiley & Sons.
- Marjenah, P.M., Doto T.P., & Kiswanto, S. (2023). Perubahan struktur dan komposisi tegakan pada areal bekas tebangan sistem TPTI di Kalimantan Timur. *Jurnal Hutan Tropika*, 7(1), 20–32.
- Meiners, S., Marc, W., Cadotte, Jason, D., Fridley, Steward, T.A., Pickett, & Walker, L. R. (2015). Is successional research nearing its climax? New approaches for understanding dynamic communities. *Functional Ecology*, 29(2), 154–164.
- Mori, G.B., Schietti, J., Poorter, L., & Piedade, M.T.F. (2019). Trait divergence and habitat specialization in tropical floodplain forests trees. *PLoS ONE*, 14(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212232>
- Mueller-Dombois, & Ellenberg, H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley and Sons.
- Mulverhill, C., Coops, N.C., White, J.C., Tompalski, P., & Marshall, P.L. (2019). Structural development following stand-replacing disturbance in a boreal mixedwood forest. *Forest Ecology and Management*, 453, 117586. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117586>
- Ode, L., Salim, A., Kandari, A.M., Kasim, S., & Midi, O. (2021). Patterns and potential of people's forest cutting delay system in south konawe regency. *Indonesian Forestry Journal*, 2(1), 1–10.
- Perdirjen KSDAE. (2015). *Peraturan Direktorat Jenderal Konservasi Sumberdaya Alam dan Ekosistem Nomor.P.13/Ksdae-Set/2015*.
- Ricklefs, R.E., & He, F. (2016). Region effects influence local tree species diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(3), 674–679. <https://doi.org/10.1073/pnas.1523683113>
- Rosenbaum, E. (2017). Green growth-magic bullet or damp squib? *Sustainability*, 9(7), 1092. <https://doi.org/10.3390/su9071092>
- Ruiz-Jaen, M.C., & Mitchell-Aide, T. (2005). Restoration success: How Is It being measured? *Restoration Ecology*, 13(3), 569–577. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2005.00072.x>
- Rupšys, P., & Petrauskas, E. (2022). Modeling number of trees per hectare dynamics for uneven-aged, mixed-species stands using the copula approach. *Forests*, 14(1), 12. <https://doi.org/10.3390/f14010012>
- Santoro, A., & Piras, F. (2023). Natural forests or cultural forests? forest changes within Italian protected areas in the last 85 years. *Forests*, 14(5), 921. <https://doi.org/10.3390/f14050921>
- Saputra, N.E., Wibowo, C., Tarigan, S.D., & Lisnawati, Y. (2023). Kajian perubahan tutupan lahan terhadap karakteristik hidrologis di hutan penelitian Gunung Dahu. . . *Jurnal*

- Penelitian Hutan Tanaman*, 20(1).
- Schulte, R.P.O., Creamer, R.E., Donnellan, T., Farrelly, N., Fealy, R., O'Donoghue, C., & O'hUallachain, D. (2014). Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science & Policy*, 38, 45–58.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.002>
- Shuklina, E.S., & Voropay, N.N. (2020). Influence of vegetation cover on the temperature dynamics of sandy soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 012030.
- Solano, F., Praticò, S., Piovesan, G., Chiarucci, A., Argentieri, A., & Modica, G. (2021). Characterizing historical transformation trajectories of the forest landscape in Rome's metropolitan area (Italy) for effective planning of sustainability goals. *Land Degradation & Development*, 32(16), 4708–4726.
<https://doi.org/10.1002/ldr.4072>
- Sreelekshmi, S., Preethy, C.M., Varghese, R., Joseph, P., Asha, C.V., Bijoy Nandan, S., & Radhakrishnan, C.K. (2018). Diversity, stand structure, and zonation pattern of mangroves in southwest coast of India. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 11(4), 573–582.
<https://doi.org/10.1016/j.japb.2018.08.001>
- Yang, X., Yan, D., & Liu, C. (2014). Natural regeneration of trees in three types of afforested stands in the Taihang Mountains, China. *PLoS ONE*, 9(9), e108744.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108744>