



**FORUM GURU BESAR**  
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



# **Orasi ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung**



## **EKOLOGI HUTAN GUNUNG PAPANDAYAN: KONTRIBUSI UNTUK RESTORASI HUTAN**

**Profesor Endah Sulistyawati**  
Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati  
Institut Teknologi Bandung

**Aula Barat ITB**  
**14 Oktober 2023**



Orasi ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**EKOLOGI HUTAN GUNUNG**  
**PAPANDAYAN: KONTRIBUSI UNTUK**  
**RESTORASI HUTAN**



Orasi ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

# **EKOLOGI HUTAN GUNUNG PAPANDAYAN: KONTRIBUSI UNTUK RESTORASI HUTAN**

**Prof. Endah Sulistyawati**

14 Oktober 2023  
Aula Barat ITB



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin dari penerbit

*Orasi ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:*

***Ekologi Hutan Gunung Papandayan: Kontribusi untuk Restorasi Hutan***

Penulis : Prof. Endah Sulistyawati

Reviewer : Prof. Tati Suryati Syamsudin

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2023

ISBN : 978-623-297-333-6



© Gedung STP ITB, Lantai 1,  
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132

+62 22 20469057

www.itbpress.id

office@itbpress.id

Anggota Ikapi No. 043/JBA/92

APPTI No. 005.062.1.10.2018

# PRAKATA

Puji dan syukur kepada Allah Swt. atas limpahan rahmat, petunjuk dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Tak lama setelah aktif sebagai dosen di ITB, penulis terpesona pada Gunung Papandayan dan segera menyadari bahwa banyak sekali fenomena ekologi menarik yang bisa digali untuk pengembangan ilmu ekologi. Selama hampir 20 tahun, Gunung Papandayan telah menjadi laboratorium alam bagi penulis bersama puluhan mahasiswa. Selama itulah, perjalanan-perjalanan lapangan yang dilakukan telah memberikan berkesempatan untuk “membaca” dan “mencerna” beragam fenomena alam dari perspektif ekologi sehingga sangat mewarnai perjalanan intelektual penulis sejak awal karier sebagai dosen sampai mencapai jabatan akademik guru besar. Naskah orasi ilmiah ini menyajikan serangkaian hasil penelitian di bidang ekologi hutan yang telah dilakukan di Gunung Papandayan dan difokuskan pada aspek-aspek yang dapat digunakan sebagai pijakan dalam pengembangan strategi restorasi hutan di Indonesia.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada segenap kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar (FGB) atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyampaikan orasi ilmiah. Ucapan terima kasih juga dihatorkan kepada Prof. Tati S. Syamsudin atas masukan yang berharga untuk menyempurnaan naskah ini serta kepada Dika Puspita Sari, S.T., Musyarovah Zuhri, M.Si. dan Dr. Nuri N. Setiawan yang membantu menyiapkan naskah ini.

Semoga tulisan ini dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi para pembaca. Teriring pula doa dan harapan, semoga Allah Swt. senantiasa memberikan kesehatan dan kesempatan kepada penulis untuk terus menghasilkan karya-karya yang bermanfaat di masa depan.

Bandung, 14 Oktober 2023

Prof. Endah Sulistyawati



# SINOPSIS

Kerusakan hutan yang sangat luas di Indonesia dan berbagai dampaknya terhadap kehidupan manusia ataupun organisme lainnya, mengisyaratkan urgensi penghutanan kembali atau reforestasi dalam skala besar, yang tidak sekedar mengembalikan tutupan hutannya, namun juga memulihkan biodiversitasnya. Restorasi hutan, sebuah pendekatan reforestasi yang berorientasi pada pulihnya biodiversitas dan jasa ekosistem, perlu dikembangkan dan digunakan secara luas di Indonesia. Restorasi hutan sangat mengandalkan proses-proses alami meskipun pada kondisi tertentu memerlukan intervensi manusia. Oleh karena itu, pemahaman atas proses-proses ekologi kunci diperlukan untuk pengembangan restorasi hutan. Buku ini memberikan gambaran tentang mengapa restorasi hutan diperlukan dan proses-proses ekologi kunci yang menggerakkan, di antaranya ditunjukkan melalui hasil-hasil riset tim kami di hutan Gunung Papandayan. Selain itu, metode-metode restorasi hutan yang tersedia serta peluang dan tantangan yang dihadapi dalam penerapannya di Indonesia juga dibahas.



# DAFTAR ISI

<b>PRAKATA</b> .....	<b>v</b>
<b>SINOPSIS</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Hutan dan Fungsinya .....	1
1.2 Deforestasi dan Dampaknya .....	2
<b>2. RESTORASI HUTAN</b> .....	<b>5</b>
2.1 Regenerasi Alami ( <i>Natural Regeneration</i> ).....	7
2.2 Regenerasi Alami Terbantu ( <i>Assisted Natural Regeneration</i> ) .....	11
2.3 Metode Spesies Kerangka ( <i>Framework Species Method</i> ).....	12
2.4 Metode Diversitas Maksimum ( <i>Maximum Diversity Methods</i> ).....	15
<b>3. HUTAN GUNUNG PAPANDAYAN</b> .....	<b>17</b>
3.1 Kondisi Umum.....	17
3.2 Gangguan .....	20
3.3 Biodiversitas Tumbuhan .....	23
3.4 Proses-Proses dalam Regenerasi Hutan.....	26
3.5 Kajian Dinamika Hutan Berbasis Plot Sampel Permanen .....	40
3.6 <i>Lesson Learnt</i> dari Gunung Papandayan untuk Restorasi Hutan .....	45
<b>4. TANTANGAN DAN PELUANG RESTORASI HUTAN DI DI INDONESIA</b> .....	<b>50</b>
<b>5. PENUTUP</b> .....	<b>54</b>
<b>6. UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>55</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>57</b>
<b>CURRICULUM VITAE</b> .....	<b>65</b>



# DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b>	Perkembangan deforestasi di Indonesia (1990-2021) (Sumber: KLHK 2021). .....	3
<b>Gambar 2</b>	Skema berbagai metode restorasi hutan yang diurutkan berdasarkan tingkat degradasi, level intervensi manusia dan kebutuhan biayanya (Sumber: Elliot dkk., 2022). .....	7
<b>Gambar 3</b>	Proses dalam kolonisasi suatu tapak (kotak dengan garis solid) dan faktor-faktor yang memengaruhinya (kotak dengan garis putus-putus) (Dimodifikasi dari Holl, 2020).....	9
<b>Gambar 4</b>	Peta tutupan lahan tahun 2018 (Dimodifikasi dari Satriawan dkk., 2019) ....	19
<b>Gambar 5</b>	Kerusakan vegetasi akibat letusan Gunung Papandayan tahun 2002, didokumentasikan pada tahun 2004 atau dua tahun setelah letusan (Dok: Rifki Sungkar).....	21
<b>Gambar 6</b>	Vegetasi utama Gunung Papandayan (a) hutan campuran; (b) vegetasi kawah; (c) padang rumput; dan (d) semak belukar. (Dok: Rifki Sungkar (a & c); Mahendra Primajati (b); R.I. Wetadewi (d)).....	25
<b>Gambar 7</b>	Visualisasi daftar spesies pohon yang terdapat di Gunung Papandayan.....	26
<b>Gambar 8</b>	(a) Cakupan survei pengamatan fenologi di Gunung Papandayan dan (b) jumlah spesies berbunga dan berbuah pada Agustus 2009 - Juli 2010 (Sumber: Sulistyawati dkk., 2012).....	27
<b>Gambar 9</b>	Lokasi penelitian curahan biji (A) dan penelitian lain terkait regenerasi hutan (B, C & D).....	29
<b>Gambar 10</b>	Kelimpahan spesies biji yang terkoleksi dalam perangkap biji berdasarkan jarak ke batas hutan (Sumber: Setiawan & Sulistyawati, 2021). .....	30
<b>Gambar 11</b>	Pola kelulushidupan dari delapan spesies pohon selama delapan bulan penelitian (Sumber: Setiawan (2010). Sebagai catatan, selama penelitian telah terjadi pemotongan anakan yang tidak sengaja dilakukan oleh para pencari rumput untuk pakan ternak, yang mengakibatkan tereduksinya 27% jumlah anakan. Situasi ini dicoba diatasi dalam analisis data menggunakan pendekatan probabilitas <i>life table</i> dan uji Cochran-Mantel-Haenszel (Fothofer dkk., 2007). .....	33
<b>Gambar 12</b>	Skema plot penelitian pada tiga kondisi vegetasi berbeda (Sumber: Wetadewi & Sulistyawati, 2015).....	35

<b>Gambar 13</b>	Tapak-tapak di padang rumput Tegal Panjang dengan umur yang berbeda-beda yaitu 6 bulan, 1 tahun, 2 tahun, 5 tahun dan lebih dari 10 tahun (Sumber: Sulistyawati & Fitriana, 2017).....	37
<b>Gambar 14</b>	Biomassa dan fisiognomi tumbuhan di Gunung Papandayan: (A) biomassa tegakan dan (B) tinggi tegakan <i>Imperata cylindrica</i> di seluruh tapak pengambilan sampel (Sumber: Sulistyawati & Fitriana, 2017) .....	38
<b>Gambar 15</b>	Indeks nilai penting ( <i>important value index/IVI</i> ). Di setiap tapak, hanya empat spesies dengan IVI tertinggi yang dicantumkan, sementara spesies lainnya dikategorikan dalam ‘ <i>other species</i> ’ atau spesies lainnya (Sumber: Sulistyawati & Fitriana, 2017). .....	39
<b>Gambar 16</b>	Struktur tegakan pohon plot permanen seluas 1 hektar di Gunung Papandayan: kerapatan pohon (batang/ha) berdasarkan kelas ukuran diameter yang diukur pada tahun (a) 2011 dan (b) 2015; serta luas area basal (m <sup>2</sup> ) berdasarkan kelas ukuran diameter yang diukur pada tahun (c) 2011 dan (d) 2015 (Sumber: Sulistyawati dkk., 2022).....	42
<b>Gambar 17</b>	Kerapatan pohon per hektar berdasarkan tiga klasifikasi kerapatan kayu dari spesiesnya (Melo dkk., 1990), yaitu: ringan (<0,5 g/cm <sup>3</sup> ), medium (0,5-0,72 g/cm <sup>3</sup> ), berat (>0,72 g/cm <sup>3</sup> ) (Sumber: Sulistyawati dkk., 2022). .....	42
<b>Gambar 18</b>	Frekuensi, rata-rata, dan regresi logistik pertumbuhan diameter tahunan ( $\pm$ standar error dari rata-rata) dari enam spesies pohon dengan ukuran diameter berbeda selama 2011-2015. Spesies dipilih berdasarkan kelimpahannya yang tinggi dan terdiri dari setidaknya lima kelas ukuran diameter (Sumber: Sulistyawati dkk., 2022).....	44
<b>Gambar 19</b>	Jumlah spesies pohon yang ditemukan di berbagai lokasi hutan di Kalimantan dan yang pernah digunakan dalam kegiatan penanaman pohon di Kalimantan (Sumber: Sari, 2023).....	52

# DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b>	Luas tutupan lahan di Indonesia tahun 2020. ....	3
<b>Tabel 2</b>	Rangkuman jumlah spesies pohon, perdu, dan herba yang pernah ditemukan di Gunung Papandayan.....	25
<b>Tabel 3</b>	Perkecambahan dari tujuh spesies pohon asli selama tujuh bulan penelitian (sumber: Setiawan, 2010). ....	32
<b>Tabel 4</b>	Spesies dominan dalam berbagai kelas ukuran diameter pada dua tahun pemantauan yang berbeda (2011&2015) berdasarkan Indeks Nilai Penting (IVI) (Sumber: Sulistyawati dkk., 2022) .....	43



# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Hutan dan Fungsinya

Indonesia terletak di wilayah dengan iklim tropika yang memiliki suhu yang hangat dan curah hujan yang melimpah, sehingga bioma hutan hujan tropika terbentuk (Miller & Spoolmen, 2017). Di antara karakteristik terpenting dari hutan hujan tropika adalah tingginya biodiversitas serta produktivitas biologinya dibandingkan dengan hutan di zona iklim lainnya (Montagnini & Jordan, 2005). Indonesia merupakan salah satu lokasi hutan hujan tropika dunia yang saat ini terkonsertasi di wilayah Asia Tenggara, Amerika Selatan (Amazon basin) dan Afrika Tengah (Congo River Basin) (Corlett & Primack, 2011).

Hutan hujan tropika dikenal sebagai *global biodiversity hotspots*, yang merupakan habitat bagi 50% spesies penghuni daratan dan dua pertiga seluruh spesies tumbuhan (Dirzo & Raven, 2003). Selain menyediakan habitat bagi biodiversitas, hutan hujan tropika juga berperan penting sebagai penyedia berbagai jasa ekosistem yang mendukung kehidupan manusia, di antaranya (1) meregulasi pola iklim global dan cuaca, terutama curah hujan dan temperatur; (2) meregulasi tata air untuk menjamin ketersediaan air bersih dan menjaga kualitas air yang mengalir ke sungai dan laut; (3) mengurangi risiko bencana alam karena erosi, tanah longsor dan banjir serta proteksi kawasan pesisir terhadap badai, gelombang pasang dan tsunami; (4) menyediakan material seperti kayu bangunan, kayu bakar, resin, bahan pangan serta berperan dalam menjaga ketahanan pangan sebagai penyedia hewan-hewan yang berperan sebagai polinator dan pengontrol hama; (5) menopang kesehatan manusia melalui penyediaan berbagai tumbuhan obat tradisional maupun sumber bahan obat baru, perlindungan secara langsung maupun tidak langsung terhadap beberapa jenis penyakit menular seperti malaria (Montagnini dan Jordan, 2005; Pattanayak dkk., 2010; Brandon, 2014).

Hutan juga memiliki kontribusi penting dalam mitigasi perubahan iklim sebab hutan memiliki kapasitas yang besar dalam menyerap karbon di atmosfer dan menyimpannya. Hutan hujan tropika memiliki kapasitas penyimpanan cadangan karbon global terbesar, yaitu mencapai 428 Gt karbon dan paling banyak tersimpan di vegetasi (Meister dkk., 2012). Namun demikian terjadi

penurunan yang signifikan atas fungsi hutan hujan tropika sebagai gudang karbon global akibat deforestasi (Montagnini dan Jordan, 2005).

## 1.2 Deforestasi dan Dampaknya

Data dari Global Forest Resource Assessment 2020 menunjukkan bahwa saat ini dunia memiliki 4,06 miliar ha hutan atau 31% dari total daratan; 45 % di antaranya berada di wilayah tropika. Indonesia termasuk ke dalam 10 negara dengan hutan terluas di dunia dengan luas hutan sebesar 92,1 juta ha atau dua persen dari total luas hutan global (FAO, 2020). Dalam perjalanan waktu, hutan tropika secara global mengalami konversi menjadi non-hutan (*deforestasi/deforestation*) dan penurunan kualitas hutan (*forest degradation*) dari masa ke masa. Pada akhir abad 20, khususnya pada periode 1990-1997, dunia kehilangan  $5,8 \pm 1,4$  juta ha hutan tropika per tahunnya serta  $2,3 \pm 0,7$  juta ha hutan per tahun mengalami penurunan kualitas hutan (Achard dkk., 2002). Sampai awal abad 21, deforestasi secara global masih terjadi secara masif meski lajunya berkurang (FAO, 2020). Kajian dari Hansen dkk. (2013) menunjukkan bahwa deforestasi pada hutan hujan tropika menyusun 32% dari deforestasi global pada periode 2000 – 2012.

Di Indonesia, dari 187,75 juta ha luas daratan, 64% di antaranya atau sekitar 120,26 juta ha ditetapkan sebagai Kawasan Hutan, yaitu wilayah tertentu yang ditetapkan oleh pemerintah untuk dipertahankan keberadaannya sebagai hutan tetap (Tabel 1). Karena berbagai sebab, tidak seluruh lahan di dalam Kawasan Hutan memiliki tutupan lahan hutan. Sebaliknya, tutupan lahan hutan juga dijumpai pada area di luar Kawasan Hutan, atau dikenal dengan area penggunaan lain (APL). Data KLHK (2022) menunjukkan bahwa luas lahan dengan tutupan hutan pada tahun 2020 adalah 95,56 juta ha atau 50,9% dari luas daratan Indonesia. Lahan berhutan tersebut terletak di Kawasan Hutan maupun di APL. Sebagai catatan, pada Kawasan Hutan terdapat terdapat 31,85 juta ha lahan dengan tutupan lahan bukan hutan.

Deforestasi menyebabkan tutupan lahan hutan Indonesia berkurang dari waktu ke waktu. Indonesia pernah mengalami laju deforestasi yang sangat tinggi, yaitu 3,51 juta ha per tahun pada periode 1996-2000 (Gambar 1). Setelah itu, pada periode 2000–2019 laju deforestasi mengalami penurunan dan berada dalam kisaran 1,09 juta – 0,44 juta ha per tahun. Data terkini, laju deforestasi pada periode 2020-2021 adalah 0,12 juta ha per tahun (KLHK, 2022).

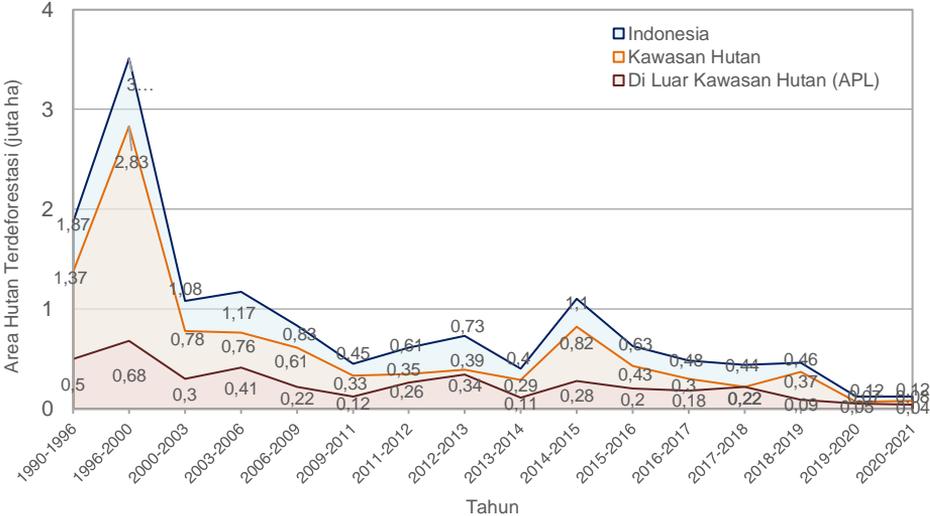
Deforestasi di Indonesia terjadi baik di dalam Kawasan Hutan maupun non-hutan (APL). Inilah salah satu penyebab mengapa terdapat tutupan lahan bukan hutan di dalam Kawasan Hutan. Dalam perjalanan waktu, sebenarnya terdapat juga penambahan tutupan lahan hutan yang bersumber dari pemulihan alami hutan (*natural regrowth*) dan kegiatan penghutanan kembali (reforestasi) termasuk penanaman pada hutan tanaman industri serta berbagai program rehabilitasi hutan, baik yang merupakan program pemerintah pusat/daerah maupun yang diinisiasi oleh berbagai kelompok masyarakat. Namun demikian, upaya rehabilitasi hutan saat ini masih belum mampu mengembalikan keseluruhan tutupan lahan hutan di Indonesia.

Tabel 1 Luas tutupan lahan di Indonesia tahun 2020.

No	Tutupan Lahan	Area Hutan (Juta hektar)						Area Non-Hutan (APL)	Total	%	
		Hutan Permanen					HPK				
		HK	HL	HPT	HP	Total					
I	Hutan	17,49	24,16	21,75	18,59	81,99	6,42	88,41	7,15	95,56	50,90
	A. Hutan Primer	12,56	16,10	9,76	4,57	42,99	2,53	45,52	1,48	47,00	25,03
	B. Hutan Sekunder	4,82	7,79	11,58	10,06	34,25	3,85	38,10	5,02	43,12	22,95
	C. Hutan Tanaman	0,11	0,28	0,41	3,96	4,76	0,04	4,80	0,65	5,45	2,90
II	Non-Hutan	4,39	5,40	5,05	10,64	25,48	6,37	31,85	60,34	92,19	49,10
	Total	21,87	29,56	28,80	29,23	107,47	12,79	120,26	67,49	187,75	100,00

Sumber: KLHK, 2021

Keterangan: HK = Hutan Konservasi, HL = Hutan Lindung, HPT = Hutan Produksi Terbatas, HP = Hutan Produksi yang dapat Dikonservasi, Areal Penggunaan Lain.



Gambar 1 Perkembangan deforestasi di Indonesia (1990-2021) (Sumber: KLHK 2021).

Faktor antropogenik sangat berperan dalam memicu terjadinya deforestasi. Geist dan Lambin (2002) mengelompokkan penyebab langsung (*proximate causes*) menjadi beberapa klaster, yaitu pengembangan infrastruktur (transportasi, pasar, pemukiman, fasilitas publik dan penguasaan perusahaan), perluasan pertanian (pertanian tetap, perladangan berpindah, pengembalaan ternak, kolonisasi & transmigrasi), pemanenan kayu (pengusahaan skala komersial, kayu bakar, produksi arang) dan faktor-faktor lain yang di antaranya terkait dengan fenomena bencana (mis. kebakaran, kekeringan). Di antara berbagai penyebab tersebut, perluasan pertanian merupakan penyebab yang dominan (Geist dan Lambin, 2002; FAO, 2020; Seydewitz dkk., 2023).

Dampak deforestasi yang terbesar adalah hilangnya keanekaragaman hayati yang dapat menyebabkan kepunahan jenis. Selain itu, deforestasi di kawasan tropika berdampak terhadap kondisi iklim yang menjadi lebih ekstrim, kerusakan kimia dan fisika tanah, dan terganggunya keseimbangan hidrologi. Deforestasi yang terjadi secara besar-besaran akan mengubah neraca air di atmosfer, memengaruhi pola cuaca, dan berkontribusi terhadap pemanasan atmosfer melalui penambahan karbon dioksida dari pembakaran dan dekomposisi biomassa (Whitmore dan Sayer, 1992).

Kajian yang dilakukan di Taman Nasional Leuser, Aceh menunjukkan bahwa deforestasi dapat menyebabkan penurunan fungsi ekologi dan jasa ekosistem berupa (1) meningkatnya kejadian banjir dan kekeringan; (2) meningkatnya erosi; (3) penurunan pengendalian hama dan polinasi; serta (4) penurunan luasan hutan primer dan sekunder. Untuk menunjukkan nilai kerugian akibat deforestasi apabila *total economic value/ TEV* dari ekosistem diperhitungkan, kajian ini membuat simulasi dua skenario pengelolaan. Pada skenario “deforestasi”, diperkirakan nilai ekonomi total (*total economic value/ TEV*) dari ekosistem Leuser sebesar 7 miliar USD. Nilai ini lebih rendah dari TEV pada skenario “konservasi hutan” dan “skenario pemanfaatan selektif” yaitu berturut-turut 9,5 miliar USD dan 9,1 miliar USD (van Beukering dkk., 2003).

## 2. RESTORASI HUTAN

Konservasi dan pengelolaan yang baik terhadap hutan yang tersisa sangatlah penting untuk mencegah semakin berkurangnya hutan. Namun, mengingat besarnya skala kerusakan hutan yang telah terjadi, pendekatan konservasi dan pengelolaan hutan saja tidak akan mencukupi untuk menjamin keberlanjutan fungsi ekosistem hutan dalam menjaga kelestarian biodiversitas, memitigasi perubahan iklim dan menghasilkan berbagai jasa ekosistem dalam jangka panjang (Bullock dkk., 2011; Chazdon, 2014), sehingga restorasi hutan dalam skala besar merupakan langkah penting yang harus ditempuh (Chazdon & Guariguata, 2016; FAO, 2020). Urgensi dari restorasi hutan secara meluas dapat dilihat dari penetapan pada Sidang Majelis Umum Persatuan Bangsa Bangsa pada tanggal 1 Maret 2019 bahwa tahun 2021–2030 dinyatakan sebagai “*United Nations Decade on Ecosystem Restoration*”.

Dalam konteks pemulihan hutan, pengertian restorasi sangat beragam (Holl, 2020), tetapi yang saat ini secara meluas dirujuk adalah restorasi ekologis (*ecological restoration*) sebagaimana didefinisikan oleh Society for Ecological Restoration (SER) International Science & Policy Working Group (2004), yaitu: “*the process of assisting the recovery of an ecosystem that has been degraded, damaged, or destroyed*”. Dalam pengertian restorasi ekologis, ekosistem yang terpulihkan (*restored ecosystem*) memiliki beberapa ciri penting (*key attributes*) di antaranya berisi susunan spesies (komunitas) yang merupakan karakteristik dari ekosistem referensi, mengandung komponen spesies asli (*indigenous species*) semaksimal yang dimungkinkan secara praktis, memiliki kondisi lingkungan yang mampu mendukung keberlangsungan reproduksi populasi sehingga menjamin kestabilan spesies dan dapat memfasilitasi perkembangan komunitas sesuai dengan lintasan (*trajectory*) yang diinginkan, memiliki cukup resiliensi menghadapi kondisi cekaman lingkungan dalam kisaran normal untuk mempertahankan integritas ekosistem (SER, 2004).

Restorasi ekologis merupakan suatu aktivitas yang memerlukan waktu yang lama untuk mencapai bentuk ekosistem yang ditargetkan. Perkembangan komunitas diharapkan melalui lintasan (*trajectory*) menuju kondisi di mana komposisi komunitas, struktur ekosistem dan proses-proses ekosistem menyerupai (*closely resemble*), secara penuh atau sebagian,

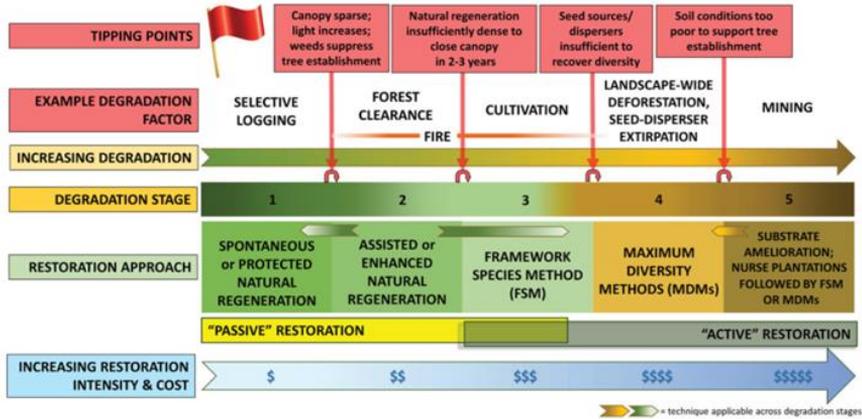
ekosistem referensi (SER, 2004, Gan dkk., 2019). Ekosistem referensi dapat diartikan sebagai area yang memiliki struktur dan fungsi yang sebanding (*comparable*) dengan kondisi pada lokasi target sebelum mengalami kerusakan (Goosem & Tucker, 2013). Dalam konteks restorasi hutan tropika, menurut Elliot dkk. (2013), secara praktis ekosistem referensi dapat menggunakan hutan alami tersisa (*forest remnants*), yang diperkirakan memiliki kesamaan tipe hutan (dalam kondisi klimaks) dengan kondisi lokasi target sebelum mengalami kerusakan. Dalam buku ini, pengertian restorasi ekologis akan diaplikasikan dalam konteks pemulihan hutan dan untuk selanjutnya istilah yang digunakan adalah restorasi hutan.

Restorasi hutan, ditujukan untuk memulihkan tidak hanya tegakan pohon, namun juga biodiversitasnya. Jadi, tegakan hutan yang dibangun dari kegiatan restorasi hutan diharapkan memiliki spesies pohon yang beragam; ini adalah tantangan yang sangat besar, mengingat tingginya diversitas pohon di hutan tropika. Sebagai gambaran, ditemukan sejumlah 174 spesies pohon pada area 0,75 ha di hutan primer Barito Ulu, Kalimantan Tengah (Brearley dkk., 2004).

Berbagai pendekatan atau metode restorasi hutan telah dikembangkan oleh para ahli. Elliot dkk. (2022) meletakkan berbagai metode restorasi hutan yang ada dalam sebuah skema umum berdasarkan level intervensi sesuai dengan tingkat degradasi lahannya dengan urutan: (1) *spontaneous/protected natural regeneration*, (2) *assisted natural regeneration (ANR)*/regenerasi alami terbantu, (3) *framework species method (FSM)*/metode spesies kerangka, (4) *maximum diversity methods (MDMs)*/metode biodiversitas maksimum, dan (5) *substrate amelioration; nurse plantation*; diikuti oleh FSM/MDMs. Bertambahnya tingkat intervensi pada urutan ini juga menggambarkan semakin tingginya biaya restorasi (Gambar 2).

Seluruh metode restorasi hutan yang disajikan pada Gambar 2 bergantung kepada proses regenerasi alami (*natural regeneration*); yang membedakan adalah level intervensi oleh manusia. Level intervensi dapat dikonsepsikan sebagai sebuah continuum yang berkisar dari sangat rendah (“restorasi pasif”) sampai yang sangat tinggi (“restorasi aktif”). Restorasi pasif bergantung sepenuhnya kepada regenerasi alami, sedangkan pada restorasi aktif terdapat intervensi manusia dalam berbagai intensitas dan bentuk. Pada bagian selanjutnya, proses kunci yang mendasari semua metode restorasi hutan,

yaitu regenerasi alami akan dijelaskan dan dilanjutkan dengan gambaran beberapa metode "restorasi aktif" yaitu regenerasi alami terbantu (*assisted natural regeneration, ANR*), metode spesies kerangka (*framework species method*) dan metode biodiversitas maksimum (*maximum diversity methods*).



**Gambar 2** Skema berbagai metode restorasi hutan yang diurutkan berdasarkan tingkat degradasi, level intervensi manusia dan kebutuhan biayanya (Sumber: Elliot dkk., 2022).

## 2.1 Regenerasi Alami (*Natural Regeneration*)

Pada dasarnya ekosistem hutan memiliki kemampuan untuk memulihkan dirinya setelah mengalami gangguan, seperti yang digambarkan oleh Elliot dkk. (2013):

*“Nature has a remarkable capacity, if given half a chance, to recover and renew herself”.*

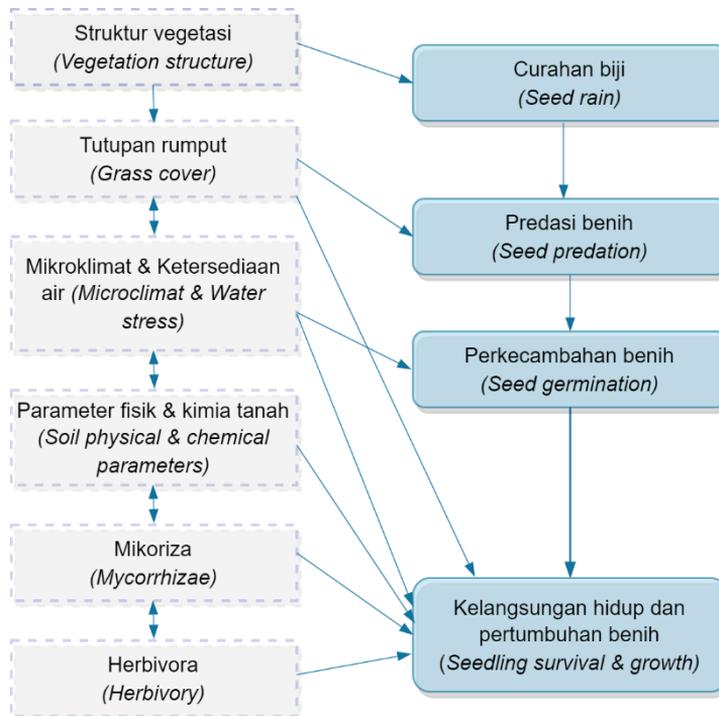
Pasca-terjadinya gangguan (*disturbance*), baik karena penyebab alami (*natural*) maupun dipicu oleh manusia (*human-caused*), suatu ekosistem akan mengalami perubahan kondisi lingkungan abiotik, komposisi komunitas dan fungsi ekosistem secara gradual dalam proses yang dikenal sebagai suksesi ekologis (*ecological succession*) (Holl, 2020). Proses suksesi memfasilitasi terjadinya regenerasi alami (*natural regeneration*) yang merupakan cara alam untuk memulihkan dirinya setelah mengalami gangguan, sehingga regenerasi alami merupakan komponen utama dari restorasi hutan (Chazdon, 2017).

Regenerasi alami merupakan proses suksesi jangka panjang yang berlangsung dalam tahapan-tahapan yang ditentukan oleh karakteristik struktur vegetasi, komposisi spesies dan atribut fungsional (Walker dkk.,

2007; Chazdon, 2014). Tahap awal dari regenerasi alami adalah kolonisasi tapak oleh spesies tumbuhan melalui biji yang bersumber dari bank biji (*seed bank*) di tanah ataupun hasil pemencaran biji (*seed dispersal*) (Guariguata & Ostertag, 2001). Biji terpecah dari pohon induknya ke lokasi lain melalui beberapa modus pemencaran (*dispersal modes*), di antaranya terbawa angin, air (di badan perairan) ataupun satwa. Biji yang tiba di suatu lokasi melalui berbagai modus pemencaran itu akan menyusun curahan biji (*seed rain*) di lokasi tersebut. Selanjutnya, biji yang terpecah di suatu lokasi dapat mengalami beberapa nasib: dimakan oleh hewan (*seed predation*), berkecambah (*germinated*), busuk, atau menjadi bagian dari bank biji (*seed bank*) di tanah.

Biji di tanah akan berkecambah saat serangkaian kondisi lingkungan mikro yang memicu perkecambahan terbentuk (Baskin dan Baskin, 2014). Germinasi biji merupakan tahap awal dari kehadiran anakan pohon (*tree seedling establishment*) pada suatu tapak. Kelulushidupan anakan pohon (*seedling survival*) yang muncul selanjutnya akan bergantung apakah individu tersebut dapat memperoleh sumberdaya yang dibutuhkan untuk tumbuh (di antaranya cahaya, air dan nutrien) dalam suasana kompetisi dengan tumbuhan lain (rumput-rumputan/perdu) dan terhindar dari dimakan oleh hewan (herbivor). Ringkasan rangkaian kejadian utama dalam kolonisasi suatu tapak melalui biji dan faktor-faktor yang memengaruhinya disajikan dalam Gambar 3. Selain melalui biji, kolonisasi di tapak terganggu juga dapat terjadi melalui *resprouting* (trubusan) dari sisa pohon yang tumbang atau ditebang (tunggul pohon).

Di tahap kolonisasi, waktu (*timing*) dispersal biji dari luar tapak, ketersediaan biji di tanah (*seed bank*) dan trubusan (*resprouts*) serta kondisi tapak (fisika-kimia-biologis), merupakan faktor pengontrol terpenting (Guariguata & Ostertag, 2001). Pada tahap ini, konteks spasial, yaitu kondisi vegetasi di sekitar tapak sangat berpengaruh karena perannya sebagai sumber biji (*seed sources*). Tapak yang lebih dekat dengan hutan akan memiliki peluang mendapat curahan biji yang lebih besar dibandingkan tapak yang jauh. Selain itu, terbatasnya satwa pemencar di kawasan juga merupakan faktor yang membatasi kolonisasi (Holl, 2020). Gangguan yang berulang pada tapak, misalnya kebakaran berulang, dapat menghabiskan bank biji di tanah yang juga berdampak pada rendahnya kolonisasi tapak.



**Gambar 3** Proses dalam kolonisasi suatu tapak (kotak dengan garis solid) dan faktor-faktor yang memengaruhinya (kotak dengan garis putus-putus) (Dimodifikasi dari Holl, 2020).

Pada tahap selanjutnya dari suksesi, **kemampuan bersaing** (*competitive ability*) dan toleransi terhadap kondisi lingkungan lebih berperan dalam menentukan pola pergantian spesies selama proses suksesi berlangsung (Guariguata & Ostertag, 2001). Karakteristika spesies (seperti laju pertumbuhan spesifik, umur maksimum, ukuran maksimum, dan tingkat toleransi terhadap naungan) akan berinteraksi dengan perubahan lingkungan endogen yang terjadi selama suksesi untuk menentukan individu pemenang dalam persaingan memperebutkan sumber daya (cahaya, air, dan nutrien) di tapak. Individu “pemenang” dalam persaingan ini akan tumbuh (bertambah biomasnya) dan mempertahankan posisinya sebagai anggota komunitas vegetasi, sedangkan individu yang “kalah” akan tertekan pertumbuhannya dan dapat berujung pada kematian yang membuat individu tersebut “menghilang” dari susunan komunitas vegetasi. Dinamika vegetasi, sejak kolonisasi oleh biji, kehadiran anakan pohon melalui germinasi, persaingan antar individu, pertumbuhan dan kematian individu, dalam kondisi curahan biji secara terus menerus yang bersumber dari dalam tapak atau sekitarnya, secara berangsur-angsur akan membuat komunitas vegetasi berkembang

dalam hal biomassa, struktur tegakan dan komposisi spesies penyusunnya. Secara keseluruhan, rangkaian kejadian tersebut menggambarkan proses **perakitan komunitas** (*community assembly*).

Dalam kondisi yang mendukung, proses suksesi akan memfasilitasi regenerasi hutan yang terganggu melalui proses kolonisasi dan perakitan spesies, sehingga **secara berangsur-angsur terjadi pemulihan** struktur, fungsi dan komposisi dari ekosistem sebelum terganggu (*pre-disturbed ecosystem*) (Chazdon & Guariguata, 2016). Perubahan vegetasi selama proses suksesi akan diikuti dengan perubahan lingkungan (cahaya dan tanah), organisme tanah serta pendauran nutrien. Spesies satwa liar melacak perubahan lingkungan ini dan mengkolonisasi kembali hutan yang beregenerasi saat habitat yang sesuai berkembang dan makanan serta sumber daya lainnya tersedia. Selain itu, ketika hutan tumbuh tinggi dan stratifikasi hutan terbentuk, semakin banyak relung makan berkembang, sehingga berkontribusi terhadap tingginya keanekaragaman spesies yang ditemukan di hutan (Tucker & Simmons, 2009). Melalui proses tersebut, kekayaan spesies (*species richness*) penyusun komunitas secara berangsur-angsur akan meningkat.

Namun demikian, karakteristik dan kecepatan regenerasi hutan secara alami/tanpa bantuan (*unassisted forest regeneration*) sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim, tanah, ulangan gangguan (*repeated disturbances*), penggunaan lahan sebelumnya, vegetasi sekitarnya dan ketersediaan spesies dalam wilayah (*regional species pool*) (Chazdon, 2014). Gambaran kecepatan pemulihan kekayaan spesies dan komposisi vegetasi selama regenerasi hutan secara alami (*unassisted*) yang dirangkum oleh Guariguata & Ostertag (2001) dari berbagai studi di kawasan neotropis adalah sebagai berikut. Apabila intensitas penggunaan-sebelumnya ringan-sedang dan lahan terletak dekat dengan sumber biji spesies berkayu, kekayaan spesies akan meningkat secara cepat pada beberapa tahun pertama suksesi dan hanya perlu waktu beberapa dekade untuk mencapai nilai yang setara dengan hutan tua (*old-growth forest*). Namun apabila intensitas penggunaan-sebelumnya lebih tinggi, pemulihan kekayaan spesies akan lebih lambat karena terjadinya pemadatan tanah, keterbatasan pemencaran biji dan terjadinya kebakaran.

Atas tersedianya proses alami melalui suksesi ekologis ini, Chazdon & Guariguata (2016) berargumen bahwa regenerasi alami adalah metode yang

paling murah dan efektif secara ekologi untuk memulihkan hutan dalam skala besar apabila dua set kondisi lingkungan terpenuhi. Pertama adalah ketersediaan sumber daya lokal yang tinggi (misalnya kandungan nutrisi, kelembaban dan komunitas mikroba tanah) dan kedua adalah ketersediaan propagul (biji dan trubusan). Oleh karena itu, kedekatan tapak ke hutan eksisting (sebagai sumber biji), tingkat kerusakan tanah yang rendah dan tersedianya hewan penyebar biji adalah faktor penting. Apabila kedua kondisi ini terpenuhi, maka regenerasi alami akan bergantung pada penghentian penggunaan lahan eksisting, misalnya untuk pertanian, dan pencegahan terjadinya gangguan (kebakaran atau penggembalaan) yang menghambat kolonisasi dan pembentukan hutan. Saat proses regenerasi alami dapat berlangsung tanpa gangguan, restorasi hutan dapat berlangsung tanpa intervensi manusia, sehingga biayanya rendah (Gambar 2). Namun, apabila kedua tersebut tidak terpenuhi, maka restorasi hutan tidak bisa bergantung pada regenerasi alami saja, namun perlu intervensi manusia untuk mengakselerasi regenerasi hutan (Chazdon & Guariguata, 2016).

## 2.2 Regenerasi Alami Terbantu (*Assisted Natural Regeneration*)

Regenerasi Alami Terbantu (*Assisted Natural Regeneration* - ANR) adalah salah satu metode restorasi aktif berupa serangkaian kegiatan, **selain penanaman pohon**, untuk **mempercepat** proses regenerasi alami hutan. Mengikuti panduan dari Elliot dkk. (2013), ANR terdiri dari tiga kelompok tindakan utama. Pertama adalah perlindungan tapak (*site protection*) dari perambahan (*encroachment*) serta menghilangkan hambatan regenerasi alami. Regenerasi alami dapat terhambat karena gangguan kebakaran, sehingga untuk melindungi lokasi restorasi diperlukan program-program pencegahan, deteksi kebakaran dan pemadaman kebakaran yang melibatkan masyarakat lokal. Regenerasi alami juga dapat terhambat oleh aktivitas ternak di lokasi restorasi yang dapat memakan anakan atau pohon muda, sehingga diperlukan strategi pengelolaan ternak seperti membatasi jumlah atau bahkan mencegah ternak masuk ke lokasi restorasi (Elliot dkk., 2013).

Kedua adalah “membantu” atau “mempercepat” pertumbuhan regenerasi (semai, pancang, trubusan spesies pohon asli) yang sudah ada di tapak. Hal ini dapat dilakukan dengan mengurangi kompetisi anakan dari gulma sehingga meningkatkan kelulushidupan dan mempercepat pertumbuhannya

melalui berbagai teknik penyiangan (*weeding*) termasuk *ring weeding* dan *grass pressing*. Pemberian pupuk untuk anakan juga dapat meningkatkan kelulushidupan, mempercepat pertumbuhan dan pembentukan tajuk, sehingga tajuk tegakan lebih cepat menutup dan gulma akan lebih cepat “kalah” karena ternaung (Elliot dkk., 2013).

Ketiga adalah mendorong penyebaran biji (*seed dispersal*) ke tapak restorasi. Hal ini dapat dilakukan salah satunya dengan membuat tempat bertengger burung buatan (*artificial bird perches*) di lokasi restorasi. Tempat bertengger buatan ini diharapkan dapat menarik burung untuk singgah ke lokasi. Saat bertengger, burung akan menjatuhkan biji, baik yang tersisa dari buah yang dimakan ataupun yang menjadi bagian dari feses yang diekskresikan burung, sehingga meningkatkan curahan biji (*seed rain*) di tapak restorasi (Holl dkk., 2000; Elliot dkk., 2013).

Dengan menggunakan metode ANR, hutan sekunder dan terdegradasi diharapkan tumbuh lebih cepat daripada secara alami. Selain itu, metode ini membutuhkan lebih sedikit tenaga kerja karena tidak melibatkan biaya untuk pembibitan dan penanaman pohon, sehingga bisa menjadi cara berbiaya rendah untuk memulihkan ekosistem hutan (Elliot dkk., 2013; FAO, 2019).

Metode ANR sesuai untuk digunakan pada hutan sekunder atau terdegradasi yang masih memiliki cukup regenerasi (semai, pancang atau trubusan), masih terdapat cukup banyak spesies pohon tipikal hutan klimaks yang menjadi target atau referensi. Selain itu tapak hutan harus berada dalam jarak cukup dekat (beberapa kilometer) dengan hutan utuh sebagai sumber biji terutama untuk kelompok yang biasanya muncul di tahap akhir suksesi (spesies klimaks) serta binatang pemencar biji masih banyak dijumpai (Elliot dkk., 2013; Goosem & Tucker 2013).

### **2.3 Metode Spesies Kerangka (*Framework Species Method*)**

Metode spesies kerangka merupakan salah satu metode restorasi aktif yang prinsipnya adalah menanam sejumlah kecil spesies pohon terpilih, ditentukan berdasarkan kriteria tertentu, yang dapat mempercepat pemulihan biodiversitas pada ekosistem hutan. Hal ini dilakukan dengan menanam 20-30 spesies pohon asli (*indigenous*) suatu ekosistem. Spesies dipilih berdasarkan pertimbangan karakter ekologi, yaitu memiliki

kesintasan tinggi, pertumbuhan cepat, tajuk lebar dan menghasilkan bunga dan buah yang dapat menarik hewan pemencar biji. Selain itu pemilihan spesies juga berdasarkan pertimbangan praktis seperti mudah dilakukan perbanyakannya, biji dapat bergerminasi secara cepat dan serempak, anakan memiliki pertumbuhan yang cepat, memiliki manfaat ekonomi serta dapat memberikan manfaat berupa jasa ekologi kepada masyarakat (Elliott dkk., 2013).

Metode spesies kerangka idealnya diterapkan pada lokasi yang berjarak cukup dekat dengan hutan referensi. Hutan tersebut berperan sebagai sumber biji, sehingga burung dan mamalia kecil dapat menjangkau lokasi restorasi dan berpotensi memencarkan biji yang berasal dari hutan (Elliott dkk., 2013). Kunjungan hewan pemencar ke lokasi berpotensi menambah spesies baru yang mengkolonisasi tapak. Harapannya, sejalan dengan waktu, terjadi penambahan jumlah spesies penyusun komunitas; dengan demikian pulihnya biodiversitas bisa dipercepat.

Pada metode ini, spesies pohon pionir dan klimaks ditanam dalam satu tahap. Pohon klimaks umumnya dijumpai di tahap lanjut suksesi (*late-successional*). Dengan menanam spesies pohon pionir dan klimaks dalam satu tahap, lintasan suksesi bisa diperpendek. Spesies pohon klimaks ditanam sejak awal. Banyak spesies dari kelompok ini yang sebenarnya mampu tumbuh baik di kondisi terbuka, namun tidak berhasil mengkolonisasi karena minimnya pemencaran biji ke lokasi. Spesies klimaks umumnya memiliki biji yang besar dan dipencarkan oleh satwa. Berkurangnya satwa karena deforestasi yang luas mencegah pemencaran spesies ini ke lahan yang terdeforestasi. Hambatan ini diatasi dengan memasukkan spesies pohon klimaks pada penanaman awal sehingga mempercepat pemulihan hutan klimaks (Elliott dkk., 2013).

Penanaman spesies pionir diperlukan untuk mempercepat penutupan tajuk hutan dan menciptakan kondisi ternaung untuk mengalahkan gulma. Hal ini terjadi karena spesies pohon pionir memiliki pertumbuhan yang cepat, sehingga penutupan tajuk segera terbentuk. Kelompok pohon pionir juga mencapai kematangan reproduksi dalam waktu singkat (2-3 tahun), sehingga cepat menghasilkan bunga dan buah yang akan menarik hewan pemencar biji untuk datang sehingga memungkinkan terjadinya rekrutmen spesies baru. Dalam 10-20 tahun spesies pohon pionir akan mati dan menciptakan rumpang

(*gap*) sehingga cahaya matahari dapat menembus lantai hutan dan mengakselerasi pertumbuhan pohon muda yang sebelumnya berada dalam naungan (Elliott dkk., 2013).

Metode spesies kerangka telah diterapkan di Thailand Utara sejak tahun 1996 dan telah berhasil merestorasi kawasan seluas 33 hektar yang memiliki kepadatan permudaan alami rendah dan didominasi oleh gulma. Kegiatan restorasi bekerjasama dengan komunitas masyarakat. Pemulihan hutan (biomassa, penyimpanan karbon, struktur hutan, keanekaragaman hayati dan fungsi ekologi) berjalan dengan sangat baik dan melebihi ekspektasi yang diharapkan. Hal tersebut dapat dicapai dengan adanya landasan ilmiah untuk kegiatan restorasi, dukungan jangka panjang dari instansi terkait dan pendanaan yang berkelanjutan (Elliott dkk., 2019).

Metode spesies kerangka membutuhkan banyak waktu dan biaya untuk melakukan uji coba agar dapat mengetahui spesies yang sesuai untuk metode ini. Spesies dengan performa baik dapat diketahui dengan mengetahui strategi ekologis yang berhubungan dengan karakter fisik suatu spesies. Sehingga dengan menggunakan pendekatan karakter fungsional (*functional traits*) dapat diprediksi performa suatu spesies dalam aplikasi metode spesies kerangka (Tunjai dan Elliott, 2012).

Selain menggunakan anakan dalam penanaman pohon, metode spesies kerangka juga memungkinkan menaburkan biji secara langsung pada lokasi restorasi (*direct seeding* atau penaburan langsung). Penaburan langsung menawarkan biaya yang rendah sebab tidak diperlukan biaya pembibitan anakan dan biaya penanaman. Selain itu transportasi biji juga relatif lebih mudah sehingga dapat menjangkau lokasi dengan akses yang sulit dan terpencil serta memungkinkan menjangkau areal yang luas secara cepat dengan menggunakan teknik *aerial seeding* (Raupp dkk., 2020).

Namun demikian terdapat sejumlah kendala dalam penerapan penaburan langsung, yaitu laju germinasi dan kesintasan anakan dari jenis lokal yang sangat rendah serta kematian biji dan anakan yang disebabkan oleh desikasi, pemangsa biji serta kompetisi dengan gulma. Pemilihan jenis pohon yang sesuai untuk penaburan langsung dan usaha peningkatan kualitas biji dianggap dapat meningkatkan keberhasilan penaburan langsung (Palma dan Laurance, 2015).

Keberhasilan aplikasi metode spesies kerangka untuk memulihkan kekayaan spesies akan sangat bergantung pada keberadaan hutan dalam kondisi baik yang berada dalam jarak cukup dekat dengan lokasi restorasi; yang berfungsi sebagai sumber biji dan habitat untuk satwa pemencar. Apabila kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka pemulihan kekayaan spesies pohon akan sulit dicapai. Pada kondisi demikian, restorasi untuk memulihkan biodiversitas dapat dilakukan dengan menanam keseluruhan atau sebagian besar dari spesies pohon dari hutan asal sejak awal proses restorasi. Metode ini dikenal dengan sebutan *maximum diversity methods* atau metode diversitas maksimum (Elliott dkk., 2013), yang akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

## 2.4 Metode Diversitas Maksimum (*Maximum Diversity Methods*)

Metode diversitas maksimum atau *maximum diversity methods* merupakan salah satu metode restorasi aktif yang ditujukan untuk menghadirkan kembali biodiversitas dari hutan asal (sebelum hutan rusak) melalui penyiapan lahan yang intensif dan kegiatan penanaman pohon dengan jumlah spesies sebanyak mungkin. Metode ini dapat diterapkan apabila dijumpai kondisi di mana pemencaran biji secara alami sangat rendah; baik karena terbatasnya pohon sumber biji dalam jarak pemencaran alami ataupun jumlah satwa pemencar biji yang telah menurun drastis. Kondisi seperti ini dijumpai pada lokasi yang terisolasi/jauh dari hutan alami. Tidak adanya “layanan” pemencaran alami ini dikompensasi dengan menanam seluruh atau sebagian besar spesies pohon yang menyusun hutan klimaks, sejak awal proses restorasi hutan (Elliott, dkk., 2013).

Pada metode ini, dilakukan penanaman pohon muda (ketinggian 50-60 cm) dari 60 atau lebih spesies pohon asli, yang sebagian besar merupakan spesies klimaks, dalam jarak penanaman yang rapat (1,5 m). Mengingat spesies klimaks memiliki laju pertumbuhan lambat, diperlukan kompensasi terhadap lambatnya tertutupnya tajuk hutan, sehingga penanaman dalam jarak rapat diperlukan agar tajuk hutan cepat tertutup dan gulma bisa dikalahkan. Tantangan terbesar metode ini adalah keterbatasan pengumpulan biji dan penyediaan bibit pohon yang sangat beragam spesiesnya (60-90 spesies); untuk setiap spesies terwakili oleh setidaknya 20-30 pohon per hektar. Spesies yang diprioritaskan untuk ditanam adalah (i) spesies dengan biji besar; (ii) spesies kunci (*keystone species*) seperti *Ficus*; dan

(iii) spesies dengan status konservasi terancam punah, rawan punah, dan langka. Selain itu diperlukan pemeliharaan yang intensif untuk mengatasi gulma yang bersifat resisten (Elliott dkk., 2013; Gosem and Tucker, 2013).

Konsekuensi dari penggunaan metode ini adalah biaya restorasi yang sangat tinggi. Hal tersebut menyebabkan penerapannya sangat terbatas seperti restorasi pada lahan bekas tambang dan restorasi pada kawasan hutan kota yang berfungsi untuk meningkatkan keanekaragaman hayati dan agar penduduk lebih terkoneksi dengan alam (Elliott dkk., 2013).

### 3. HUTAN GUNUNG PAPANDAYAN

Restorasi hutan, baik secara pasif maupun secara aktif memerlukan dukungan informasi ekologis terkait proses-proses yang memengaruhi regenerasi alami yang sifatnya spesifik tapak (*site specific*). Selain itu, penggunaan spesies asli (*indigenous spesies*) adalah bagian penting restorasi hutan. Konsekuensinya, kegiatan restorasi hutan memerlukan informasi mengenai spesies pohon asli yang bisa didapatkan dari kajian vegetasi pada hutan referensi.

Kawasan Gunung Papandayan adalah kawasan konservasi yang memiliki tutupan hutan alami yang luas. Namun di sisi lain, kawasan ini juga terdedah pada berbagai jenis “gangguan”, baik yang bersumber pada kejadian alam maupun aktivitas manusia. Kondisi ini menjadikan kawasan Gunung Papandayan sebagai sebuah laboratorium alam dengan sajian fenomena-fenomena ekologi yang mengungkap kemampuan ekosistem memulihkan diri setelah mengalami gangguan.

Tim SITH ITB sejak tahun 2004 telah melakukan penelitian ekologi di kawasan ini pada berbagai aspek, di antaranya inventarisasi biodiversitas, dinamika spasial tutupan lahan, serta fenomena-fenomena yang berkaitan dengan regenerasi hutan. Pada bagian ini, konteks kawasan hutan Gunung Papandayan dan beberapa penelitian terpilih beserta *lessons-learnt* yang relevan dengan isu restorasi hutan akan dipaparkan.

#### 3.1 Kondisi Umum

Kawasan hutan Gunung Papandayan secara administrasi masuk ke dua kabupaten, yaitu Kabupaten Garut di bagian timur dan Kabupaten Bandung di bagian barat, Provinsi Jawa Barat (Gambar 4). Gunung Papandayan adalah gunung berapi aktif dengan puncak terletak di ketinggian 2.665 mdpl dan terletak pada pertemuan koordinat 7° 19' 42" LS dan 107° 44' BT (Hadisantono, 2006). Kawasan memiliki tipe iklim B berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt dengan curah hujan 2.500-3.000 mm/tahun dan kelembaban udara 70-80% (BBKSDA Jabar, 2016).

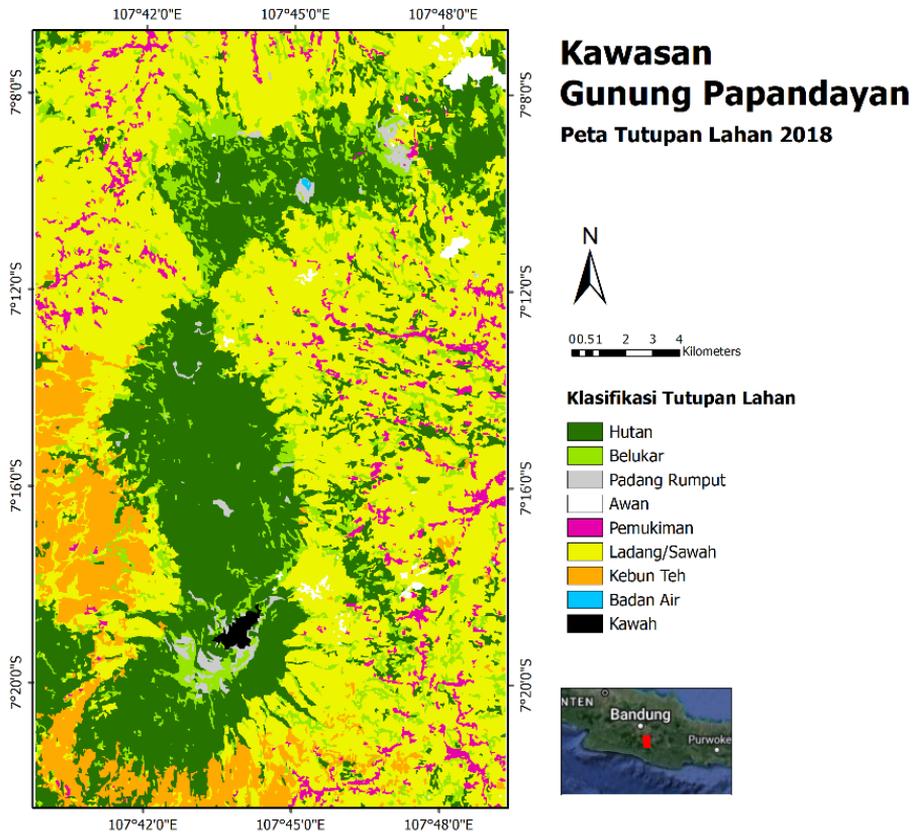
Gunung Papandayan adalah kawasan konservasi yang saat ini memiliki fungsi sebagai Cagar Alam (CA), seluas 6.807 ha, dan Taman Wisata Alam

(TWA), seluas 225 ha (Tim Terpadu MENLHK, 2017). Bagian utara kawasan CA dan TWA Gunung Papandayan berbatasan dengan CA Kamojang. Kawasan CA dan TWA Gunung Papandayan juga berbatasan dengan kawasan hutan yang dikelola oleh Perhutani. Terdapat lima desa yang letaknya berbatasan langsung atau sangat dekat dengan CA dan TWA Gunung Papandayan, yaitu Desa Sirnajaya, Karamat Wangi, Sukatani, Cidatar, dan Cisero dengan total jumlah penduduk 33.089 jiwa (BPS, 2022). Gunung Papandayan adalah salah satu lokasi wisata alam yang sangat populer, terutama areal sekitar kawah yang mudah diakses dari Kabupaten Garut.

Peta tutupan lahan kawasan Gunung Papandayan dan sekitarnya yang menggambarkan kondisi pada tahun 2018 disajikan pada Gambar 3. Menggunakan perspektif spasial menurut Forman (1995), area berhutan di kawasan ini dapat dipandang sebagai sebuah *patch* atau petak yang terletak berdampingan dengan lahan-lahan pertanian di semua sisinya. *Patch* hutan Gunung Papandayan merupakan hutan alam sisa (*remnant natural forest*) dari luasan hutan alam di masa lalu yang dalam perkembangannya sebagian telah dikonversi menjadi lahan-lahan pertanian dan pemukiman sehingga menyisakan tutupan hutan pada area yang saat ini ditetapkan sebagai kawasan konservasi (CA dan TWA Gunung Papandayan). Dengan kata lain, hutan Gunung Papandayan merupakan sebuah *remnant forest patch* di dalam matriks (*matrix*) yang didominasi oleh lahan pertanian.

Dari segi bentuknya, *patch* hutan Gunung Papandayan berbentuk memanjang (*elongated*) dan berlekuk (*convoluted*). *Patch* hutan yang memanjang dan/atau berlekuk memiliki proporsi area tepi (*edge*) terhadap luas *patch* yang lebih besar dibandingkan dengan *patch* hutan yang berbentuk kompak (*compact*), yaitu cenderung membulat. Tepi sebuah *patch* hutan merupakan area yang memiliki interaksi langsung dengan lahan yang bersebelahan. Melalui tepi inilah organisme (misal hewan atau orang) dan materi (misal nutrien) berpindah dari hutan ke lahan yang bersebelahan dan sebaliknya (Forman, 1995). Gangguan yang bersumber dari aktivitas manusia (misalnya pencurian kayu, perburuan satwa) masuk ke kawasan hutan juga melalui tepi, sehingga panjang tepi dan jenis lahan yang bersebelahan adalah hal yang perlu diperhatikan dalam menjaga kawasan konservasi. Gambar 4 menunjukkan bahwa bagian tepi *patch* hutan berbatasan dengan lahan pertanian, baik berupa ladang/sawah ataupun kebun teh. Areal berhutan juga

berada dalam jarak yang cukup dekat dengan perkampungan. Terdapat cukup banyak perkampungan yang berada dalam jarak 1-2 kilometer dari tepi hutan.



**Gambar 4** Peta tutupan lahan tahun 2018 (Dimodifikasi dari Satriawan dkk., 2019)

Vegetasi alami di CA dan TWA Gunung Papandayan membentang dari ketinggian sekitar 1.400–2.665 mdpl, sehingga apabila mengikuti zonasi vegetasi berdasarkan ketinggian dari Richards (1996), vegetasi di Gunung Papandayan termasuk ke zona subpegunungan (1.000 – 1.500 mdpl), zona pegunungan (1.500 – 2.400 mdpl) dan zona subalpin (2.400 – 3.600). Gambaran lebih rinci tentang vegetasi akan disampaikan di subbab 3.3, namun secara umum dapat disampaikan bahwa vegetasi alami terdiri dari hutan campuran, vegetasi khas daerah sekitar kawah, padang rumput serta semak/belukar. Seperti terlihat pada Gambar 4, hutan mendominasi tutupan lahan di kawasan Gunung Papandayan. Di bagian tengah kawasan hutan, terdapat padang rumput yang dikenal dengan nama Tegal Panjang yang keberadaannya unik

karena peran kebakaran berulang dalam pembentukannya (dijelaskan di Subbab 3.4.6).

Kawasan CA dan TWA Papandayan merupakan habitat dari beberapa kelompok satwa mamalia besar seperti macan tutul (*Panthera pardus*), babi hutan (*Sus vittatus*), kijang (*Muntiacus muntjak*), dan lutung (*Trachypitecus auratus*) (Pepep, 2022). Untuk kelompok burung, hasil penelitian dari tim kami (Sulistiyawati dkk., 2006) menemukan 73 spesies burung; 16 spesies di antaranya termasuk dalam kategori memiliki sebaran terbatas dan 2 spesies berstatus genting (endangered). Dua spesies yang berstatus genting adalah *Spizaetus bartelsi* (elang jawa) dan *Harpectes reinwardtii* (luntur gunung).

## 3.2 Gangguan

Suatu bentang alam terbentuk oleh proses-proses yang melibatkan faktor abiotik (kondisi iklim, bentuk lahan, tanah); interaksi biotik (kompetisi, fasilitasi dan predasi); dinamika akibat gangguan dan suksesi, termasuk yang bersumber dari gangguan alami maupun dipicu oleh manusia (Turner & Gardner, 2015). Gangguan (*disturbances*) dalam konteks ekologi dapat didefinisikan sebagai peristiwa yang sesekali terjadi (*discrete event*) yang mengganggu struktur ekosistem, komunitas, atau populasi dan mengubah ketersediaan sumber daya, substrat, atau lingkungan fisik (White & Pickett, 1995). Bentuk gangguan pada ekosistem sangat beragam (mis. banjir, kebakaran hutan atau serangan hama) dan berasal dari penyebab-penyebab alami (mis. letusan gunung berapi atau pohon tumbang) maupun campur tangan manusia (mis. pemanenan kayu, perambahan hutan atau pembakaran lahan).

Pasca-gangguan, ekosistem merespons dengan serangkaian proses perkembangan vegetasi yang dikenal dengan suksesi. Gangguan pada bentang alam yang terjadi di tapak-tapak yang berbeda dan dalam waktu yang berbeda akan menghasilkan vegetasi yang berada pada tahapan suksesi yang berbeda sehingga akan menciptakan heterogenitas pada bentang alam. Proses-proses tersebut juga beroperasi di kawasan Gunung Papandayan. Peran gangguan dan proses pemulihan alami melalui suksesi sangat menonjol dalam membentuk heterogenitas dan dinamika pada bentang alam kawasan Gunung Papandayan.

Salah satu bentuk gangguan yang sangat menonjol di Gunung Papandayan adalah letusan gunung api. Gunung Papandayan memiliki catatan letusan besar beberapa kali. Letusan besar terakhir terjadi pada November 2002 (Hadisantono, 2006). Letusan tahun 2002 menyemburkan udara panas, abu vulkanik, menyebabkan longsohnya dinding kawah Nangklak dan berdampak pada hancurnya vegetasi di kawasan sekitar kawah (Gambar 5). Kondisi vegetasi dua tahun pascaletusan tahun 2002 telah didokumentasikan oleh Sulistyawati dkk. (2005).



**Gambar 5** Kerusakan vegetasi akibat letusan Gunung Papandayan tahun 2002, didokumentasikan pada tahun 2004 atau dua tahun setelah letusan (Dok: Rifki Sungkar).

Tim kami pernah melakukan kajian tentang bentuk-bentuk gangguan yang bersumber dari aktivitas manusia yang berpotensi mengancam integritas ekosistem kawasan Gunung Papandayan (Sulistyawati dkk., 2005, Sulistyawati dkk., 2006). Gangguan manusia dalam skala yang cukup besar pernah terjadi dipicu kondisi krisis keuangan tahun 1997 di mana terjadi perambahan hutan untuk dikonversi menjadi lahan pertanian (kentang, kol dan wortel), yang terjadi pada hutan di kawasan penyangga dan bahkan beberapa telah masuk ke kawasan Cagar Alam. Telah dilakukan beberapa upaya untuk menghentikan kegiatan pertanian di kawasan hutan. Pada sekitar tahun 2003 sebagian besar masalah perambahan hutan ini telah berhasil diatasi. Saat kegiatan pertanian di dalam kawasan hutan dihentikan, lahan ditinggalkan dan mengalami suksesi. Pada beberapa area, atas inisiatif masyarakat ataupun melalui program pemerintah, telah dilakukan penanaman pohon untuk mempercepat proses pemulihan hutan. Lahan

pertanian yang ditinggalkan tersebut, baik yang telah mengalami penanaman pohon maupun tidak, **merupakan laboratorium alami untuk mempelajari proses suksesi** dan telah menjadi objek kajian tim kami (Setiawan, 2008; Setiawan & Sulistyawati, 2008; Wetadewi, 2015; Wetadewi & Sulistyawati, 2015).

Jenis gangguan lain yang terjadi di kawasan Gunung Papandayan adalah kebakaran hutan. Rahmah (2019) mengidentifikasi telah terjadi setidaknya empat peristiwa kebakaran dengan cakupan area terdampak yang cukup luas, yaitu kebakaran hutan di area sekitar kawah pada tahun 2007, kebakaran hutan di area parkir Taman Wisata Alam pada tahun 2012 dan 2015, serta kebakaran hutan di bagian tengah area Cagar Alam tepatnya di Tegal Alun. Keempat kebakaran tersebut masing-masing terjadi dalam satu peristiwa tunggal, sehingga dapat disebut sebagai bentuk gangguan tunggal. Pascakebakaran, lahan mengalami suksesi. Dinamika vegetasi pascagangguan yang terjadi dalam skala bentang alam telah dikaji oleh Rahmah (2019).

Di bagian tengah kawasan hutan Gunung Papandayan, suatu peristiwa kebakaran yang terjadi secara berulang telah menghasilkan terbentuknya sebuah padang rumput yang dikenal dengan nama Tegal Panjang. Terbentuknya padang rumput Tegal Panjang, pada lokasi yang secara klimatik biasanya berupa hutan (yaitu curah hujan tinggi), menurut van Steenis (1972), melibatkan peran manusia yang besar. Menurut catatan van Steenis, Tegal Panjang terletak dalam jalur lintasan perdagangan tradisional yang menghubungkan Pangalengan (di sisi barat) dan Garut (di sisi timur) dan merupakan tempat yang strategis bagi para pejalan kaki untuk beristirahat. Api pada awalnya dibuat untuk melindungi dari binatang buas dan membuka lahan guna menciptakan tempat merumput (*hunting ground*) untuk satwa buruan (rusa, kancil dan kerbau). Kebakaran yang terjadi secara berulang selama puluhan tahun akhirnya menciptakan areal terbuka yang luas dan didominasi oleh rumput alang-alang (*Imperata cylindrica*). Sampai saat ini, kebakarannya masih sering terjadi di Tegal Panjang, terutama di musim kemarau. Kebakaran berulang ini telah menghambat terjadinya suksesi dan mempertahankan bentuk vegetasi sebagai padang rumput sampai saat ini (Sulistyawati & Fitriana, 2017).

Dalam skala yang lebih kecil, gangguan alami berupa pohon tumbang, terutama di musim hujan lebat, serta pencurian kayu juga terjadi. Kedua jenis gangguan ini menciptakan celah atau *gap* yang di antara hamparan hutan.

Kajian tim kami mengenai penutupan kanopi hutan (Primajati dkk., 2011) menunjukkan terdapatnya area yang terindikasi sebagai *patch* hutan terbuka (*open forest patch*) yang tersebar di bagian tepi maupun tengah (interior) kawasan hutan Gunung Papandayan. Hal ini diduga disebabkan oleh kejadian pohon tumbang dan pencurian kayu.

### 3.3 Biodiversitas Tumbuhan

Gunung Papandayan telah dikenal sejak zaman pemerintah kolonial Belanda sebagai wilayah yang secara floristik sangat kaya seperti terlihat dalam buku *Mountain Flora of Java* karya van Steenis (1972). Penelitian oleh van Steenis dimulai sejak tahun 1930 dan berhasil mengungkapkan kekayaan tumbuhan di Gunung Papandayan yang belum pernah dijumpai di Jawa Barat dan bahkan di seluruh Jawa. Setelah itu tidak ada lagi penelitian yang menyeluruh mengenai keanekaragaman hayati yang ada di Gunung Papandayan. Oleh karena itu, sejak tahun 2004 tim kami mulai melakukan beberapa riset penting dalam rangka mengungkap kondisi hayati yang ada di Gunung Papandayan.

Secara umum, vegetasi di Gunung Papandayan terbagi menjadi hutan campuran, vegetasi kawah, dan padang rumput (Gambar 6). Vegetasi hutan campuran memiliki karakteristik khas hutan pegunungan atas yaitu tajuk yang relatif tinggi dan melimpahnya keragaman perambat herba, epifit, dan lumut. Pepohonan di vegetasi ini seringkali tampak “diselimuti” oleh lapisan lumut yang tebal. Vegetasi hutan campuran didominasi oleh pohon jenis *Distylium stellare* (angrit), *Cyatea latrebosa* (paku badegor), *Helicia serrata* (kandung), dan *Engelhardia spicata* (ki hujan). Selain itu juga ditemukan jenis pohon yang mulai jarang dijumpai di hutan pegunungan, yaitu *Podocarpus neriifolius* (ki putri) dan *Podocarpus imbricatus* (jamuju). Untuk perdu, spesies yang dominan adalah *Strobilathes cernua* dan *Strobilus involucrata* yang keduanya oleh penduduk lokal disebut bubukuan. *Strobilus cernua* memiliki karakteristik yang unik sebab merupakan tumbuhan monokarpik yaitu tumbuhan yang dalam masa hidupnya hanya berbunga (dan berbuah) sekali saja dan setelah itu mati. Jenis herba yang dominan di vegetasi hutan campuran adalah *Elatostema eurhynchum* dan *Elatostema rostratum*. Sementara itu jenis perambat didominasi oleh *Rubus moluccanus* (Sulistiyawati dkk., 2005).

Vegetasi kawah terletak pada ketinggian 2.310 - 2.325 mdpl. Sebagian vegetasi kawah ini rusak oleh letusan tahun 2002, namun saat ini sebagian telah pulih.

Vegetasi kawah didominasi oleh *Vaccinium varingiaefolium* atau cantigi yang merupakan tumbuhan berkayu yang umum dijumpai dan merupakan jenis yang masih bisa bertahan pada kawasan yang terkena letusan. Selain itu, *Anaphalis javanica* (edelweis jawa) merupakan perdu yang cukup melimpah di vegetasi kawah. Tumbuhan bawah pada vegetasi ini didominasi oleh *Carex myosurus*, *Pteridium aquilinum*, *Dicranopteris linearis* (paku andam), dan *C. phacota*. Sementara itu tumbuhan perambat yang umum dijumpai berupa *Gaultheria leucocarpa* (Sulistyawati dkk., 2005).

Vegetasi padang rumput Tegall Panjang merupakan hamparan padang rumput yang dikelilingi oleh hutan campuran. Penjelasan mengenai terbentuknya padang rumput ini telah dipaparkan pada sub bab 3.2. Vegetasi didominasi oleh kelompok herba terutama dari kelompok rumput-rumputan dan didominasi oleh *Imperata cylindrica* atau alang-alang dengan kerimbunan mencapai 70%. Di antara herba yang ditemukan terdapat satu spesies endemik yaitu *Alchemilla vilosa*. Selain itu, kami mencatat adanya *Primula* sp., *Ranunculus javanicus*, *Anaphalis javanica*, dan *Eupatorium inulifolium* (Sulistyawati dkk., 2005).

Selain ketiga vegetasi di atas, juga terdapat daerah terbuka yang berada di tepi hutan. Daerah terbuka tersebut terbentuk ketika lahan bekas perambahan hutan dilakukan rehabilitasi dan kemudian dibiarkan (*abandoned*). Seperti yang telah dipaparkan pada subbab 3.2. Suksesi awal yang terjadi pada kawasan tersebut membentuk semak belukar yang didominasi oleh perdu dan herba dari jenis *Eupatorium riparium* (teklan), *E. inulifolium* (kirinyuh), *Imperata cylindrica* (alang-alang) dan *Digitaria argyostachya*. Pohon yang berada di kawasan tersebut terbatas pada spesies yang sebelumnya ditanam pada kegiatan rehabilitasi dan rekrutmen spesies baru yang berasal dari hutan alami di sekitarnya jumlah terbatas.

Dari berbagai penelitian vegetasi yang kami lakukan bersama tim di Gunung Papandayan, pada lokasi-lokasi yang berada di interior ataupun tepi hutan, berhasil dikompilasi daftar spesies yang ditemukan (Tabel 2). Sejauh ini jumlah spesies total yang ditemukan terdiri dari 94 spesies pohon, 80 spesies perdu, dan 241 spesies herba. Pada kelompok pohon, daftar nama spesies yang terdapat di Gunung Papandayan ditunjukkan pada Gambar 7. Daftar spesies pohon tersebut dapat digunakan sebagai rujukan dalam pemilihan spesies pohon asli dalam melakukan restorasi aktif di kawasan Gunung Papandayan.



**Gambar 6** Vegetasi utama Gunung Papandayan (a) hutan campuran; (b) vegetasi kawah; (c) padang rumput; dan (d) semak belukar. (Dok: Rifki Sungkar (a & c); Mahendra Primajati (b); R.I. Wetadewi (d))

**Tabel 2** Rangkuman jumlah spesies pohon, perdu, dan herba yang pernah ditemukan di Gunung Papandayan

Penelitian	Jumlah Spesies		
	Pohon	Perdu	Herba
Sulistyawati dkk., (2005) dan Sulistyawati dkk., (2006)	33	19	9
Setiawan & Sulistyawati (2008) dan Setiawan (2008)	30	13	42
Utami & Sulistyawati (2010) dan Utami (2010)	41	16	29
Javad (2011)	8	10	19
Sulistyawati dkk., (2012)	39	tt	tt
Hamidi (2013)	63	61	198
Wetadewi & Sulistyawati (2015) dan Wetadewi (2015)	34	tt	tt
Sulistyawati & Fitriana (2017)	td	3	32
Sulistyawati & Tihurua (2019)	29	tt	tt
Setiawan & Sulistyawati (2021)	25	tt	tt
Sulistyawati dkk., (2022) dan Iqbal, A., (2012)	31	1	tt
<b>Total jumlah spesies(*)</b>	<b>94</b>	<b>80</b>	<b>241</b>

Keterangan:

tt = tidak tersedia, karena bukan menjadi obyek penelitian, td = tidak ditemukan,

(\*) = memperhitungkan kesamaan spesies antar studi



**Gambar 7** Visualisasi daftar spesies pohon yang terdapat di Gunung Papandayan

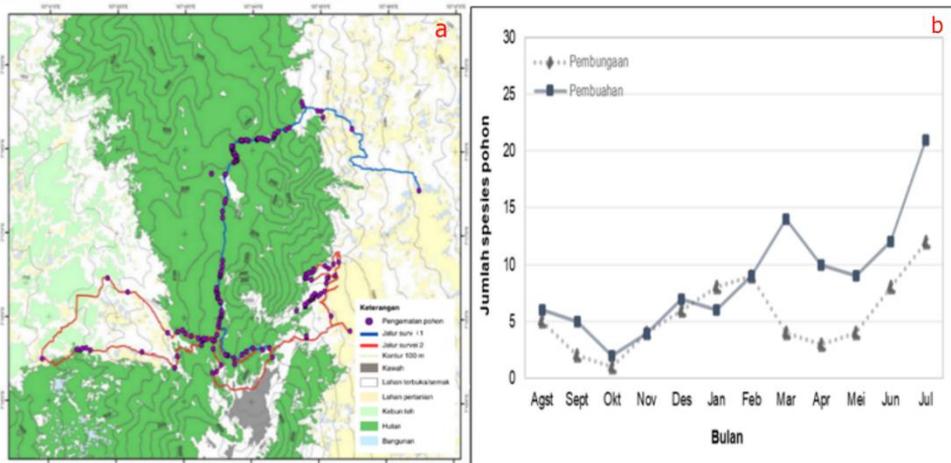
### 3.4 Proses-Proses dalam Regenerasi Hutan

#### 3.4.1 Fenologi Perbungaan dan Pembuaian

Fenologi dapat didefinisikan sebagai studi ilmiah tentang waktu musiman dari peristiwa penting dalam kehidupan, misalnya masa berbunga dan berbuah untuk tumbuhan (Rathcke & Lacey, 1985). Studi fenologi masa berbunga dan berbuah spesies pohon dapat memberikan gambaran tentang ketersediaan sumber daya secara mewartu bagi hewan polinator dan frugivor. Secara praktis, informasi fenologi masa berbunga dan berbuah sangat diperlukan dalam mendukung program restorasi hutan, khususnya dalam merancang waktu pemanenan biji untuk produksi bibit pohon di persemaian (Elliot dkk. 2013).

Tim kami telah melakukan studi fenologi masa berbunga dan berbuah (Sulistiyawati dkk. 2012) melalui pengamatan bulanan selama satu tahun

(Agustus 2009 – Juli 2010) pada individu pohon dewasa terpilih yang terletak sepanjang jalur pengamatan yang mencakup area tepi dan dalam (interior) kawasan (Gambar 8-a). Terdapat 155 individu pohon dari 43 spesies pohon yang diamati dan dinamika masa berbunga dan berbuah selama satu tahun pengamatan disajikan pada Gambar 8-b.



**Gambar 8** (a) Cakupan survei pengamatan fenologi di Gunung Papandayan dan (b) jumlah spesies berbunga dan berbuah pada Agustus 2009 - Juli 2010 (Sumber: Sulistyawati dkk., 2012)

Hasil kajian menunjukkan bahwa jumlah spesies yang ditemukan berbunga dan berbuah berfluktuasi dalam setahun dengan puncak untuk keduanya terjadi di bulan Juli 2010. Masa puncak berbunga dan berbuah bertepatan dengan masa dengan curah hujan tinggi. Hasil kajian juga menunjukkan bahwa sebagian besar spesies memproduksi buah dalam durasi yang pendek (1-3 bulan) selama masa penelitian. Berdasarkan pola masa berbuah yang ditemukan, bulan Februari – Juli bisa dipertimbangkan sebagai waktu untuk mengkoleksi biji dari beragam spesies untuk keperluan produksi bibit di persemaian.

Studi fenologi yang telah dilakukan menghasilkan informasi berharga yang dapat digunakan untuk mengembangkan program penyediaan bibit pohon asli untuk mendukung penanaman pohon dalam rangka restorasi hutan di kawasan Gunung Papandayan, maupun di lokasi lain yang memiliki kesamaan kondisi vegetasi. Namun terdapat catatan penting untuk pengembangan ke depan. Studi fenologi dari Sulistyawati dkk. (2012) mencakup 43 spesies pohon dari 94 spesies pohon yang pernah dilaporkan pada berbagai studi di kawasan Gunung Papandayan (Tabel 2) atau mencakup

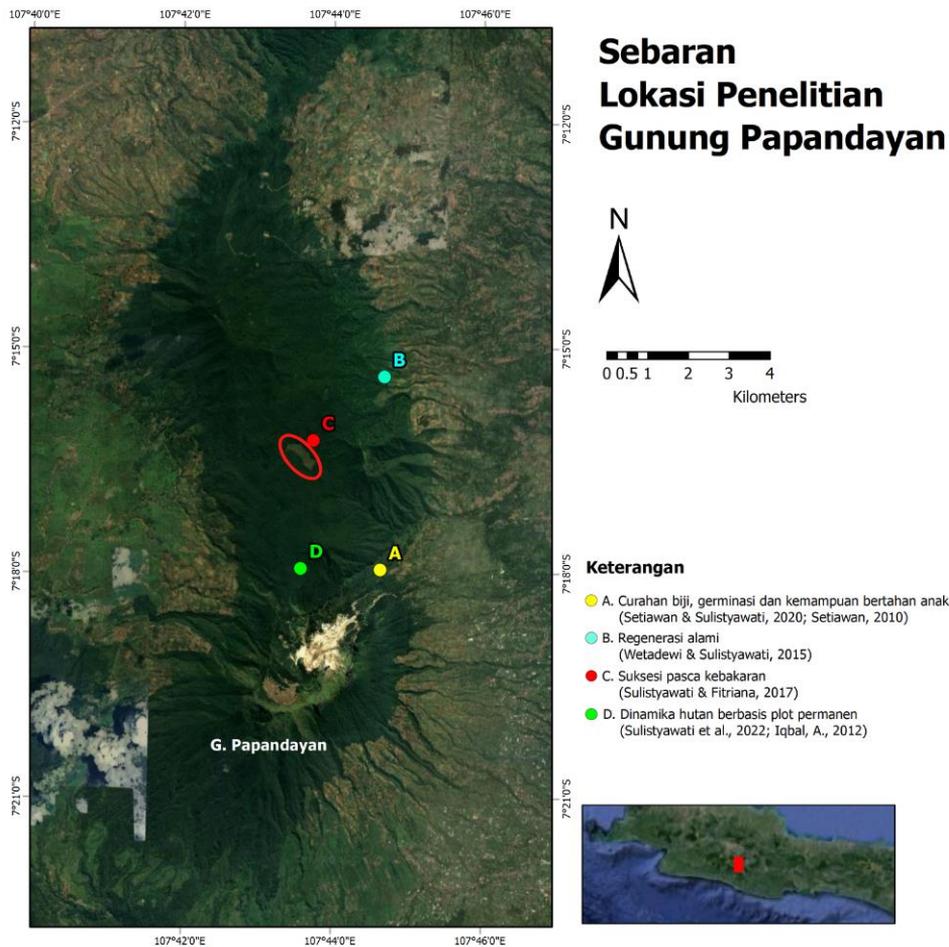
48%. Dengan semakin terkumpulnya informasi tentang sebaran lokasi berbagai spesies pohon di kawasan Gunung Papandayan sejak studi fenologi ini dilakukan, tampaknya diperlukan studi fenologi yang lebih komprehensif untuk mencakup semua spesies pohon dengan pemilihan pohon target yang mempertimbangkan posisi/kemudahan untuk dijangkau dan kondisi pohonnya. Hal ini untuk mengantisipasi apabila suatu saat pohon-pohon tersebut akan dijadikan pohon sumber koleksi biji.

### 3.4.2 Curahan biji

Pada bagian terdahulu (subbab 2.1) telah dipaparkan bahwa regenerasi alami pada suatu tapak hutan yang mengalami gangguan diawali dengan kolonisasi tapak oleh spesies melalui biji yang bersumber dari bank biji (*seed bank*) di tanah ataupun hasil pemencaran biji (*seed dispersal*) yang bersumber dari pohon dalam tapak atau pohon dari lokasi lain yang sampai ke tapak melalui berbagai agen pemencar. Biji yang tiba di suatu tapak melalui berbagai modus pemencaran itu akan menyusun curahan biji (*seed rain*) di lokasi tersebut.

Rendahnya propagul (biji atau spora) yang terpenjar ke tapak hutan yang terdegradasi adalah salah satu hambatan utama pada regenerasi alami hutan (Holl dkk., 2000). Tanpa curahan biji yang cukup dan beragam, tapak hutan terdegradasi akan sulit memulihkan keanekaragaman vegetasi seperti kondisi sebelum terganggu. Beberapa faktor dapat berpengaruh pada kelimpahan, keragaman dan struktur komunitas curahan biji pada suatu tapak, di antaranya jarak terhadap tepi hutan, musim, waktu dan kondisi vegetasi sekitarnya (Souza dkk., 2014).

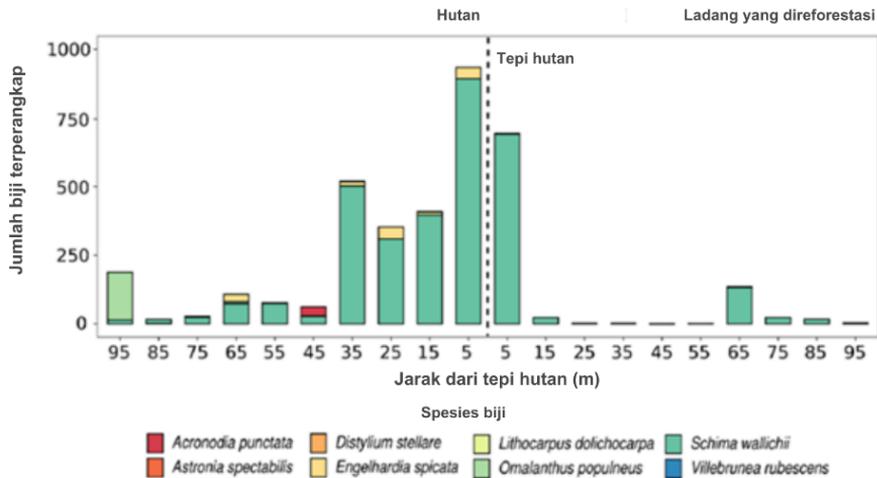
Tim kami mempelajari fenomena ini (Setiawan & Sulistyawati, 2021) pada bagian tepi kawasan hutan Gunung Papandayan; pada area yang pernah mengalami gangguan berupa konversi hutan menjadi ladang yang kemudian ditinggalkan (*abandoned*) setelah adanya operasi penertiban. Pada ladang yang ditinggalkan tersebut, melalui inisiatif masyarakat dan pemerintah, telah dilakukan reforestasi melalui penanaman dengan pohon spesies asli, yaitu puspa (*Schima wallichii*) dan angrit (*Distylium stellare*). Pascapenanaman pohon, lahan dibiarkan mengalami suksesi. Penelitian dilakukan pada dua tapak yang bersebelahan, yaitu hutan sekunder dan bekas ladang yang direforestasi tujuh tahun sebelumnya. Pada kedua tapak dipasang 60 perangkap biji (*seed trap*); biji yang terjaring diamati setiap dua minggu selama delapan bulan (Maret – November 2010).



**Gambar 9** Lokasi penelitian curahan biji (A) dan penelitian lain terkait regenerasi hutan (B, C & D).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa total biji yang terkoleksi dalam perangkat selama 8 bulan penelitian sejumlah 3.596 biji dari delapan spesies pohon. Curahan biji lebih melimpah dan beragam spesiesnya di hutan sekunder (74,9 %, 8 species) dibandingkan dengan di bekas ladang yang direforestasi (24,1 %, 2 species) (Gambar 10). Hanya dua spesies biji yang ditemukan di bekas ladang, yaitu *Schima wallichii* dan *Engelhardia spicata*. Di antara semua spesies biji yang ditemukan, *Schima wallichii*, mendominasi pada kedua tapak. Berdasarkan moda dispersalnya, biji yang ditemukan dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu anemokori atau *wind-dispersed* (*Engelhardia spicata*, *Lithocarpus dolichocarpa*, *Schima wallichii*), autokori, dispersal tanpa bantuan vektor eksternal (*Astronia spectabilis*, *Distylium stellare*, *Omalanthus populneus*, *Villebrunea rubescens*), dan zookori, dispersal

oleh hewan (*Acronodia punctata*). Secara keseluruhan, biji yang terkoleksi didominasi oleh biji anemokori. Berdasarkan lokasi deposisi seperti disajikan pada Gambar 10, sebagian besar biji ditemukan dekat tepi hutan. Biji yang ditemukan di bekas ladang terkonsentrasi pada segmen yang terdekat dengan tepi hutan.



**Gambar 10** Kelimpahan spesies biji yang terkoleksi dalam perangkap biji berdasarkan jarak ke batas hutan (Sumber: Setiawan & Sulistyawati, 2021).

Kekayaan spesies pohon sekitar perangkap biji (dalam radius 5 meter) pada tapak hutan lebih tinggi (23 spesies) dibandingkan dengan bekas ladang (13 spesies). Tiga spesies dominan dengan kerapatan relatif tertinggi adalah *Schima wallichii* (31,7%), *Lithocarpus dolichocarpa* (17,8%) dan *Engelhardia spicata* (12,9%). Biji dari ketiga spesies dominan tersebut menyusun curahan biji pada penelitian ini. Meski hanya dua spesies yang ditanam di awal reforestasi pada tapak bekas ladang (*Schima wallichii* dan *Distylium stellare*), penelitian ini menemukan tambahan 11 spesies pohon; tujuh spesies di antaranya juga dijumpai di tapak hutan sekunder yang bersebelahan. Namun beragamnya spesies pohon yang ditemukan pada tapak bekas ladang tidak diikuti dengan curahan bijinya yang hanya terdiri dari *Schima wallichii* dan *Engelhardia spicata*.

Secara umum hasil studi menunjukkan bahwa komunitas curahan biji secara signifikan dipengaruhi oleh jarak terhadap tepi hutan, keragaman vegetasi di sekitarnya (hanya untuk tapak hutan) dan ketinggian pohon di sekitarnya. Tapak hutan memiliki struktur tegakan yang kompleks dengan pohon dewasa yang lebih beragam dan pada akhirnya menghasilkan

komunitas curahan biji yang lebih melimpah dan beragam dibandingkan tapak bekas ladang.

### 3.4.3 Germinasi biji

Setelah biji tiba di suatu lokasi melalui berbagai modus pemencaran, selanjutnya biji dapat mengalami predasi. Atau, apabila berhasil lolos dari predasi dan berada pada kondisi lingkungan mikro yang tepat, biji dapat berkecambah (Gambar 3, subbab 2.1). Tim kami melakukan penelitian untuk mengetahui germinasi atau perkecambahan pada biji tujuh spesies pohon yang dilakukan di lapangan, yaitu pada areal bekas ladang; dekat dengan lokasi penelitian curahan biji (sub-bab 3.4.2) (Setiawan, 2010). Uji germinasi dilakukan terhadap *Acronodia punctata*, *Dystilium stellare*, *Schima wallichii*, *Pittosporum moluccanum*, *Litsea citrata*, *Engelhardtia spicata*, dan *Syzygium glomeruliferum*. Pemilihan spesies biji yang digunakan adalah berdasarkan ketersediaan pohon spesies tersebut di hutan yang berdekatan serta ketersediaan biji dari spesies tersebut pada saat penelitian dilakukan. Penelitian dilakukan dengan mengubur biji pada tanah yang sudah dibakar dan pengamatan dilakukan setiap dua minggu selama tujuh bulan (April hingga Oktober 2010).

Hasil penelitian (Tabel 3) menunjukkan jumlah total biji yang bergerminasi adalah 37 (3,71%) dari 997 biji yang disebar. Terdapat variasi persentase germinasi antar spesies, dari 0% sampai 18,75 % yang ditemukan pada *Syzygium glomeruliferum*. Beberapa penelitian serupa juga menjumpai lebarnya variasi germinasi antar spesies, misalnya 7 – 90% pada penelitian di Thailand (Tunjai & Elliott, 2012) dan 0 – 78% di Costa Rica (Holl, 2000). Perkecambahan biji dipengaruhi oleh di antaranya kesesuaian antara faktor lingkungan dengan persyaratan germinasi seperti air, kelembaban tanah, dan oksigen, ada tidaknya predasi biji, serangan jamur, toleransi terhadap desikasi, dan sifat dormansi dari biji (Fenner & Thompson, 2005). Selama durasi penelitian, curah hujan bulanan di kawasan Gunung Papandayan hampir seluruhnya digolongkan sebagai bulan basah (lebih dari 200 mm), sehingga kekeringan tampaknya bukan merupakan penyebab rendahnya germinasi biji. Meskipun penelitian ini tidak mengkaji lebih mendalam tentang faktor-faktor penentu tingkat germinasi biji, namun paling tidak memberikan gambaran potensi rendahnya tingkat regenerasi yang terjadi

secara alami, sehingga akselerasi pemulihan hutan perlu mempertimbangkan upaya-upaya aktif termasuk melakukan penanaman pohon.

**Tabel 3** Perkecambahan dari tujuh spesies pohon asli selama tujuh bulan penelitian (sumber: Setiawan, 2010).

No	Spesies	Famili	Ukuran biji (mm)	Jumlah biji yang ditanam	Persentase biji berkecambah (%)	Periode germinasi (minggu ke)
1	<i>Acronodia punctata</i> Bl.	Elaeocarpaceae	10	150	0	0
2	<i>Distylium stellare</i> O.K.	Hammamelidaceae	6	150	4,67	14 - 22
3	<i>Engelhardtia spicata</i> Bl.	Juglandaceae	5	150	10,67	4 - 10
4	<i>Litsea citrata</i>	Lauraceae	5	150	2	14
5	<i>Syzygium glomeruliferum</i> Amsh	Myrtaceae	25	96	18,75	2 - 14
6	<i>Pittosporum moluccanum</i> (Lam.) Miq.	Pittosporaceae	5	150	1,33	14
7	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth	Theaceae	8	150	0	0

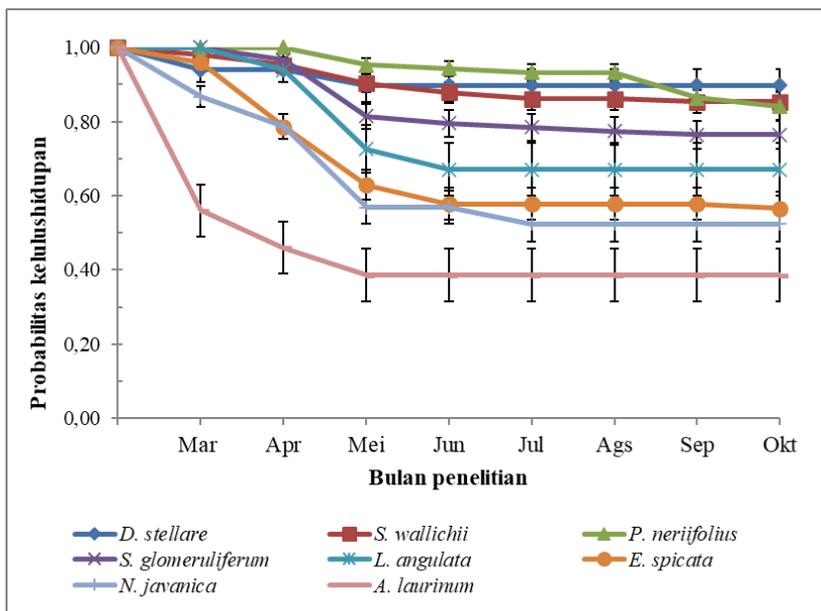
### 3.4.4 Kemampuan bertahan anakan

Setelah biji berhasil berkecambah dan berkembang menjadi anakan pohon (*seedling*), anakan akan terdedah pada serangkaian kondisi faktor biotik dan abiotik yang berpotensi untuk mengurangi pertumbuhan dan kelulushidupan anakan (Gambar 3, subbab 2.1). Faktor-faktor tersebut termasuk kompetisi dengan rumput, kondisi iklim mikro yang mencekam (*stressful*), rendahnya nutrisi pada tanah, rendahnya inokulasi mikoriza (Holl, 2000).

Tim kami melakukan penelitian untuk mengetahui kemampuan bertahan anakan pada masa awal penanaman terhadap delapan spesies pohon yang dilakukan pada areal bekas ladang; dekat dengan lokasi penelitian curahan biji dan germinasi (subbab 3.4.2 dan 3.4.3) (Setiawan, 2010). Uji kemampuan bertahan dilakukan terhadap anakan pohon yang dikumpulkan dari lantai hutan dari kawasan Gunung Papandayan dengan ukuran tinggi berkisar 10-20 cm; diasumsikan anakan dengan kisaran tinggi tersebut memiliki umur yang serupa. Delapan spesies yang dipilih merupakan anakan yang ditemukan dalam jumlah yang cukup berlimpah, yaitu *Schima wallichii*, *Podocarpus neriifolius*, *Neolitsea javanica*, *Engelhardtia spicata*, *Syzygium glomeruliferum*, *Litsea angulata*, *Acer laurinum*, dan *Distylium stellare*.

Setelah dilakukan penanaman, anakan tidak menerima perlakuan lain termasuk penyiangan gulma (rumput-rumputan). Pembersihan lahan dari gulma tidak dilakukan dengan tujuan meniru kondisi yang umumnya dijumpai di tahap awal suksesi pada lahan terbuka. Pengamatan dilakukan setiap dua minggu selama delapan bulan (Maret hingga Oktober 2010).

Dalam penelitian ini, kemampuan bertahan anakan ditunjukkan menggunakan probabilitas kelulushidupan selama delapan bulan penelitian (Gambar 11). Secara umum, terjadi penurunan kelulushidupan anakan yang besar pada tiga bulan setelah penanam dibandingkan pada periode sisa penelitian. Pola distribusi kelulushidupan di antara delapan spesies anakan dapat dikelompokkan menjadi empat: (1) spesies anakan dengan nilai distribusi kelulushidupan tinggi yaitu *Dystilium stellare*, *Schima wallichii*, dan *Podocarpus neriifolius*; (2) spesies anakan dengan nilai distribusi kelulushidupan menengah, yaitu *Syzygium glomeruliferum* dan *Litsea angulata*; (3) spesies anakan dengan nilai distribusi kelulushidupan rendah yaitu *Engelhardtia spicata* dan *Neolitsea javanica*; serta spesies anakan dengan nilai distribusi kelulushidupan sangat rendah yaitu *Acer laurinum*.



**Gambar 11** Pola kelulushidupan dari delapan spesies pohon selama delapan bulan penelitian (Sumber: Setiawan (2010). Sebagai catatan, selama penelitian telah terjadi pemotongan anakan yang tidak sengaja dilakukan oleh para pencari rumput untuk pakan ternak, yang mengakibatkan tereduksinya 27% jumlah anakan. Situasi ini dicoba diatasi dalam analisis data menggunakan pendekatan probabilitas *life table* dan uji Cochran-Mantel-Haenszel (Fothofer dkk., 2007).

Pola yang teramati pada penelitian ini terjadi dalam kondisi anakan yang tumbuh bersama gulma berupa rumput-rumputan yang melimpah. Gulma dijumpai melimpah sejak dua minggu setelah penanaman. Setelah dua bulan, tingkat penutupannya sudah mencapai 100%. Laju pertumbuhan gulma relatif lebih tinggi dibandingkan dengan laju pertumbuhan anakan, sehingga tinggi gulma dapat melebihi tinggi anakan setelah tiga bulan masa penelitian. Dengan kata lain, anakan pada penelitian ini tumbuh dalam kompetisi yang tinggi dengan gulma.

Pengelompokan pola distribusi kelulushidupan di antara delapan spesies dapat memberikan indikasi perbedaan kemampuan bertahan anakan antar spesies terhadap kompetisi dengan gulma; terutama saat kekeringan bukan masalah utama; kondisi yang dijumpai pada masa penelitian (curah hujan sebagian besar melebihi 200 mm per bulannya). Namun demikian, hasil penelitian ini harus diinterpretasikan dengan hati-hati, mengingat pertama, adanya masalah “kehilangan” anakan yang terjadi selama penelitian. Kedua, kekeringan tampaknya adalah kondisi yang lebih sering dijumpai menjadi faktor pencekam (*stressful factor*) dalam masa awal reforestasi. Ketiga, perbandingan dengan penelitian serupa yang dilakukan beberapa tahun setelahnya (El Farizy & Sulistyawati, 2012) dengan menggunakan anakan yang diproduksi di persemaian (memiliki umur seragam) dan mengalami masa cekaman kekeringan (curah hujan yang sangat rendah), menghasilkan pola kelulushidupan yang berbeda untuk beberapa spesies.

### **3.4.5 Regenerasi Alami**

Rekaman resultansi dari faktor-faktor yang memengaruhi regenerasi alami termasuk fenologi berbunga dan berbuah, curahan biji, germinasi biji, kemampuan bertahan anakan dan keberhasilan dalam berkompetisi sehingga suatu individu pada akhirnya mengukuhkan dirinya (*established*) menjadi bagian dari komunitas dapat dipelajari dengan menganalisis kondisi lahan yang vegetasinya pernah musnah dan kemudian dibiarkan (diberakan/*abandoned*) bersuksesi secara alami. Di kawasan Gunung Papandayan terdapat lahan yang pernah mengalami gangguan berupa konversi hutan menjadi lahan pertanian dan kemudian ditinggalkan (*abandoned*); lahan kemudian dibiarkan bersuksesi tanpa ada kegiatan penanaman pohon. Kondisi demikian memberikan kesempatan untuk

mempelajari regenerasi alami dan mengkaji peran hutan yang bersebelahan sebagai sumber biji.

Tim kami mempelajari fenomena regenerasi alami yang terjadi setelah 11 tahun bersukses (Wetadewi & Sulistyawati, 2015; Wetadewi, 2015) dengan melakukan pengamatan komunitas pohon pada berbagai tahapan hidup: anakan, pohon muda dan pohon dewasa, sepanjang *belt transect* yang membentang melalui tiga tapak yang memiliki kondisi vegetasi berbeda: hutan sekunder, bekas ladang yang tidak terganggu dan bekas ladang yang terganggu (Gambar 12). Pada tapak bekas ladang terganggu, lahan kerap digunakan ternak (kerbau) untuk merumput. Dalam perspektif ekologi, aktivitas kerbau memakan rumput di lahan bekas ladang dapat dipandang sebagai suatu bentuk gangguan.



**Gambar 12** Skema plot penelitian pada tiga kondisi vegetasi berbeda (Sumber: Wetadewi & Sulistyawati, 2015)

Setelah 11 tahun suksesi, kondisi lahan bekas ladang secara umum masih terbuka, semak belukar masih mendominasi lantai hutan, namun *tree establishment* sudah terjadi. Hasil penelitian menemukan 34 spesies pohon di tapak hutan, 13 spesies pohon di tapak bekas ladang tidak terganggu dan 5 spesies pohon di tapak bekas ladang terganggu. Sebanyak 14 spesies ditemukan di kedua kedua tapak bekas ladang (terganggu dan tidak terganggu) dan seluruhnya ditemukan juga di tapak hutan. Keempat belas spesies yang mampu mengkolonisasi lahan bekas ladang adalah *Saurauia pendula*, *Macropanax dispermus*, *Elaeocarpus acronodia*, *Castanopsis acuminatissima*, *Castanopsis argentea*, *Lithocarpus elegans*, *Distylium stellare*, *Engelhardhia spicata*, *Litsea diversifolia*, *Neolitsea javanica*, *Magnolia sumatrana* var. *glauca*, *Syzygium lineatum*, *Prunus grisea* dan *Acer laurinum*.

Kesamaan spesies pohon yang mengkolonisasi lahan bekas ladang dengan yang ada di hutan sekunder mengindikasikan peran hutan terdekat sebagai sumber biji bagi lahan sekitarnya. Kolonisasi spesies pohon dari hutan ke area bekas ladang dapat mencapai 200 meter. Kondisi lahan bekas ladang tajuknya

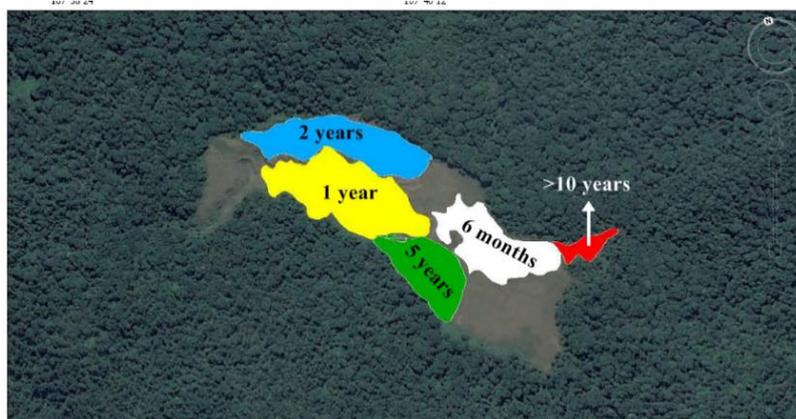
masih cukup terbuka dan lantai hutannya didominasi oleh perdu dan herba; kondisi ini juga menciptakan persaingan nutrisi bagi anak-anak atau tumbuhan muda. Empat belas spesies pohon yang muncul dan menyusun komunitas vegetasi di lahan bekas ladang mengindikasikan kemampuannya bertahan dalam kondisi lahan terbuka dan kompetisi yang tinggi dengan herba dan perdu. Kemampuan tersebut merupakan salah satu karakteristik yang dapat dipertimbangkan dalam pemilihan spesies pohon untuk penanaman awal restorasi hutan. Namun demikian, masih diperlukan studi eksperimental untuk menguji kemampuan bertahan dari daftar spesies potensial yang diidentifikasi dari hasil studi ini.

Studi ini juga menemukan bahwa kerapatan pohon muda pada lahan bekas ladang tidak terganggu (130 batang/ha) dan terganggu (80 batang/ha) jauh lebih rendah dibandingkan pada hutan (1760 batang/ha). Hal ini mengindikasikan tingkat regenerasi alami yang rendah pada lahan bekas ladang yang berhasil. Tapak bekas ladang terganggu memiliki tingkat regenerasi dan keragaman spesies pohon yang paling rendah. Jarak terhadap hutan dan gangguan dari aktivitas hewan ternak yang merumput tampaknya merupakan faktor yang memengaruhi. Pada lahan tersebut, masyarakat lokal sering melepaskan kerbau untuk merumput; aktivitas ini dapat menciptakan kerusakan berupa mati/rusakannya anak-anak atau pohon muda karena dimakan atau tertabrak serta pemadatan tanah pada lintasan yang sering digunakan.

### **3.4.6 Kebakaran berulang dan regenerasi alami.**

Regenerasi alami melalui suksesi pasca hutan terganggu di antaranya dipengaruhi oleh curahan biji dan jarak ke hutan terdekat yang berpotensi sebagai sumber biji (Guariguata & Ostertag, 2001). Meskipun suatu tapak secara terus menerus mendapatkan curahan biji, adanya gangguan yang berulang dapat menghancurkan biji yang datang dan pada akhirnya menghambat suksesi (Slik dkk., 2008). Pada subbab 3.4 telah dijelaskan bahwa suatu peristiwa kebakaran yang terjadi secara berulang selama puluhan tahun telah menghasilkan terbentuknya sebuah padang rumput yang didominasi oleh ilalang (*Imperata cylindrica*) dan dikenal dengan nama Tegal Panjang (Gambar 9; lokasi C). Persistensi *patch* padang rumput yang dikelilingi hutan alami yang masih utuh telah dilaporkan oleh van Steenis (1972) dan keberadaannya masih bertahan sampai saat ini.

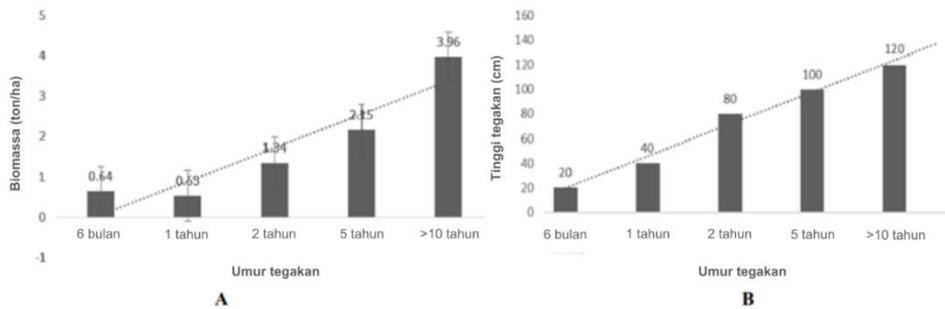
Kebakaran di padang rumput Tegal Panjang sering kali terjadi secara parsial, artinya tidak mencakup seluruh hamparan. Sehingga, meski pada skala bentang alam yang luas (Gambar 9) padang rumput Tegal Panjang tampak homogen, tetapi apabila cakupan area pengamatan dipersempit (hamparan padang rumput saja), akan dijumpai heterogenitas spasial pada hamparan rumput yang dipicu oleh perbedaan waktu (*timing*) terjadinya gangguan kebakaran. Adanya beberapa lokasi yang terbakar pada waktu yang berbeda, menciptakan *patch-patch* vegetasi yang berada pada tahapan suksesi berbeda, yang berkorelasi dengan “umur” vegetasi. Keberadaan kondisi seperti ini memberikan kesempatan yang baik untuk mempelajari perkembangan vegetasi selama suksesi pascakebakaran menggunakan pendekatan *chronosequence*. Melalui pendekatan ini, perkembangan vegetasi selama suksesi dipelajari dengan membanding beberapa tapak yang memiliki umur berbeda-beda, dengan catatan tapak-tapak yang dibandingkan memiliki kondisi substrat yang sama (Walker dkk., 2010). Dengan menggunakan pendekatan ini, tim kami mempelajari suksesi pasca kebakaran di Tegal Panjang (Sulistyawati & Fitriana, 2017) dengan membandingkan kondisi vegetasi pada lima tapak yang memiliki umur berbeda-beda, yaitu 6 bulan, 1 tahun, 2 tahun, 5 tahun dan lebih dari 10 tahun (Gambar 13).



**Gambar 13** Tapak-tapak di padang rumput Tegal Panjang dengan umur yang berbeda-beda yaitu 6 bulan, 1 tahun, 2 tahun, 5 tahun dan lebih dari 10 tahun (Sumber: Sulistyawati & Fitriana, 2017).

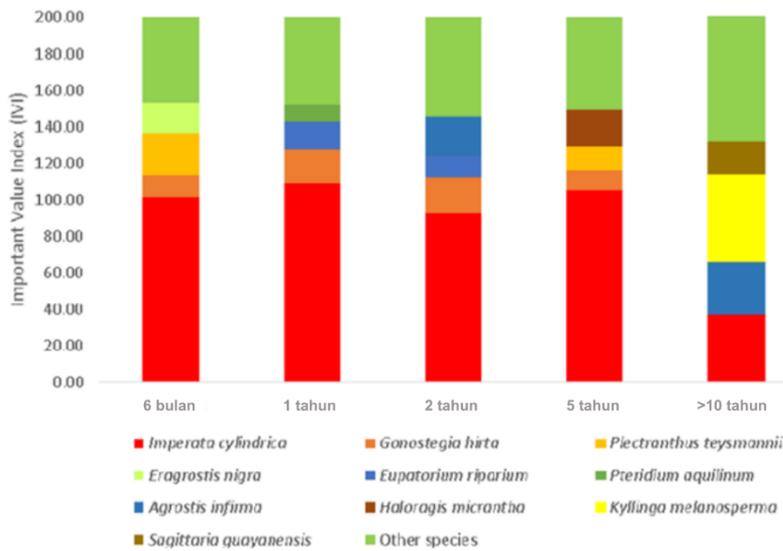
Hasil penelitian yang disajikan pada Gambar 14 menunjukkan bahwa biomassa dan ketinggian *Imperata cylindrica* meningkat sejalan dengan bertambahnya umur tapak. Sebagai catatan, meski umurnya berbeda-beda, semua tapak telah tertutupi vegetasi yang terdiri dari beberapa spesies herba

dan perdu, tetapi didominasi oleh *Imperata cylindrica* kecuali pada tapak > 10 tahun. Karena dominasinya, maka ketinggian *Imperata cylindrica* dianggap menggambarkan struktur tegakan. Hasil penelitian juga menunjukkan adanya penambahan biomassa sejalan dengan bertambahnya waktu suksesi, dengan laju akumulasi sebesar 0,43 ton ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup> pada lima tahun pertama. Nilai laju akumulasi biomassa pada suksesi di padang rumput ini tergolong rendah dibandingkan laju akumulasi biomassa pada suksesi sekunder di hutan seperti pernah dilaporkan oleh Saldarriaga dkk. (1988).



**Gambar 14** Biomassa dan fisiognomi tumbuhan di Gunung Papandayan: (A) biomassa tegakan dan (B) tinggi tegakan *Imperata cylindrica* di seluruh tapak pengambilan sampel (Sumber: Sulistyawati & Fitriana, 2017)

Rendahnya akumulasi biomassa pada suksesi di padang rumput Tegal Panjang tampaknya berkaitan dengan tidak berkembangnya komunitas pohon. Pada keseluruhan tapak ditemukan 37 spesies tumbuhan dari bentuk hidup herba dan perdu, tidak ada bentuk hidup pohon yang ditemukan bahkan pada tapak yang paling tua. Kisaran kekayaan spesies yang ditemukan pun cukup sempit, yaitu dari 17 (tapak 6 bulan) sampai 21 (tapak > 10 tahun); menunjukkan diversifikasi spesies selama suksesi terjadi secara lambat. Gambar 15 menunjukkan dominasi yang kuat dari *Imperata cylindrica* pada hampir semua tapak, kecuali yang berumur > 10 tahun di mana *Kyllinga melanosperma* dan *Agrostis infirma* juga mendominasi. Dominasi *Imperata cylindrica* atau ilalang terkait dengan kemampuan spesies ini dalam berkompetisi untuk mendapatkan air dan nutrisi, menyebar secara luas dan bertahan pada berbagai kondisi lingkungan melalui produksi biji dan rhizomanya, serta sifatnya yang alelopatik dan *pyrogenic* (Parker, 2008). Karakterika ini juga membuat *Imperata cylindrica* cepat menguasai lahan setelah kebakaran dan menekan pertumbuhan spesies lain.



**Gambar 15** Indeks nilai penting (*important value index/IVI*). Di setiap tapak, hanya empat spesies dengan IVI tertinggi yang dicantumkan, sementara spesies lainnya dikategorikan dalam 'other species' atau spesies lainnya (Sumber: Sulistyawati & Fitriana, 2017).

Tidak ditemukannya bentuk hidup pohon pada penelitian ini, bahkan pada tapak yang telah bersukses lebih dari 10 tahun, sangat kontras dengan hasil penelitian Wetadewi & Sulistyawati (2015) pada lokasi yang mengalami gangguan tunggal dan dibiarkan bersukses (subbab 3.4.5). Pada penelitian Wetadewi & Sulistyawati, setelah 11 tahun bersukses, area bekas ladang yang berdampingan dengan hutan berhasil dikolonisasi oleh 13 spesies pohon. Padahal, Tegal Panjang dikelilingi oleh hutan utuh dengan spesies pohon yang beragam sehingga seharusnya berpotensi sebagai sumber biji untuk memencar ke padang rumput. Meskipun curahan biji ke padang rumput tidak dikaji dalam penelitian ini, kebakaran berulang yang terjadi selama puluhan tahun diduga telah mereduksi *seed bank* spesies pohon di tanah dan menyebabkan komunitas pohon tidak berkembang di padang rumput Tegal Panjang.

Sebagai gambaran besarnya peran kebakaran dalam menggerakkan dinamika vegetasi di padang rumput Tegal Panjang, sebulan setelah pengambilan data selesai, yaitu bulan Agustus 2015 (puncak musim kemarau), padang rumput Tegal Panjang kembali terbakar. Kali ini mencakup hampir seluruh hamparan padang rumput dan menghancurkan vegetasi termasuk pada tapak-tapak penelitian (Nurdianto Jiwandono, komunikasi personal). Dalam keadaan demikian, suksesi akan kembali ke tahap awal, yaitu

kolonisasi dan dominasi oleh *Imperata cylindrica* saat musim hujan tiba. Kebakaran berulang yang selama ini terjadi di padang rumput Tegal Panjang telah menciptakan kondisi suksesi yang tertahan atau *arrested succession*, sehingga regenerasi alami yang mengarah ke terbentuknya hutan sejauh ini belum terjadi.

### 3.5 Kajian Dinamika Hutan Berbasis Plot Sampel Permanen

Pada saat restorasi hutan perlu diakselerasi dengan penanaman pohon, penggunaan spesies pohon asli (*indigenous tree species*) yang merupakan bagian dari komunitas vegetasi sebelumnya adalah langkah awal untuk memulihkan biodiversitas. Kriteria pemilihan spesies pohon umumnya mempertimbangkan karakter ekologis (mis. kesintasan, pertumbuhan, bentuk tajuk dan kemampuan menghasilkan bunga dan buah yang dapat menarik hewan pemencar biji), silvikultur (mis. kemudahan untuk perbanyak, pola bergerminasi biji dan laju pertumbuhan anakan) dan memberikan manfaat ekonomis kepada masyarakat di sekitar lokasi restorasi (Elliott dkk., 2013). Sayangnya, tidak seperti spesies pohon komersial, informasi ekologis dan silvikultur dari spesies pohon asli seringkali belum banyak diketahui (Alvarez-Aquino, 2004) sehingga jumlah jenis yang digunakan dalam program penanaman pohon sering kali terbatas.

Pada bagian terdahulu telah disampaikan beberapa contoh kajian aspek ekologis dari beberapa spesies pohon asli, yaitu fenologi, germinasi, kemampuan bertahan anakan serta kemunculannya pada lahan yang sedang bersuksesi pasca gangguan berakhir (subbab 3.4). Namun, beberapa karakter ekologis, misalnya laju pertumbuhan, memerlukan pengamatan dalam jangka panjang (multi-tahun) untuk mendapatkan informasinya; pada kondisi demikian diperlukan kajian menggunakan pendekatan plot sampel permanen (*permanent sample plot/PSP*).

Pada sebuah PSP, semua individu diberi tanda, diidentifikasi dan diukur secara berulang dalam jangka waktu tertentu, sehingga dapat menyajikan rangkaian data kondisi hutan dan dinamikanya secara mawaktu (Brearley dkk., 2019). Data jangka panjang mengenai pertumbuhan, kematian, regenerasi, dan dinamika pohon dalam suatu kawasan hutan juga bisa dihasilkan (Condit, 1995) termasuk di antaranya yang sifatnya spesifik spesies, misalnya laju pertumbuhan spesies tertentu. PSP juga bermanfaat

untuk memahami dinamika jangka panjang terkait tekanan manusia dan perubahan iklim terhadap ekosistem hutan termasuk bagaimana pohon meresponsnya (Chazdon dkk., 2005, Murthy dkk. 2016).

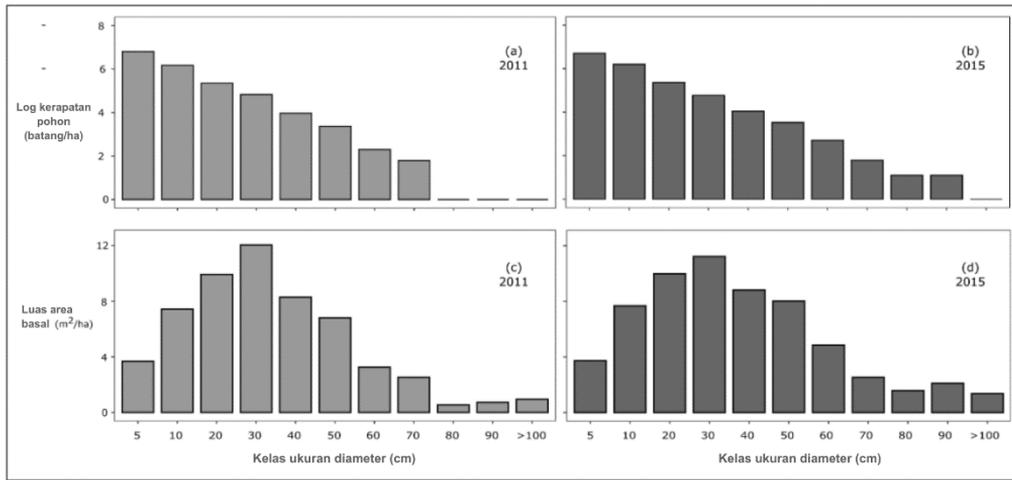
Tim kami mengembangkan plot sampel permanen di hutan Gunung Papandayan pada lokasi yang berada di tengah kawasan hutan (Gambar 9; lokasi D) seluas 1 hektar (100 x 100 m) dan terletak di ketinggian 2.262 mdpl (Iqbal, 2012). Semua individu pohon dengan diameter setinggi dada (*diameter at breast height/DBH*; 1,3 m) > 5 cm diukur, diidentifikasi nama spesiesnya dan posisi koordinatnya (Cartesian) dipetakan. Kondisi awal dan dinamika komunitas pohon selama empat tahun pertama telah dilaporkan dalam Sulistyawati dkk. (2022) dan beberapa cuplikan datanya disajikan di sini.

Dari pengukuran perdana di tahun 2011 tercatat sejumlah 1.820 individu pohon dengan diameter > 5 cm yang berasal dari 33 spesies dan 20 famili. Pada tahun 2015, jumlah pohon bertambah (1.845) dan spesiesnya sedikit berkurang menjadi 32 spesies dari 19 famili. Struktur tegakan pohon yang disajikan pada Gambar 16 menunjukkan bahwa pada kedua tahun pengukuran (2011 dan 2015), jumlah individu terbanyak berada di kelas DBH terkecil (5-10 cm); jumlah individu per kelas DBH semakin berkurang dengan bertambahnya ukuran pohon. Pada hutan alami, waktu kemunculan individu pohon tidak diketahui secara pasti, sehingga distribusi ukuran pohon (DBH) sering digunakan juga untuk menunjukkan struktur umur komunitas. Tingginya proporsi individu muda dalam komunitas pohon hutan menunjukkan potensi regenerasi yang baik.

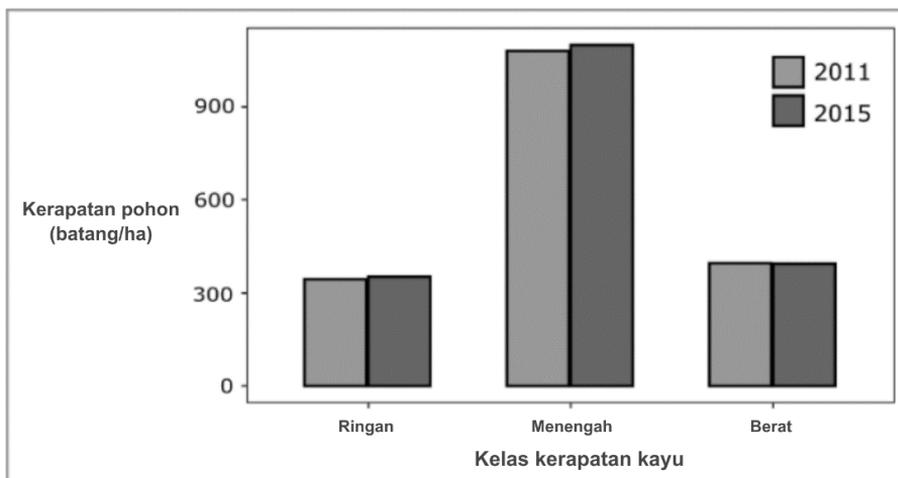
Luas area basal menggambarkan penguasaan sumber daya di tanah. Polanya menunjukkan dominasi oleh pohon pada kelas DBH pertengahan (20-50 cm), baik pada tahun 2011 maupun 2015. Selain itu, pada dua tahun pengukuran, proporsi jumlah pohon berdasarkan kelas kerapatan kayunya menunjukkan pola yang mirip, yaitu sebagian besar pohon memiliki kayu dengan kelas kerapatan menengah (59%) (Gambar 17).

Hutan pada plot sampel permanen menunjukkan karakteristik hutan tua, yang dicirikan di antaranya dengan tajamnya kemiringan kurva distribusi umur (Gambar 16) serta besarnya proporsi pohon dengan kelas kerapatan kayu menengah dan berat (Gambar 17). Kerapatan kayu komunitas pohon adalah salah satu prediktor tahap suksesi suatu hutan (Silk, 2005). Hutan yang

proporsi terbesar pohonnya memiliki kerapatan kayu medium dan berat berada pada tahapan suksesi yang lebih lanjut dibandingkan dengan hutan proporsi terbesar pohonnya memiliki kerapatan kayu rendah (Slik dkk., 2008). Karakteristika hutan tua juga ditunjukkan dari hasil studi lain di plot ini yang menunjukkan kondisi tajuk hutan yang kompleks (Rozieanti, 2011). Selama empat tahun, tingkat rekrutmen pohon (4,2%) lebih tinggi dari mortalitas (2,8%); hal ini mengindikasikan regenerasi hutan yang baik.



**Gambar 16** Struktur tegakan pohon plot permanen seluas 1 hektar di Gunung Papandayan: kerapatan pohon (batang/ha) berdasarkan kelas ukuran diameter yang diukur pada tahun (a) 2011 dan (b) 2015; serta luas area basal (m<sup>2</sup>) berdasarkan kelas ukuran diameter yang diukur pada tahun (c) 2011 dan (d) 2015 (Sumber: Sulistyawati dkk., 2022).



**Gambar 17** Kerapatan pohon per hektar berdasarkan tiga klasifikasi kerapatan kayu dari spesiesnya (Melo dkk., 1990), yaitu: ringan (<0,5 g/cm<sup>3</sup>), medium (0,5-0,72 g/cm<sup>3</sup>), berat (>0,72 g/cm<sup>3</sup>) (Sumber: Sulistyawati dkk., 2022).

Apabila ditinjau dari spesies penyusunnya (Tabel 4), pada kedua tahun pengamatan, hampir pada semua kelas diameter didominasi oleh *Distylium stellare*, kecuali pada kelas DBH terkecil 5-10 cm (*Astronia spectabilis* and *Symplocos fasciculata*) dan kelas DBH terbesar > 100 cm (*Syzygium polyanthum*). Melimpahnya *Distylium stellare* pada hampir semua kelas diameter menunjukkan, pertama, keberhasilannya untuk beregenerasi di bawah tegakan hutan yang rapat atau dalam kondisi ternaung; kedua, spesies ini masih akan menjadi komponen dominan penyusun komunitas pohon tapak tersebut sampai beberapa saat ke depan.

**Tabel 4** Spesies dominan dalam berbagai kelas ukuran diameter pada dua tahun pemantauan yang berbeda (2011&2015) berdasarkan Indeks Nilai Penting (*Importance Value Index* - IVI) (Sumber: Sulistyawati dkk., 2022)

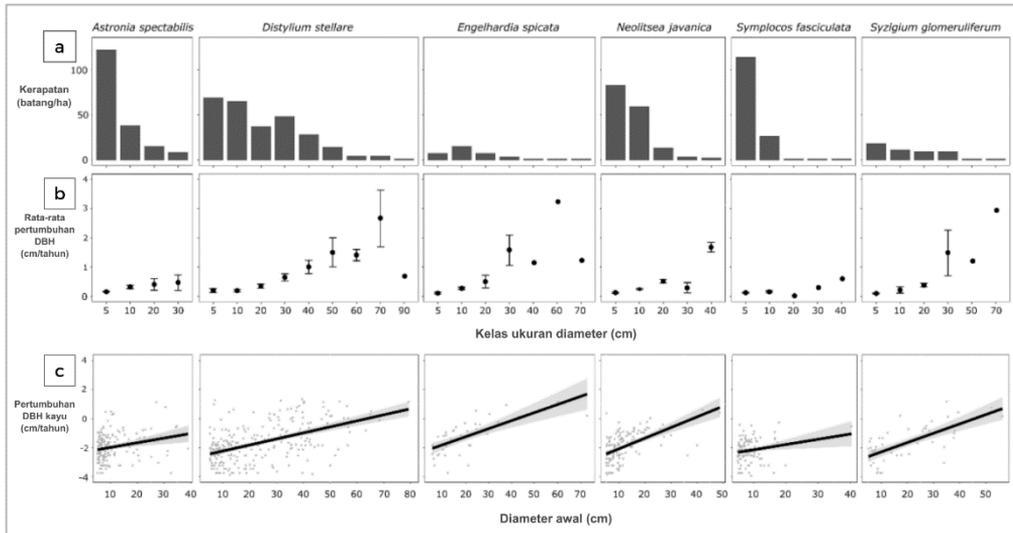
Kelas ukuran diameter (cm)	Jumlah spesies		Spesies dengan IVI tertinggi*	
	2011	2015	2011	2015
Semua kelas	33	32	<i>D. stellare</i> (58,3)	<i>D. stellare</i> (58,4)
5-10	31	31	<i>A. spectabilis</i> (30,6) & <i>S. fasciculata</i> (29,8)	<i>A. spectabilis</i> (31,6) & <i>S. fasciculata</i> (29,8)
10-20	29	28	<i>D. stellare</i> & <i>N. javanica</i> (32,6)	<i>D. stellare</i> (37,3) & <i>N. javanica</i> (32,6)
20-30	21	21	<i>D. stellare</i> (40,5)	<i>D. stellare</i> (40,7)
30-40	18	18	<i>D. stellare</i> (84,7)	<i>D. stellare</i> (85,5)
40-50	10	10	<i>D. stellare</i> (113,7)	<i>D. stellare</i> (115,2)
50-60	9	8	<i>D. stellare</i> (117,3)	<i>D. stellare</i> (128,9)
60-70	7	7	<i>D. stellare</i> (81,1)	<i>D. stellare</i> (82,9)
70-80	3	3	<i>D. stellare</i> (134,9)	<i>D. stellare</i> (136,0)
80-90	1	1	<i>D. stellare</i> (200)	<i>D. stellare</i> (200)
90-100	1	1	<i>D. stellare</i> (200)	<i>D. stellare</i> (200)
>100	1	1	<i>S. polyanthum</i> (200)	<i>S. polyanthum</i> (200)

Catatan:

\*Indeks Nilai Penting (IVI) spesies dihitung berdasarkan 'kerapatan relatif' dan 'luas area basal relatif'. Nilai IVI maksimum adalah 200.

Penelitian ini juga melakukan analisis secara spesifik terhadap beberapa spesies yang memiliki kelimpahan tinggi dan terdapat individu yang ditemukan paling tidak di lima kelas DBH, yaitu *Astronia spectabilis*, *Distylium stellare*, *Engelhardia spicata*, *Neolitsea javanica*, *Symplocos fasciculata*, dan *Syzygium glomeruliferum* (Gambar 18). Secara umum terlihat bahwa laju pertumbuhan untuk semua spesies dipengaruhi oleh diameter awal pohon; laju pertumbuhan semakin tinggi pada pohon dengan ukuran lebih besar (Gambar 18-b dan 18-c). Hal ini mengindikasikan semakin besarnya ukuran pohon, keberadaan pohon tersebut di tapak lebih mapan karena batangnya cukup kuat untuk menopang keseluruhan tajuk, sistem perakaran cukup luas untuk menyerap nutrisi dari tanah, dan tajuknya memproduksi sumber daya yang cukup (melalui fotosintesis) untuk mendukung pertumbuhan. Selain itu

juga ditemukan beberapa spesies memiliki proporsi jumlah individu muda (DBH 5 – 10 cm) yang sangat tinggi, yaitu *Astronia spectabilis*, *Neolitsea javanica* dan *Symplocos fasciculata* (Gambar 18-a).



**Gambar 18** Frekuensi, rata-rata, dan regresi logistik pertumbuhan diameter tahunan ( $\pm$  standar error dari rata-rata) dari enam spesies pohon dengan ukuran diameter berbeda selama 2011-2015. Spesies dipilih berdasarkan kelimpahannya yang tinggi dan terdiri dari setidaknya lima kelas ukuran diameter (Sumber: Sulistyawati dkk., 2022).

Secara umum dapat dikatakan dinamika komunitas pohon selama empat tahun tidak terlalu tinggi, terutama dalam hal struktur dan komposisinya. Analisis dinamika hutan pada durasi yang lebih panjang diduga akan memberikan gambaran yang berbeda. Saat ini, pengukuran ulang setelah sepuluh tahun sejak plot pertama kali dibuat telah dilakukan dan datanya sedang dalam proses analisis.

Hal lain yang perlu menjadi catatan adalah dinamika pada level komunitas maupun spesies yang terlihat dalam penelitian ini merepresentasikan kondisi hutan yang berada di bagian “interior” kawasan hutan Gunung Papandayan (Gambar 9; lokasi D). Daerah interior ini relatif minim gangguan manusia, tajuknya relatif tertutup sehingga menciptakan kondisi ternaung (*shaded*), dan memiliki kelembaban udara yang tinggi, seperti ditunjukkan dengan melimpahnya lumut-lumutan di batang pohon. Kondisi ini berbeda dengan hutan yang berada di bagian “tepi” kawasan (misalnya lokasi B pada Gambar 9). Daerah tepi memiliki riwayat gangguan manusia dalam berbagai bentuk dan terletak bersebelahan dengan area terbuka (ladang atau semak belukar)

sehingga memicu terbentuknya “efek tepi” (Forman, 1995). Hasil penelitian kami (Sulistyawati & Tihurua, 2019) menunjukkan adanya perbedaan pada beberapa aspek struktural dan floristik antara tapak hutan yang terletak di bagian interior dan tepi di kawasan Gunung Papandayan. Kondisi tajuk yang relatif terbuka pada hutan tepi diperkirakan menghasilkan pola dinamika yang berbeda dengan hutan interior, sehingga perlu dipertimbangkan untuk pembangunan plot sampel permanen di hutan bagian tepi ini.

### **3.6 Lesson Learnt dari Gunung Papandayan untuk Restorasi Hutan**

Dari beberapa penelitian yang dilakukan oleh tim kami di kawasan Gunung Papandayan sebagaimana dipaparkan di bagian sebelumnya, terdapat beberapa pelajaran yang bisa ditarik dan digunakan untuk mengembangkan program restorasi yang lebih baik. Berikut adalah ringkasan implikasi kajian ekologi yang telah dilakukan.

#### **3.6.1 Regenerasi alami pada hutan pasca-gangguan berjalan lambat**

Meskipun rehabilitasi hutan telah diawali dengan penanaman dua spesies pohon asli, hanya terdapat penambahan 11 spesies pohon asli selama tujuh tahun suksesi pada temuan Setiawan & Sulistyawati (2021). Kondisi serupa juga dijumpai pada temuan Wetadewi & Sulistyawati (2015); pada regenerasi alami yang berlangsung tanpa diawali dengan penanaman pohon, ditemukan 14 spesies pohon setelah 11 tahun suksesi. Padahal, kedua lokasi tersebut berada bersebelahan dengan hutan sekunder yang berpotensi sebagai sumber biji.

Jumlah penambahan spesies hasil regenerasi alami ini kurang dari separuh dari jumlah spesies pada hutan sekunder yang bersebelahan dan sangat jauh dibandingkan dengan jumlah seluruh spesies pohon yang pernah dilaporkan di Kawasan Gunung Papandayan (94 spesies). Hal ini tampaknya berkaitan dengan rendahnya kelimpahan dan keragaman pada curahan biji seperti ditunjukkan oleh Setiawan & Sulistyawati (2021) dan masih mendominasinya rumput/semak yang bersifat sebagai gulma di lahan akibat lambatnya penutupan lahan oleh tajuk pepohonan. Keberadaan gulma yang

melimpah dapat menyebabkan biji yang telah bergerminasi kalah dalam persaingan air dan nutrisi.

Pada kondisi demikian, upaya akselerasi pemulihan biodiversitas dalam restorasi hutan dapat dilakukan di antaranya dengan memasang struktur yang dapat menarik kehadiran satwa pemencar biji dalam bentuk tempat bertengger burung buatan (*artificial bird perches*) di lokasi restorasi (Holl dkk., 2000; Elliot dkk., 2013). Pendekatan lainnya adalah meningkatkan jumlah spesies pohon yang ditanam di awal program restorasi, misalnya mengadopsi metode spesies kerangka (*framework spesies method*) atau maksimum biodiversitas (*maximum biodiversity methods*) (Elliot dkk., 2013).

### **3.6.2 Karakteristik gangguan berpengaruh pada proses regenerasi alami.**

Intensitas gangguan yang terjadi pada lahan bekas ladang yang terdedah pada aktivitas hewan ternak (kerbau) pada temuan Wetadewi & Sulistyawati (2015) masih memfasilitasi *tree establishment* dari 5 spesies pohon selama 11 tahun suksesi. Kerusakan dari aktivitas hewan ternak ini bisa berupa mati/rusaknya anakan atau pohon muda karena dimakan atau tertabrak, serta pemadatan tanah pada lintasan yang sering digunakan. Hewan ternak biasanya selektif dalam memilih makanan, terbatas pada tumbuhan yang *palatable* saja, sehingga tidak seluruh vegetasi rusak karena jenis gangguan ini. Namun demikian, dampak dari gangguan hewan ternak ini akan bergantung pada kepadatan populasinya. Sangat mungkin hambatan regenerasi alami akan lebih tinggi apabila populasi hewan ternak meningkat.

Dalam keadaan demikian, menghilangkan gangguan, misalnya dengan mencegah masuknya hewan ternak di lokasi restorasi dapat dilakukan untuk menghilangkan salah satu hambatan regenerasi alami. Namun demikian, aktivitas hewan ternak di lokasi restorasi juga berpotensi memberikan beberapa manfaat, di antaranya berupa berkurangnya kompetisi anakan atau pohon muda dengan gulma (apabila ternak memakan gulma), hewan ternak dapat berperan sebagai agen pemencar utk biji berukuran besar terutama apabila hewan ungulata liar sudah tidak ada di lokasi (Elliot dkk., 2013). Selain ini, kotoran ternak yang dijatuhkan di lokasi juga dapat memberikan tambahan nutrisi ke tanah. Oleh karena itu, pengelolaan hewan ternak di

lokasi restorasi harus mempertimbangkan manfaat dan dampak negatifnya dan harus dilakukan dengan hati hati.

Kondisi yang kontras dijumpai pada lahan yang mengalami gangguan kebakaran dengan frekuensi yang berulang di padang rumput Tegal Panjang (Sulistyawati & Fitriana, 2017) di mana *tree establishment* tidak terjadi meskipun lahan berada dekat sekali dengan hutan yang berpotensi sebagai sumber biji pohon. Kebakaran yang berulang hampir di setiap musim kemarau di Tegal Panjang, telah memusnahkan bank biji sehingga menghambat *tree establishment*. Kebakaran juga memberikan keuntungan kepada rumput ilalang (*Imperata cylindrica*) yang memiliki daya regenerasi tinggi, sehingga cepat mendominasi kembali lahan setelah kebakaran. Selanjutnya, dominasi lahan oleh ilalang menciptakan kondisi vegetasi yang kering dan mudah terbakar. Umpan balik antara kebakaran-vegetasi seperti ini, dalam jangka panjang akan menghambat terjadinya suksesi yang mengarah ke bentuk hutan sebelumnya.

Dampak gangguan kebakaran berulang yang dapat mengarah ke terbentuknya kondisi suksesi yang tertahan (*arrested succession*) ini akan menghambat pulihnya biodiversitas. Kondisi ini harus dihindari, sehingga pencegahan kebakaran pada kegiatan restorasi hutan sangatlah penting (Mata dkk., 2022), terutama apabila kegiatan restorasi yang dilakukan skala luas dalam kondisi lahan yang terbuka di mana risiko terjadinya kebakaran akan tinggi. Restorasi aktif dengan menanam spesies pohon yang cepat tumbuh dan segera membentuk tajuk tegakan yang rapat akan segera menciptakan kondisi iklim mikro hutan yang lebih lembab sehingga mengurangi risiko kebakaran.

### **3.6.3 Informasi karakter spesies pohon untuk mendukung restorasi.**

Apabila kondisi lahan kurang mendukung untuk dilakukan restorasi pasif yang mengandalkan sepenuhnya pada regenerasi alami, misalnya karena sedikitnya regenerasi (anakan/trubusan), maka restorasi aktif dengan menanam spesies pohon asli diperlukan. Penanaman spesies pohon asli untuk kegiatan restorasi dalam skala besar seringkali terhambat karena terbatasnya informasi dasar tentang biologi reproduksi, penanganan biji, propagasi dan silvikultur dari sebagian besar spesies asli (Alvarez-Aquino

dkk., 2004). Informasi yang bersifat spesifik spesies (*species-specific*) tersebut diperlukan pertama, untuk memilih spesies mengingat mungkin hanya sebagian dari puluhan atau bahkan ratusan spesies pohon asli yang ditemukan pada ekosistem referensi akan digunakan dalam penanaman awal. Kedua untuk merancang strategi produksi bibit di persemaian. Beragamnya spesies pohon yang digunakan dalam restorasi tentunya menghadirkan tantangan tersendiri, karena adanya variasi waktu berbunga-berbuah (untuk pemanenan biji), germinasi dan laju pertumbuhan antar-spesies yang harus dipertimbangkan untuk memproduksi bibit ukuran siap tanam, dalam jumlah besar dan tersedia pada waktu penanaman yang telah dijadwalkan.

Pemilihan spesies pohon diawali dengan penyusunan daftar spesies dari hutan yang dijadikan referensi. Untuk kondisi kawasan hutan Gunung Papandayan, dari berbagai studi vegetasi yang telah dilakukan (Tabel 2), telah terdata paling tidak 94 spesies pohon. Apabila restorasi hutan dilakukan menggunakan metode spesies kerangka (*framework species*) (subbab 2.3), Elliot dkk. (2013) menyediakan panduan untuk melakukan penapisan (*screening*) untuk memilih 20-30 spesies kerangka yang memiliki karakteristik sebagai berikut: spesies asli, nondomestikasi, sesuai dengan habitat dan ketinggian lokasi; pertumbuhan dan kesintasan tinggi; memiliki tajuk yang rapat untuk mengalahkan gulma; menarik bagi satwa liar; tahan kebakaran; mudah diperbanyak; klimaks atau spesies berbiji besar.

Tahap penapisan awal dapat dilakukan melalui survei, studi literatur ataupun wawancara dengan penduduk asli. Berbagai studi yang telah dilakukan di hutan Gunung Papandayan dapat dipergunakan untuk memilih kandidat spesies potential di tahap penapisan awal. Hasil uji pertumbuhan anakan (Setiawan, 2010) dan kemunculan spesies pohon secara alami sebagai hasil suksesi (Weta & Sulistyawati, 2015) memberikan indikasi akan kemampuan bertahan spesies terhadap kondisi awal restorasi, baik terhadap kondisi terbuka maupun kemampuan bersaing dengan gulma. Hasil uji germinasi (Setiawan, 2010) memberikan gambaran tantangan atas performa spesies apabila metode penanaman dengan penaburan langsung (*direct seeding*) digunakan. Hasil kajian berbasis permanen sampel permanen (Sulistyawati dkk., 2022) dapat mengindikasikan laju pertumbuhan dan kemampuan spesies beregenerasi dalam kondisi ternaung. Potensi spesies untuk menarik satwa dapat digali dari informasi tipe buah atau bunga dari literatur.

Selanjutnya, karakter ini harus dikonfirmasi melalui eksperimen di persemaian dan di lapangan untuk mendapatkan daftar final spesies kerangka. Peran ilmu silvikultur sangat diperlukan di tahap ini dan tahap selanjutnya, yaitu produksi bibit dan penanaman. Produksi bibit spesies asli akan memerlukan informasi ketersediaan biji untuk dipanen; informasi tersebut dapat diperoleh dari kajian fenologi berbunga dan berbuah seperti pada Sulistyawati dkk. (2012). Apabila kajian fenologi dimaksudkan untuk mendukung produksi bibit di persemaian, spesies pohon yang akan dijadikan pohon sumber benih (pohon induk) harus menjadi bagian dari target pengamatan. Tersedianya data berupa “kalender fenologi “ untuk setiap spesies pohon akan membantu penentuan waktu yang tepat untuk pemanenan biji dari pohon dan waktu penyimpanan biji untuk menyesuaikan dengan rangkaian tahapan produksi bibit sehingga bibit dapat tersedia dalam jumlah dan waktu yang ditargetkan.

## 4. TANTANGAN DAN PELUANG RESTORASI HUTAN DI DI INDONESIA

Saat ini lahan terdeforestasi yang perlu dipulihkan masih sangat luas. Data tahun 2020 menunjukkan bahkan masih terdapat 31,85 juta ha lahan dengan tutupan lahan “bukan hutan” di dalam Kawasan Hutan Negara (KLHK 2021). Konsep restorasi hutan berbasis spesies pohon asli harus menjadi prioritas bagi pemulihan hutan di Indonesia untuk mengembalikan tidak hanya tutupan pohon namun juga biodiversitasnya.

Berbagai metode restorasi hutan telah dikembangkan oleh peneliti di dunia. Gambaran berbagai metode restorasi telah dipaparkan sebelumnya (subbab 2). Benang merah dari metode-metode restorasi tersebut adalah digunakannya **spesies pohon asli** di tahap awal untuk mempercepat suksesi pada pendekatan restorasi aktif. Mengingat komposisi dari “spesies asli” sangat dipengaruhi oleh formasi atau tipe hutan yang ada di suatu daerah (misalnya hutan dataran rendah, hutan pegunungan atau hutan gambut), aplikasi berbagai metode restorasi tersebut memerlukan kajian yang sifatnya spesifik lokasi/wilayah.

Berbagai metode restorasi hutan yang ada sangat berpeluang untuk diaplikasikan di Indonesia. Kajian ekologi yang mendeskripsikan vegetasi dan telah dilakukan oleh banyak peneliti pada berbagai tipe hutan di Indonesia dapat menyediakan data untuk menyusun **daftar spesies pohon** sebagai dasar penapisan (*screening*) awal. Sebagai contoh, untuk tipe hutan pegunungan, rangkaian studi kami di CA dan TWA Gunung Papandayan di Jawa Barat kami telah mengidentifikasi 94 spesies pohon (Tabel 2). Untuk hutan pegunungan lainnya di Jawa Barat, yaitu Taman Nasional Gede Pangrango, kami mengidentifikasi terdapat 182 spesies pohon dari kompilasi hasil penelitian Yamada (1975), Gunawan dkk., (2011), Dendang dan Handayani (2015), Pratama (2015), dan Andes dkk., (2016). Tim kami juga melakukan kompilasi dari sembilan lokasi studi vegetasi di hutan hujan dataran primer dan sekunder rendah Kalimantan (Sari, 2023) dan mendapatkan 543 spesies pohon. Pendekatan serupa dapat dilakukan untuk tipe-tipe hutan yang lain. Kelebihan kajian-kajian ekologi semacam itu adalah tersedianya informasi “lokasi” spesies pohon, sehingga apabila program restorasi akan

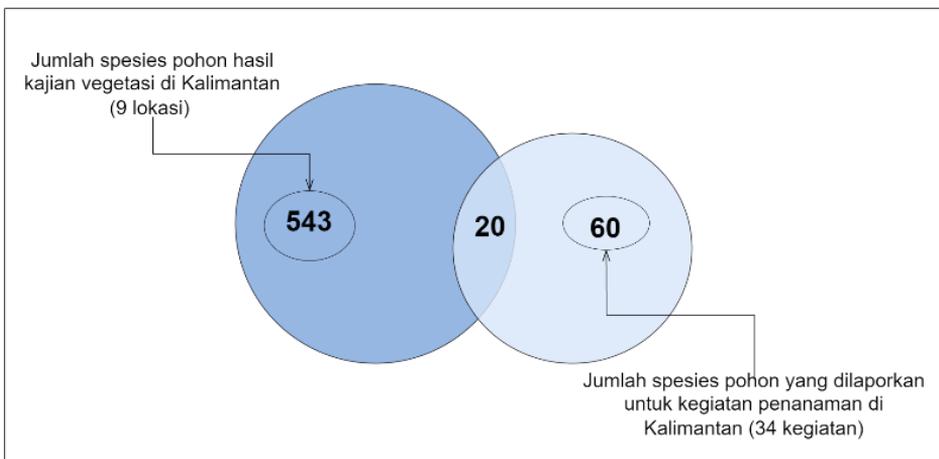
dikembangkan, keberadaan pohon untuk sumber biji di persemaian dapat ditelusuri.

Mengingat sangat beragamnya spesies pohon di hutan hujan tropika, akan sangat sulit dan mahal apabila restorasi hutan dilakukan dengan menanam semua spesies pohon asli lokasi, sehingga dilakukan **penapisan** untuk memilih **sejumlah spesies yang memiliki karakter yang diinginkan** (subbab 3.6.3) melalui kombinasi antara penelusuran literatur dan eksperimentasi di persemaian. Kemudahan perbanyak bibit adalah salah satu karakter penting (Elliot dkk., 2013), mengingat implementasi program restorasi pada areal luas memerlukan suplai bibit dalam jumlah besar. Untuk spesies pohon asli nonkomersial, informasi tentang karakter ini masih terbatas. Keberadaan fasilitas persemaian di berbagai tempat di Indonesia yang dikelola oleh berbagai lembaga (pusat penelitian, dinas kehutanan, kebun raya, LSM dan kelompok penangkar bibit) dapat disinergikan untuk mengakselerasi pengumpulan informasi penting ini melalui **penelitian** terhadap spesies-spesies “baru” di wilayah masing-masing. Keterlibatan para ahli biologi dan silvikultur dari universitas/lembaga riset untuk memandu riset bidang ini di fasilitas pembibitan sangat diperlukan.

Kapasitas fasilitas pembibitan setempat dalam menyediakan bibit dari beragam spesies dapat ditakar dengan melihat jenis-jenis yang sering digunakan pada berbagai program “penanaman pohon”. Dalam konteks ini, tim kami (Sari, 2023) melakukan penelusuran terhadap 34 laporan/berita kegiatan rehabilitasi daerah aliran sungai (DAS), reklamasi pasca tambang dan penghijauan di Kalimantan. Hasilnya terdapat 60 spesies pohon yang memiliki rekam jejak pernah digunakan dalam program penanaman. Apabila spesiesnya dibandingkan dengan daftar 543 spesies pohon yang ditemukan di hutan Kalimantan (Gambar 19), irisannya sangat kecil, yaitu 20 spesies atau kurang dari 5%. Selain karena keterbatasan kapasitas persemaian untuk menyediakan bibit, kecenderungan masyarakat menyukai jenis pohon yang memiliki nilai manfaat yang jelas bagi mereka mungkin menjadi penyebab fenomena ini. Sangat mungkin, kondisi seperti ini juga dijumpai di wilayah lain di Indonesia.

Dengan berbagai alternatif metode restorasi yang telah tersedia, eksperimentasi restorasi hutan di Indonesia perlu dilakukan secara meluas untuk mengembangkan teknik terbaik dalam memulihkan biodiversitas. Belajar dari pengembangan metode spesies kerangka (*framework species*

method) yang dipopulerkan oleh Forest Restoration Research Unit (FORRU) Chiang Mai University, Thailand dan telah diaplikasikan di 12 negara, pengembangan metodenya didukung oleh rangkaian studi: inventarisasi spesies dan habitatnya, fenologi untuk menentukan waktu terbaik memanen biji dan eksperimen di persemaian untuk menemukan metode terbaik penyimpanan biji, perbanyakkan dan produksi bibit sampai mencapai ukuran siap tanam, merumuskan set spesies kerangka dengan performa terbaik, eksperimen untuk menentukan teknik penanaman terbaik dan memonitor pemulihan biomassa dan diversitas (Elliot dkk., 2022). FORRU telah melakukan pengujian sekitar 400 spesies pohon dari lebih dari 1.000 spesies pohon yang tercatat di Thailand bagian utara dan akhirnya mendapatkan 41 spesies kerangka dengan kinerja terbaik (Elliot dkk., 2006).



**Gambar 19** Jumlah spesies pohon yang ditemukan di berbagai lokasi hutan di Kalimantan dan yang pernah digunakan dalam kegiatan penanaman pohon di Kalimantan (Sumber: Sari, 2023).

Inisiatif restorasi hutan dalam skala besar juga sudah pernah dilakukan di Indonesia. Di Samboja Lestari, Kalimantan Timur, restorasi hutan dengan menanam spesies pioneer dan memiliki buah yang menarik satwa telah berhasil mengubah hamparan ilalang *Imperata cylindrica* menjadi hutan yang dihuni oleh 450 spesies pohon (ditanam dan muncul spontan) dari lebih 100 famili (Yassir, 2011). Pada restorasi hutan di lahan pascatambang batubara PT KPC di Kalimantan Timur, Setiadi (2011) berhasil mengidentifikasi sejumlah spesies asli pioneer yang sesuai untuk menginisiasi restorasi di lahan pascapenambangan batubara. Pengembangan restorasi hutan mengadopsi metode spesies kerangka juga dilakukan di Hutan Harapan, Jambi. Penapisan awal menghasilkan 57 spesies pohon yang bisa menjadi kandidat spesies

kerangka (Elliot et. al, 2006). Di Hutan Harapan juga telah dilakukan penelitian untuk menguji teknik silvikultur untuk mengakselerasi regenerasi alami (Swine dkk., 2016) dan menguji kesesuaian spesies terhadap mikrohabitat (Kardiman dkk., 2019). Inisiatif serupa perlu dikembangkan wilayah lain yang memiliki formasi vegetasi yang berbeda.

Pengembangan teknik restorasi hutan secara menyeluruh memerlukan eksperimentasi di lapangan dalam jangka panjang dan hal tersebut memerlukan dukungan sumber daya yang cukup besar. Pengembangan restorasi hutan di Hutan Harapan, Jambi dilakukan oleh perusahaan yang memang memegang konsesi restorasi ekosistem (PT REKI). Sedangkan pada kasus Setiadi (2011), restorasi hutan dilakukan di area konsesi pertambangan PT KPC. Pada kawasan penambangan, kewajiban reklamasi/rehabilitasi lahan pascatambang, membuat tersedianya persemaian dan berbagai fasilitas pendukung lainnya sebagai bagian dari operasional rutin untuk pemenuhan kewajiban lingkungan sesuai regulasi yang berlaku. Kondisi ini seharusnya dapat dimanfaatkan untuk menjadikan kawasan penambangan lokasi eksperimentasi untuk pengembangan teknik-teknik restorasi hutan.

Keseluruhan tahapan pengembangan mulai inventarisasi spesies, kajian fenologi, eksperimentasi untuk penyimpanan biji, perbanyakan dan produksi bibit, pengujian performa anakan, pengujian teknik-teknik penanaman serta monitoring pemulihan biomassa dan diversitas sejalan dengan berkembang tegakan, semuanya dapat dilakukan di dalam kawasan penambangan. Kondisi penambangan yang bervariasi di berbagai wilayah Indonesia, dalam hal jenis penambangan, tipe ekosistem alami dan konteks bentang alam sekitar tambang (dekat atau jauh dari ekosistem alami) dapat secara sistematis dimanfaatkan untuk mengembangkan teknik-teknik restorasi hutan melalui kerja sama antara berbagai universitas/lembaga riset dan perusahaan pertambangan. Dengan upaya bersama yang terkoordinasi, informasi silvikultur spesies pohon non-komersial secara berangsur-angsur akan terakumulasi dan dapat digunakan untuk program restorasi hutan di tempat lain. Namun, kebutuhan untuk pengembangan teknik restorasi hutan seperti itu akan memerlukan dukungan sumber daya (lahan, fasilitas, dan personil) yang melebihi keperluan operasional rutin, sehingga mungkin saja perusahaan pertambangan tidak akan tertarik. Pada kondisi demikian, bentuk-bentuk apresiasi dan insentif agar perusahaan pertambangan tertarik untuk memberikan dukungan untuk riset dan implementasi restorasi hutan perlu dikembangkan.

## 5. PENUTUP

Meskipun urgensi pendekatan reforestasi yang berorientasi pada pulihnya biodiversitas dan jasa ekosistem mudah dipahami, namun implementasinya tidak mudah karena memerlukan landasan sains biologi dan teknik silvikultur yang kuat. Hasil penelitian di Gunung Papandayan menunjukkan bahwa regenerasi alami berjalan lambat, sehingga restorasi aktif yang melibatkan penanaman spesies pohon asli untuk mengkatalisasi regenerasi hutan diperlukan. Proses pemulihan biodiversitas bahkan akan lebih lambat apabila tapak terdedah gangguan berulang.

Mengingat penanaman spesies pohon asli adalah strategi utama untuk mempercepat pemulihan biodiversitas, kurangnya informasi mengenai karakteristik, dan teknik silvikultur dari jenis-jenis pohon asli non-komersial adalah hal krusial yang harus segera diatasi. Hal ini dapat dilakukan melalui kerjasama riset di berbagai wilayah Indonesia yang melibatkan universitas/pusat riset, pengelola fasilitas pembibitan milik kementerian/pemda/LSM/komunitas serta industri, khususnya yang memiliki konsesi atas wilayah seperti pada industri pertambangan. Momentum penetapan tahun 2021–2030 sebagai “*United Nations Decade on Ecosystem Restoration*” harus dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk mengakselerasi restorasi hutan di Indonesia.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kepada Allah Swt. atas limpahan rahmat, petunjuk, dan hidayah-Nya, saya mendapatkan amanah sebagai Guru Besar di bidang Ekologi Hutan di Institut Teknologi Bandung. Pencapaian jabatan akademik Guru Besar ini melibatkan dukungan dan kerja sama dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan yang baik ini, izinkanlah saya menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya besarnya kepada:

- Orang tua tercinta, alm. Bapak Soeratno dan almh. Ibu Moeljati, atas kasih sayang, didikan, teladan serta doa yang tak putus-putusnya kepada saya (semoga Allah merahmati Bapak dan Ibu). Kakanda tercinta, almarhum Bambang Hadi Suwito, Bambang Budi Susetyo, Djoko Hadi Santoso, Endang Pudjiastuti beserta istri/suami yang selama ini menggantikan peran Bapak dan Ibu.
- Suami tercinta, Rifki Mustafa Sungkar yang selalu setia, penuh pengertian, dan memberikan kesempatan yang besar kepada saya dalam menjalankan karier sampai mencapai titik ini. Terima kasih juga telah mengenalkan nilai penting Gunung Papandayan serta menyakinkan saya untuk memulai dan menekuni riset di tempat ini. Untuk Ananda tercinta, Lula Sungkar, terima kasih sudah merelakan mamahnya berbagi waktu dengan “kakak ITB” dan senantiasa menjadi sumber semangat dalam berkarya.
- Keluarga besar Soeratno dan Padmodiharjo serta keluarga besar mertua alm. Mustafa Sungkar dan almh. Zahra Bahasoean atas dukungan dan doadoanya.
- Para guru sejak dari SD Sriwedari Malang, SMPN 1 Malang, SMAN 3 Malang yang telah menghantarkan saya menempuh pendidikan di ITB. Para dosen selama di Jurusan Biologi FMIPA ITB. Alm. Drs. E. Surasana, MSc dan Almh. Dra. Hasiana Ibkar-Kramadibrata, MSc. yang telah mengenalkan indahnya ilmu ekologi kepada saya.
- Rekan-rekan dosen bidang ekologi dan biosistematik di SITH yang membina dan menyertai saya sejak awal karir sebagai dosen: Prof. Dr. Djoko T. Iskandar, Prof. Dr. Tati S. Syamsudin, Dr. A. Sjarmidi, Dr. Rina Ratnasih, Dr. Taufikurahman, Dr. Devi N. Choesin dan Prof. Dr. Gede Suantika. Rekan-rekan dosen di KK Teknologi Kehutanan tempat saya saat ini bernaung atas dukungan, kerja sama dalam riset dan persahabatannya. Seluruh rekan-rekan dosen di SITH, baik senior maupun junior, atas

berbagi ilmu, kearifan, dan kehangatan persahabatan, sehingga menjadikan SITH rumah yang nyaman untuk bekerja dan berkarya.

- Segenap perangkat ITB yang telah memfasilitasi proses pengusulan kenaikan jabatan: Dekanat SITH periode 2015 – 2020 dan 2020-2024, staf kepegawaian SITH, para evaluator karya ilmiah, Tim TPAK SITH, Senat SITH, Direktorat Kepegawaian ITB, Tim TPAK ITB, Senat Akademik, Forum Guru Besar, Rektor beserta para Wakil Rektor.
- Para guru besar yang telah berkenan memberikan rekomendasi kepada saya dalam proses pengusulan kenaikan jabatan: Prof. Dr. Djoko T. Iskandar (SITH ITB), Prof. Intan Ahmad, Ph.D. (SITH ITB), Prof. Dr. Tati S. Syamsudin, M.S. DEA (SITH ITB), Prof. I Nyoman P. Aryantha, Ph.D. (SITH ITB), Prof. Dr. Ir. Rudy Sayoga Gautama (FTTM ITB), , Prof. Dr. Ir. Cecep Kusmana, M.S. (IPB), Prof. Dr. Ir. Kurniatun Hairiah (Universitas Brawijaya) dan Prof. Hyoung Jin Kim, Ph.D. (Kookmin University, Korea).
- Kolega peneliti dari Kebun Raya Cibodas dan ICRAF, Bogor atas kesempatan kerja sama riset dan dukungannya. Para mahasiswa bimbingan tugas akhir dari program studi Biologi (S1,S2, dan S3), Rekayasa Kehutanan (S1) dan Biomanajemen (S2) yang berkontribusi besar dalam penelitian saya dan bersama-sama menghasilkan karya yang telah menghantarkan saya ke titik ini. Penelitian di Gunung Papandayan khususnya mendapat dukungan yang luar biasa dari Bpk. Pipin Suryana (Mang Ipin). Sejak dua puluh tahun lalu, beliau dengan setia mengawal saya dan para mahasiswa di lapangan.
- Para mentor di ITB yang memberikan kepercayaan kepada saya untuk menjalankan peran di manajemen: Prof. Intan Ahmad, Ph.D., Prof. Dr. Tati S. Syamsudin, Prof. Dr. Pingkan Adityawati, Prof. Ir. Mindriany Syafila, M.S, Ph.D., Prof. Dr. Ir. Kadarsah Suryadi, DEA, dan Prof. Reini Wirahadikusumah, Ph.D.

Terima kasih juga saya haturkan kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah berkontribusi pada pencapaian ini. Semoga semua amal dan kebaikan Bapak dan Ibu mendapatkan balasan yang lebih baik.

# DAFTAR PUSTAKA

- Achard 1, Frédéric., Eva, H.D., Stibig, Hans-Jürgen., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., dan Malingreau, Jean-Paul. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297(5583), 999-1002.
- Andes, R., Mutaqin, Z., Astutik, S., dan Widyatmoko, D. 2016. Kekayaan jenis pohon di hutan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 13(1), 1-14.
- Alvarez-Aquino, C., G. Williams-Linera, dan A. C. Newton. 2004. Experimental native tree seedling establishment for the restoration of a Mexican cloud forest. *Restor. Ecol*, 12(3), 412-418.
- Badan Pusat Statistika. 2022. *Kecamatan Cisurupan dalam angka 2022*. BPS Kabupaten Garut, Jawa Barat.
- Baskin, C.C. dan Baskin, J.M. 2014. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*, Second Edition. Elsevier, USA.
- BBKSDA Jabar. 2016. *Informasi Kawasan Konservasi Lingkup BBKSDA Jabar*.
- Biodiversity Conservation and Child Malaria: Microeconomic Evidence from Flores, Indonesia.
- Brandon, K. 2014. *Ecosystem services from tropical forest: Review of current science*. CGD Working Paper 380, Center for Global Development. Washington DC.
- Brearley, F.Q., Adinugroho, W.C., Camara-Leret, R., Krisnawati, H., Ledo, A., Qie Lan, Smith, T.E.L., Aini, F., dkk. 2019. Opportunities and challenges for an Indonesian forest monitoring network. *Annals of Forest Science*, 76(54), 1-12.
- Brearley, F.Q., Sukaesih Prajadinata, Petra S. Kidd, John Proctor, dan Suriantata. 2004. Structure and floristics of an old secondary rain forest in Central Kalimantan, Indonesia, and a comparison with adjacent primary forest. *Forest Ecology and Management*, 195, 385-397.
- Bullock, J.M., Jefferson, R.G., Blackstock, T.H., Pakeman, R.J., Emmett, B.A., Pywell, R.J., dan lainnya. 2011. Semi-natural Grasslands [chapter 6]: In: *UK National Ecosystem Assessment. Understanding Nature's Value to Society. Technical Report*. Cambridge, UNEP-WCMC, 161-196.
- Chazdon R.L., Brenes A.R., dan Alvarado B.V. 2005. Effects of climate and stand age on annual tree dynamics in tropical second-growth rain forests. *Ecology*, 86, 1808- 1815.

- Chazdon, R.L. 2014. *Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation*. The University of Chicago Press. London, USA.
- Chazdon, R.L. 2017. Landscape restoration, natural regeneration, and the forest of the future. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 102, 251-257.
- Chazdon, R.L. dan Guariguata, M.R. 2016. The role of natural regeneration in large-scale forest and landscape restoration: Challenge and opportunity. *Biotropica*, 48(6), 716-730.
- Condit, R. 1995. Research in a large long-term tropical forest plot. *Trends in Ecology and Evolution*, 10, 18-22.
- Dendang, B. dan Handayani, W. 2015. Struktur dan komposisi tegakan hutan di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 1(4), 691-695.
- Dirzo, R. dan Peter H. Raven. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 28, 137-67.
- El Farizy, G.H.A. dan **Sulistiyawati, E.** 2012. Seedlings performance of indigenous species with fertilizer addition and weeding in early stage reforestation in Mt. Papandayan Nature Reserves, West Java. Proceeding of The 2nd International Symposium For Sustainable Humaniosphere. Bandung.
- Elliot, S., D. Blakesley, J. F. Maxwell, S. Doust, dan S. Suwannaratana. 2006. *How to plant a forest: The principles and practice of restoring tropical forest*. Forest Restoration Research Unit, Thailand.
- Elliott, S. D., D. Blakesley, dan K. Hardwick. 2013. *Restoring tropical forests: A practical guide*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Elliott, S.D., S. Chairuangstri, C. Kuaraksa, S. Sangkum, K. Sinhaseni, D. Shannon, P. Nippanon, dan B. Manohan. 2019. Collaboration and conflict—developing forest restoration techniques for Northern Thailand’s upper watersheds whilst meeting the needs of science and communities. *Forests*, 10(732), 1-16.
- Elliott, S. Tucker, N.I.J., Shannon, D.P., dan Tiansawat, P. 2022. The framework species method: harnessing natural regeneration to restore tropical forest ecosystems. *Philosophical Transactions*, 378, 20210073.
- FAO. 2019. *Restoring forest landscapes through assisted natural regeneration (ANR) – A practical manual*. Bangkok.
- FAO. 2020. *Global forest resources assessment 2020*. Rome
- Fenner, M. dan Thompson, K. 2005. *The ecology of seeds*. Cambridge University Press, New York.
- Fitriana, S dan **Sulistiyawati, E.** 2017. Post fire succession in Tegal Panjang Grassland, Mount Papandayan, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 18(3), 1226-1233.

- Forman, R.T.T. 1995. *Land mosaic: The Ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Fothofer, R.N, Lee, E.S., dan Hernandez, M. 2007. *Biostatistics: A guide to design, analysis, and discovery*. Elsevier Academic Press. London. 299-313.
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverria, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., dan Dizon W.K. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration (2<sup>nd</sup> ed). *Restoration ecology*, 27(S1), S1-S46.
- Geist, H.J dan Eric F. Lambin. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation, 52(2), 143-150.
- Goosem, S. dan Tucker, N.I.J. 2013. *Repairing the rainforest (2<sup>nd</sup> ed)*. Wet Tropics Management Authority and Biotropica Australia Pty. Ltd. Cairns.
- Guariguata, M.R. dan Ostertag, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: Changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*, 148(2001), 185-206.
- Gunawan, W., Basuni, S., Indrawan, A., Prasetyo, L.B, dan Soedjito, H. 2011. Analisis komposisi dan struktur vegetasi terhadap upaya restorasi kawasan hutan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango. *JPSL*, 1(2), 93-105.
- Hadisantono, R.D. 2006. Devastating landslides related to the 2002 Papandayan eruption. *Jurnal Geologi Indonesia*, 1(2), 83-88.
- Hamidi, A. 2013. Kajian penilaian lingkungan menggunakan pendekatan integrasi floristik: Studi kasus Cagar Alam Gunung Papandayan, Jawa Barat, Indonesia. Thesis Magister. Program Studi Biologi, ITB.
- Holl K.D., Loik M.E., Lin E.H.V, dan Samuels I.A. 2000. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restor Ecol*, 8, 339-349.
- Holl, K.D. 2020. *Primer of ecological restoration*. Island Press. Washington D.C.
- Kardiman, A., R. Roki, Schmidt, L.H., Ræbild, A dan Swinfield, T. 2019. Restoration of tropical rain forest success improved by selecting species for specific microhabitats. *Forest Ecology and Management*, 434, 2019, 235-243.
- Kodandapani, N.M. Cochrane, dan R. Sukumar. 2008. A comparative analysis of spatial, temporal, and ecological characteristics of forest fires in seasonally dry tropical ecosystems in the Western Ghats, India. *Forest Ecology and Management*, 256, 607-617.

- Iqbal, A. 2012. Struktur dan komposisi floristik pohon pada sensus awal plot permanen satu hektar di Cagar Alam Gunung Papandayan, Garut, Jawa Barat. Skripsi Sarjana. Program Studi Biologi, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- KLHK. 2021. *Rekalkulasi penutupan lahan Indonesia tahun 2020*. Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan.
- KLHK. 2022. *The state of Indonesia's forests 2022: Towards FOLU Net Sink 2030*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Republik Indonesia. Jakarta.
- M.C. Hansen, P.V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S.V. Stehman, S.J. Goetz, T.R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C.O. Justice, dan J.R.G. Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342, 850-853.
- Mata, S., Braga, J.M.A., Moser, P, dan lainnya. 2022. Forever young: arrested succession in communities subjected to recurrent fires in a lowland tropical forest. *Plant Ecol*, 223, 659–670.
- Meister, K., Ashton, M.S., Craven, D. dan Griscom, H. 2012. Carbon Dynamics of Tropical Forests. *In* Managing Forest Carbon in a Changing Climate. Ashton, M.S., Tyrrell, M.L., Spalding, D., dan Gentry, B. (Eds). Springer. New York.
- Miller, T. dan Spoolman, S.E. 2017. *Living in the environment (19<sup>th</sup> ed)*. Cengage Learning. Brooks, USA.
- Montagnini, F. dan Carl F. Jordan. 2005. Tropical forest ecology: The basis for conservation and management. Springer.
- Murthy I.K., Bhat S., Sathyanarayan V., Patgar S., Beerappa M., Bhat P.R., Bhat D.M., Ravindranath N.H., Khalid M.A., Prashant M., Iyer S., Bebbler D.M., dan Saxena R. 2016. Vegetation structure and composition of tropical evergreen and deciduous forests in Uttara Kannada district, Western Ghats under different disturbance regimes. *Trop. Ecol*, 57, 77–88.
- Palma, A.C. dan S.G.W. Laurance. 2015. A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go? *Applied Vegetation Science*, 18, 561–568.
- Parker, C. 2008. *Imperata cylindrica* (cogon grass). CABI Compendium. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.28580>
- Pattanayak, S.K., Catherine G. Corey, Yewah F. Lau, dan Randall A. Kramer. 2010. Biodiversity conservation and child malaria: Microeconomic evidence from Flores, Indonesia. ERID Working Paper Number 85.
- Pepep, D.W. 2022. Sadar kawasan: Kapan dan di mana manusia bebas, terbatas, hingga tak punya akses. Penerbit BRIN. Jakarta Pusat.

- Pratama, M.F. 2015. Struktur dan komposisi vegetasi sepanjang gradien ketinggian di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango. Skripsi Sarjana. Program Studi Biologi, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Primajati, Mahendra., Harto, A.B., dan **Sulistiyawati, E.** 2011. Forest condition analysis based on forest canopy closure with remote sensing approach. *Jurnal Biologi Indonesia*, 7(1), 13-23.
- Rahmah, M. 2019. Analisis dinamika vegetasi di Kawasan Cagar Alam dan Taman Wisata Alam Gunung Papandayan, Jawa Barat pada tahun 2001-2018 dengan menggunakan citra satelit multi-temporal. Skripsi Sarjana. Program Studi Biologi, Institut Teknologi Bandung.
- Rathcke, B dan Lacey P. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16, 179-214.
- Raupp, P.P., M.C. Ferreira, M. Alvesa, E.M. Campos-Filho, P.A.R. Sartorellic, H.N. Consolaroa, dan D.L.M Vieira. 2020. Direct seeding reduces the costs of tree planting for forest and savanna restoration. *Ecological Engineering*, 148, 105788.
- Republik Indonesia. 1999. Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan. Pemerintah Pusat. Jakarta.
- Corlett, R.T dan Primack, R.B. 2011. Tropical rain forests: an ecological and biogeographical comparison (2<sup>nd</sup> ed). Wiley-Blackwell.
- Richards, P.W. 1996. *The tropical rainforest an ecological study*. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Rozak, A., Mutaqien, Z., Astutik, S., dan Widyatmoko, D. 2016. Kekayaan jenis pohon di hutan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 13(1), 1-14.
- Rozieanti, S. 2011. Fisiognomi hutan, stratifikasi hutan, dan pola distribusi pohon di Hutan Cisupa Beureum, Cagar Alam Gunung Papandayan, Garut, Jawa Barat. Skripsi Sarjana. Program Studi Biologi, Institut Teknologi Bandung.
- Saldarriaga, J.G., West, C.D., Tharp, M.L., dan Christopher Uhl. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology*, 76, 938-958.
- Sari, D.P. 2023. Karakterisasi spesies tumbuhan hutan tropis Kalimantan sebagai basis data untuk pembangunan kebun raya IKN Nusantara. Skripsi Sarjana. Program Studi Rekayasa Kehutanan, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Setiadi, Y. 2011. Restoring degraded mine land using native species. In *Restoring Forest for Communities, Biodiversity, and Ecosystem Services*. ELTI Conference Proceedings. New Haven, Yale University, Panama City.

- Setiawan, N.N dan **Sulistiyawati, E.** 2008. Succession following reforestation on abandoned fields in Mount Papandayan, West Java. Proceedings International Conference on Environmental Research and Technology: Penang (Malaysia), 28-30 May 2008, p. 444-447.
- Setiawan, N.N dan **Sulistiyawati, E.** 2021. A seed rain community in a reforested post-agricultural field and adjacent secondary forest of Mount Papandayan Nature Reserve, West Java, Indonesia. *Journal of Forestry Research*, 32, 1013-1023.
- Seydewitz, T., Pradhan, P., Landholm, D.M., dan Juergen, P.K. 2023. Deforestation drivers across the tropics and their impacts on carbon stocks and ecosystem services. *Anthropocene Science*, 2, 81-92.
- Slik J.W.F., 2005. Assessing tropical lowland forest disturbance using plant morphological and ecological attributes. *For. Ecol. Manage*, 205, 241-250.
- Slik J.W.F., Bernard C.S., Breman F.C., Van Beek M., Salim A., dan Sheil D. 2008. Wood density as a conservation tool: Quantification of disturbance and identification of conservation-priority areas in tropical forests. *Conserv. Biol*, 22, 1299-1308.
- Slik JWF, Bernard CS, Van Beek M, Breman FC, dan Eichhorn KAO. 2008. Tree diversity, composition, forest structure and aboveground biomass dynamics after single and repeated fire in a Bornean Rain. *Forest Oecologia*, 158, 579-588.
- Society for Ecological Restoration International Science dan Policy Working Group. 2004. The SER International primer on ecological restoration. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Souza J.T., Ferraz E.M.N., Albuquerque U.P., dan Araújo E.L. 2014. Does proximity to a mature forest contribute to the seed rain and recovery of an abandoned agriculture area in a semiarid climate? *Plant Biology*, 16, 748-756.
- Sulistiyawati E.**, Setiawan N.N., Iqbal A., Alhumaira R., Fitriana S., Syamuda T., dan Choesin D.N. 2022. Forest tree dynamics from the first four years of permanent plot in Mount Papandayan, Indonesia: mortality, recruitment, and growth. *Ann. For. Res*, 65(1), 127-140.
- Sulistiyawati, E.**, Mashita, N., Nurlina, N., Choesin, D., dan Suryana, P. 2012. Flowering and fruiting phenology of tree species in Mount Papandayan Nature Reserve, West Java, Indonesia. *Tropical Life Science Research*, 23(2), 81-95.
- Sulistiyawati, E.**, Sungkar, R.M., Maryani, E., Aribowo, M., dan Rosleine D. 2006. The Biodiversity of Mount Papandayan and the Threats. Proceedings of International Interdisciplinary Conference Volcano International Gathering 2006, "1000 years Merapi Paroxysmal Eruption", Volcano: Live, Prospeity, and Harmony. 206-213.
- Sulistiyawati, E.**, Rosleine, D., Sungkar, R., dan Gurnita. 2005. Struktur komunitas dan keanekaragaman tumbuhan di G. Papandayan. Makalah dipresentasikan pada

- Seminar Penggalang Taksonomi Tumbuhan Indonesia, 18-19 November 2005, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Swinfield, T., Afriandi, R., Antoni, F., Harrison, R.D., 2016. Accelerating tropical forest restoration through the selective removal of pioneer species. *For. Ecol. Manage*, 381, 209–216.
- Tihurua, E.F dan **Sulistyawati, E.** 2019. Analysis of the condition of forest interior and edge in Mount Papandayan, West Java, Indonesia based on floristic composition and structural characteristics of tree community. *Biodiversitas*, 20(3), 900-906.
- Tim Terpadu MENLHK. 2017. Laporan penelitian Tim Terpadu dalam rangka usulan perubahan fungsi dalam fungsi pokok kawasan hutan dari Kawasan Cagar Alam Kawah Kamojang dan Cagar Alam Gunung Papandayan menjadi Taman Wisata Alam Di Kabupaten Bandung dan Kabupaten Garut Provinsi Jawa Barat. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta.
- Tucker, N. dan Simmons, T. 2009. Restoring a rainforest habitat linkage in north Queensland: Donaghy's Corridor. *Ecological Management and Restoration*, 10, 98-112.
- Tunjai, P. dan S. Elliott. 2012. Effects of seed traits on the success of direct seeding for restoring southern Thailand's lowland evergreen forest ecosystem. *Forests*, 43, 319–333.
- Turner, M.G. dan Gardner, R.H. 2015. Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process. Springer-Verlag New York.
- Utami, I. 2010. Analisis struktur dan komposisi vegetasi sepanjang interior hingga tepian hutan dan lahan terganggu di Cagar Alam Gunung Papandayan, Jawa Barat. Skripsi Sarjana. Institut Teknologi Bandung.
- Utami, I., dan **Sulistyawati, E.** 2010. Vegetation Structure and composition analysis along interior to edge of forest and the adjacent disturbed lands in the Mount Papandayan Nature Reserve, West Java. Poster Session at International Conference of Environmental and Natural Resources 2010. Salaya, Thailand. 9-12 November 2010
- van Beukering, P.J.H., Cesar, H.S.J. dan Janssen, M.A. 2002. Economic valuation of the Leuser National Park on Sumatra, Indonesia. *Ecological Economics*, 44, 43 - 62.
- Van Steenis, C.G.G.J. 1972. *The mountain flora of Java*. Brill, Leiden.
- Walker, L.R., Walker, J., dan Hobbs, R.J (eds). 2007. *Linking restoration and ecological succession*. Springer Series on Environmental Management, Springer Science & Business Media.

- Walker, L.R., Wardle, D.A., Bardgett, R.D., dan Clarkson, B.D. 2010. The use of chronosequence in studies of ecological succession and soil development. *J Ecol*, 98, 725-736.
- Wetadewi, R.I. 2015. Regenerasi hutan pada kawasan tepi di Cagar Alam Gunung Papandayan, Jawa Barat. Skripsi Sarjana. Program Studi Biologi. Institut Teknologi Bandung
- Wetadewi.R.I. dan **Sulistyawati, E.** 2015. Forest regeneration at the boundary of Mount Papandayan Nature Reserve, West Java, Indonesia. *Poster presented at The 2015 Annual Meeting of the ATBC Asia-Pacific Chapter. Phnom Penh, Cambodia, 30 Mar – 2 April 2015.*
- White P.S. dan Pickett STA. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. In Pickett STA dan White PS (eds). *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic, New York.
- Whitmore, T.C., dan Sayer, J.A. 1992. *Tropical deforestation and species extinction*. Chapman & Hall, London.
- Yamada, I. 1975. Forest ecological studies of the montane forest of Mt.Pangrango, West Java: I. Stratification and floristic composition of the montana rain forest near Cibodas. *South East Asian Studies*, 13(3), 402-426.
- Yassir, I. 2011. Applying an ecological approach to create a new forest from an *Imperata* grassland area in East Kalimantan. In *Restoring Forest for Communities, Biodiversity, and Ecosystem Services*. ELTI Conference Proceedings. New Haven, Yale University, Panama City.

# CURRICULUM VITAE



Nama : Endah Sulistyawati  
Tempat/tgl lahir : Malang, 19 November 1969  
Kel. Keahlian : Teknologi Kehutanan  
Alamat Kantor : Jl. Ganesha 10 Bandung  
Nama Suami : Rifki Mustafa Sungkar  
Nama Anak : Lula Sungkar

## I. RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Jenjang Pendidikan	Perguruan Tinggi	Tahun Lulus	Gelar	Program
1.	Sarjana	Institut Teknologi Bandung	1993	S.Si.	Biologi
2.	Doktor	The Australian National University	2002	Ph.D.	Ecology, Evolution, & Systematics

## II. RIWAYAT KERJA DI ITB

No.	Nama Jabatan	Tahun
1.	Sekretaris program Studi Magister PSDH LH Tropika	2006 - 2007
2.	Ketua Program Studi Magister Biomanajemen & Magister Bioteknologi	2008 - 2010
3.	Wakil Dekan Sumberdaya SITH	2011 - 2015
4.	Ketua Kelompok Keahlian Teknologi Kehutanan SITH	2012 - 2018
5.	Wakil Direktur Eksekutif Pengelolaan Program Internasional, Direktorat Eksekutif Pengelolaan Penerimaan Mahasiswa dan Kerjasama Pendidikan (DEKTM)	2015 - 2020
6.	Dekan Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati	2020 - Sekarang

## III. RIWAYAT KEPANGKATAN

No.	Nama Kepangkatan	Tahun
1.	CPNS, Penata Musa, III/a	1 Desember 1995
2.	PNS, Penata Muda, III/a	1 September 1998
3.	Penata, III/c	1 April 2004
4.	Penata Tk. 1, III/d	1 Oktober 2010
5.	Pembina, IV/a	1 Oktober 2012

#### IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

No.	Nama Jabatan	Tahun
1.	Lektor	1 November 2013
2.	Lektor Kepala	1 Juli 2010
3.	Profesor/Guru Besar	1 November 2022

#### V. HIBAH PENELITIAN

No.	Judul Penelitian	Sumber Dana	Tahun	Peran
1.	Carbon sequestration and tree community's dynamics during 10 years of permanent plot monitoring at Mount Rinjani.	Osaka Gas Foundation	2022	Ketua Tim
2.	Ekohidrologi bantaran sungai Cikapundung	Riset ITB	2017	Ketua Tim
3.	Plot permanen untuk inventori biodiversitas pada Zona Montana Gunung Kerinci, Jambi	Program Riset Desentralisasi DIkti	2015	Ketua Tim
4.	Tree diversity in various land use/land cover types in South Sumatera, Indonesia.	ICRAF (World Agroforestry Centre)	2015	Ketua Tim
5.	Litterfall production and decomposition in relation to carbon cycle in mountain forest	Osaka Gas Foundation	2014	Ketua Tim
6.	Analisis vegetasi sepanjang gradien ketinggian untuk mengkaji respon organisme terhadap perubahan iklim	Hibah Riset dan Inovasi KK ITB	2013	Ketua Tim
7.	Inventori biodiversitas pada Zona Montana Gunung Rinjani, Lombok, NTB	Hibah Riset Desentralisasi DIKTI	2013	Ketua Tim
8.	Model persamaan allometrik biomassa dan simpanan karbon Surian ( <i>Toona sinensis</i> Roem.)	Hibah Riset dan Inovasi ITB	2013	Ketua Tim
9.	Inisiasi kajian jangka panjang dinamika hutan berbasis permanen plot	Hibah Riset Ikatan Alumni ITB	2011	Ketua Tim
10.	Ketersediaan benih dan kemampuan bertahan jenis-jenis pohon lokal pada tahap awal reforestasi di Kawasan Gunung Papandayan	Hibah Riset KK ITB	2010	Ketua Tim
11.	Kajian fenologi dan laju perkecambahan spesies pohon lokal	Hibah DIKTI	2009	Ketua Tim
12.	Assesing the capacity of different types of forest to sequester carbon using the Century Model	Asahi Glass Foundation, Japan	2006	Ketua Tim
13.	Pendauran materi dalam ekosistem: Dinamika karbon hutan tanaman	Hibah Riset KK ITB	2006	Ketua Tim
14.	Biodiversity of Mt. Papandayan and its threats	Rufford Foundation, UK	2004	Ketua Tim
15.	Ecological role of mountain forest as terrestrial carbon sink: I. Quantifying the carbon stocks	Osaka Gas Foundation, Japan	2003	Ketua Tim

## VI. PUBLIKASI (terpilih)

### a. Jurnal dan Buku

- **Sulistiyawati E.**, Setiawan N.N., Iqbal A., Alhumaira R., Fitriana S., Syamuda T., dan Choesin D.N. 2022. Forest tree dynamics from the first four years of permanent plot in Mount Papandayan, Indonesia: mortality, recruitment, and growth. *Ann. For. Res*, 65(1), 127-140.
- Setiawan, N.N dan **Sulistiyawati, E.** 2021. A seed rain community in a reforested post-agricultural field and adjacent secondary forest of Mount Papandayan Nature Reserve, West Java, Indonesia. *Journal of Forestry Research*, 32, 1013-1023.
- Irsan, M.F, **Sulistiyawati, E.** Hadiyane, A., dan Hidayati, N. 2020. Transpiration capability of several lowland forest tree species. *Malaysian Applied Biology*, 49(2), 63-67.
- Rajagukguk, S., Sudhana, S.A., Yayusman, L.F., Syahid, L.N., Sritarapipat, T., Principe, J.A., Trang, N.T.Q, **Sulistiyawati, E.**, Utami, I., Arief, C.W., dan Wikantika, K. 2020. Multi-Source remote sensing data product analysis: Investigating anthropogenic and naturogenic impacts on mangroves in Southeast Asia. *Remote Sensing*, 12(17), 2720.
- Dewi, S.P., **Sulistiyawati, E.**, dan Syamsudin, T.S. 2019. Dataset on the reproductive period of three local species in a tropical sub-mountainous forest. *Data in Brief*, 25.
- Fauzan, H., **Sulistiyawati, E.**, dan Lastini, T. 2019. Strategi pengelolaan untuk pengembangan hutan rakyat di Kecamatan Rancakalong, Kabupaten Sumedang. *Jurnal Sylva Lestari*, 7(2), 164-173.
- Dewi, S.P., **Sulistiyawati, E.**, dan Syamsudin, T.S. 2019. Reproductive period of a Sub-montaneous Tropical Forest: Estimation of seed availability for forest restoration in Mount Masigit-Kareumbi, Indonesia. *Tropical Ecology*, 60(1), 62-73.
- Brearley, F.Q., Adinugroho, W.C., Cámara-Leret, R., Krisnawati, H., Ledo, A., Qie, L., Smith, T.E.L., Aini, F., Garnier, F., Lestari, N.S., Mansur, M., Murdjoko, A., Oktarita, S., Soraya, E., Tata, H.L., Tiryana, T., Trethowan, L.A., Wheeler, C.E., Abdullah, M., Aswandi., Buckley, B.J.W., Cantarello, E., Dunggio, I., Gunawan, H., Heatubun, C.D., Arini, D.I.D., Istomo., Komar, T.E., Kuswandi, R., Mutaqien, Z., Pangala, S.R., Ramadhanil., Prayoto., Puspanti, A., Qirom, M.A., Rozak, A.H., Sadili, A., Samsuedin, I., **Sulistiyawati, E.**, Sundari, S., Sutomo., Tampubolon, A.P., dan Webb, C.O.

2019. Opportunities and challenges for an Indonesian forest. *Annals of Forest Science*, 76(54).

- **Sulistiyawati, E.**, dan Tihurua, E.F. 2019. Analysis of the condition of forest interior and edge in Mount Papandayan, West Java, Indonesia based on floristic composition and structural characteristics of tree community. *Biodiversitas*, 20(3), 900-905.
- Tihurua, E.F. dan **Sulistiyawati, E.** 2019. Keragaman kepadatan kayu batang dan cabang komunitas pohon di Hutan Gunung Papandayan, Jawa Barat. *Berita Biologi*, 18(22), 145-154.
- Laksemi, N.P.S.T., **Sulistiyawati, E.**, dan Mulyaningrum. 2019. Perhutanan sosial berkelanjutan di Provinsi Bali (Studi Kasus di Hutan Desa Wanagiri). *Jurnal Sylva Lestari*, 7(2), 150-163.
- **Sulistiyawati, E.**, Nasution, T., Rosleine, D., dan Putra, D.C. 2018 Tree community structure and composition of a one hectare permanent plot in the Montane Zone of Mount Kerinci, Kerinci Seblat National Park, Jambi. *Journal of Mathematical and Fundamental Science*, 50(3), 315-331.
- **Sulistiyawati, E.** dan Fitriana, S. 2017. Post-fire succession in Tegal Panjang Grassland, Mount Papandayan, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 18(3), 1226-1233.
- Rozak, H., Astutik, S., Mutaqien, Z., Widyatmoko, D., dan **Sulistiyawati, E.** 2017. Hiperdominansi jenis dan biomassa pohon di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Indonesia. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 11(2), 85-96.
- Rozak, A.H., Astutik, S., Mutaqien, Z., Widyatmoko, D., dan **Sulistiyawati, E.** 2016. Kekayaan jenis pohon di Hutan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 13(1), 1-14.
- Yusnikusumah, T.R. dan **Sulistiyawati, E.** 2016. Evaluasi pengelolaan ekowisata di Kawasan Ekowisata Tangkahan Taman Nasional Gunung Leuser, Sumatra Utara. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 27(3), 173-189.
- Indiarto, D. dan **Sulistiyawati, E.** 2014. Monitoring net primary productivity dynamics in Java Island using MODIS Satellite imagery. *Asian Journal of Geoinformatics*, 14(1), 8-14.
- Yusuf, M., **Sulistiyawati, E.**, dan Suhaya, Y. 2014. Distribusi biomassa di atas dan bawah permukaan dari Surian (*Toona sinensis* Roem.). *Jurnal Matematika & Sains*, 19(2), 69-75.

- **Sulistiyawati, E.**, Mashita, N., Setiawan, NN., Choesin, DN., dan Suryana, P. 2012. Flowering and fruiting phenology of tree species in Mount Papandayan Nature Reserve, West Java, Indonesia. *Tropical Life Sciences Research*, 23(2), 81-95.
- Primajati, M., Harto, AB., dan **Sulistiyawati, E.** 2011. Forest condition analysis based on forest canopy closure with remote sensing approach. *Jurnal Biologi Indonesia*, 7(1), 13-23.
- Sulistiyawati, E. 2011. The historical demography of resource use in a swidden community in West Kalimantan. In M.R. Dove, P.E. Sajise, dan A.A. Doolittle (Eds), *Beyond the sacred forest: Complicating conservation in Southeast Asia*, 239-275. Durham, Duke.
- Novasyurahati dan **Sulistiyawati, E.** 2008. Kelimpahan Sumberdaya Hutan di Sekitar Desa Baru Pelepat. Dalam Belajar Dari Bungo Mengelola Sumberdaya Alam di Era Desentralisasi. Center for International Forestry Research (CIFOR). Bogor.
- **Sulistiyawati, E.**, Noble, I.R., dan Roderick, M.L. 2005. A simulation model to study land use strategies in Swidden Agriculture Systems. *Agricultural System*, 85(85), 271-288.

#### **b. Seminar**

- Ramdhani, N.F., **Sulistiyawati, E.**, Sutrisno. 2019. Land surface temperature analysis of post-mining area using Landsat 8 Imagery. Proceedings of SPIE11372, *Sixth International Symposium on LAPAN-IPB Satellite* 24 Desember 2019.
- Syamuda, T., **Sulistiyawati, E.**, dan Sunarya, S. 2019. Estimation of soil erosion by RUSLE model: A Case Study of Situ Ciseupan Area, West Java. Proceedings of SPIE11372, *Sixth International Symposium on LAPAN-IPB Satellite*. 24 Desember 2019.
- Akhmalluddin, F., **Sulistiyawati, E.**, dan Sutrisno. 2019. Potential biomass production estimation of wood energy species in post mining reclamation area using CO2FIX Model. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 394 012038.
- Bulkiah, T., **Sulistiyawati, E.**, dan Sutrisno. 2019. Wood pellet characteristics of five energy species grown in post-mining reclamation areas in South Kalimantan. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 394 012050.
- Devi, M.T., **Sulistiyawati, E.**, dan Irawan, D.E. 2017. Vegetation of raparian areas along Cikapundung River. *Poster presented at 4th International*

*Conference on Mathematics, Science, and Education*. Aston Hotel Semarang, Jl. MT Haryono No. 1, Sayangan, Semarang, Indonesia. FMIPA UNNES Semarang, 18-19 September 2017.

- Rahmadia, T., **Sulistiyawati, E.**, dan Irawan, D.E. 2017. Cikapundung watershed land cover characterization using SPOT-6 Imagery. *Poster presented at 4th International Conference on Mathematics, Science, and Education*. Aston Hotel Semarang, Jl. MT Haryono No. 1, Sayangan, Semarang, Indonesia. FMIPA UNNES Semarang, 18-19 September 2017.
- Senoputri, M., **Sulistiyawati, E.**, Yustiana, Y., dan Hidayati, N. 2016. Native species characteristics of Mount Papandayan in terms of energy usage. *Proceedings of The International Conference on Sustainable Forest Development in View of Climate Change*. Putrajaya, Malaysia, 8-11 August 2016.
- Prasetyo, RT., **Sulistiyawati, E.**, Yustiana, Y., dan Hidayati, N. 2016. CO2 absorption capability of several local species of Mount Papandayan, Indonesia. *Proceedings of The International Conference on Sustainable Forest Development in View of Climate Change*. Putrajaya, Malaysia, 8-11 August 2016.
- Mahardika, N. dan **Sulistiyawati, E.** 2016. Deforestation and fragmentation in Tanjung Puting National Park and its surroundings. Presented at *Conservation Asia 2016 - ATBC Asia-Pacific Chapter Conference*. Singapore, 29 June-2 July 2016.
- Pradipta, A. dan **Sulistiyawati, E.** 2016. Expansion pattern of Prickly Acacia (*Acacia nilotica*) in Baluran National Park using Landsat Satellite Imagery. Presented at *Conservation Asia 2016 - ATBC Asia-Pacific Chapter Conference*. Singapore, 29 June-2 July 2016.
- Pratama, M. F. dan **Sulistiyawati, E.** 2015. Structure and composition of tree community along elevational gradient in Mount Gede Pangrango National Park. Presented at *The 9th Annual Meeting of The Association for Tropical Biology and Conservation (ATBC) Asia Pacific Chapter*. Phnom Penh, Kamboja, 30 March - 2 April 2015.
- Wetadewi, R.I. dan **Sulistiyawati, E.** 2015. Forest regeneration at the boundary of Mount Papandayan Nature Reserve, West Java, Indonesia. Presented at *The 9th Annual Meeting of The Association for Tropical Biology and Conservation (ATBC) Asia Pacific Chapter*. Phnom Penh, Kamboja, 30 March - 2 April 2015.

- Azhardita, A. dan **Sulistiyawati, E.** 2014. Land cover change analysis using Multitemporal Landsat Satellite Data (Case: Mount Wayang). Proceeding of the *34th Asian Conference on Remote Sensing 2013 (ACRS 2013)*. Asian Association on Remote Sensing, Bali, Indonesia, 20-24 October 2013.
- Budianti, N., **Sulistiyawati, E.**, Choesin, D.N., dan Suhaya, Y. 2014. Litterfall dynamic in 1-ha permanent plot at Mount Papandayan, Indonesia. Proceeding of *The International Conference on Forest, Soil and Rural Livelihoods in a Changing Climate*. Kathmandu University, Dhulikhel, Nepal, 27-30 September 2014.
- **Sulistiyawati, E.**, Muhammad, E., Citasyari, D. dan Ratnasih, R. 2014. Inventory of tree and understory plants in a 1-ha permanent plot at Mount Rinjani, Indonesia. Presented at *International Conference on Forest, Soil and Rural Livelihoods in a Changing Climate*. Kathmandu University, Dhulikhel, Nepal, 27-30 September 2014.
- Permadi, D. dan **Sulistiyawati, E.** 2014. Epiphytic bryophytes along an altitudinal gradient in Mt. Gede-Pangrango National Park, Indonesia. Presented at *The International Conference on Forest, Soil and Rural Livelihoods in a Changing Climate*. Kathmandu University, Dhulikhel, Nepal, 27-30 September 2014.
- **Sulistiyawati, E.** dan Fathoni, I. 2013. Tropical forest vegetation along an altitudinal gradient in Mount Rinjani, Indonesia. Presented at *The 11th INTECOL Congress*. London, 18-23 August 2013.
- El-Farizy, G.H.A. dan **Sulistiyawati, E.** 2012. Seedling performance of indigenous species with fertilizer addition and weeding in early stage reforestation in Mt. Papandayan Nature Reserves, West Java. Proceeding of *The 2nd International Symposium for Sustainable Humanosphere*. Bandung, Indonesia, 29 Agustus 2012.
- **Sulistiyawati, E.**, Iqbal, A., Choesin, D.N., and Rozieanti, S. 2012. Forest structure and composition of one hectare permanent plot in Mount Papandayan, Indonesia. Presented at *The 49th Annual Meeting of The Association for Tropical Biology and Conservation (ATBC)*. Bonito-MS, Brazil, 18-22 June 2012.
- Noviantina, O. dan **Sulistiyawati, E.** 2012. Cultural and practical analysis of Forest Plant Resources in Dayak Tanjung Community at Kelekat Village, East Kalimantan. Proceeding of *The 2nd International Symposium for Sustainable Humanosphere*. Bandung, Indonesia, 29 Agustus 2012.

- Iqbal, A., **Sulistiyawati, E.**, dan Fetriza. 2012. Carbon stock in a tropical montane forest in Mount Papandayan Indonesia. Presented at *The 2nd Asia Regional Conference of the Society for Conservation Biology*. Bangalore, India, 7-10 August 2012.
- Nuraziza, I. dan **Sulistiyawati, E.** 2010. Simulation of carbon dynamics of *Acacia mangium* Forest at Parungpanjang, Bogor, West Java, Indonesia Using Century Model. Proceedings of *The International Conference of Environmental and Natural Resources 2010*. Salaya, Thailand, 9-12 November 2010.
- Setiawan, N.N. dan **Sulistiyawati, E.** 2010. Seedling performance of five native tree species on early reforestation period at Mount Papandayan Nature Reserve. Proceedings of *The International Conference of Environmental and Natural Resources 2010*. Salaya, Thailand, 9-12 November 2010.
- Noviantini, A. dan **Sulistiyawati, E.** 2010. Fruit predation on succession process in Reforested Area at Mount Papandayan, West Java, Indonesia. Proceedings of *The International Conference of Environmental and Natural Resources 2010*. Salaya, Thailand, 9-12 November 2010.
- Utami, I. dan **Sulistiyawati, E.** 2010. Vegetation structure and composition analysis along interior to edge of forest and the adjacent disturbed lands in the Mount Papandayan Nature Reserve, West Java. Poster Session at International Conference of Environmental and Natural Resources 2010. Salaya, Thailand, 9-12 November 2010.
- **Sulistiyawati, E.**, Sungkar, R.M., Maryani, E., Aribowo, M., dan Rosleine D. 2006. The Biodiversity of Mount Papandayan and the Threats. Proceedings of *International Interdisciplinary Conference Volcano International Gathering 2006, "1000 years Merapi Paroxysmal Eruption"*, *Volcano: Live, Prosperity, and Harmony*, 206-213.
- **Sulistiyawati, E.**, Ramdan, M., dan Ulumuddin, Y. 2006. Estimation of carbon stock at landscape level using remote sensing: a Case study in Mount Papandayan. *Proceeding Environmental Technology and Management Conference 2006*.
- Sulistiyawati, E., Rosleine, D., Sungkar, R., dan Gurnita. 2005. Struktur komunitas dan keanekaragaman tumbuhan di G. Papandayan. Makalah dipresentasikan pada Seminar Penggalang Taksonomi Tumbuhan

Indonesia, 18-19 November 2005, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.

## VII. PENGHARGAAN

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya X tahun	Presiden RI	2007
2.	Penghargaan ITB dalam rangka kegiatan Dies ITB ke 58 Bidang Pengajaran tahun 2017	Rektor ITB	2017
3.	Satyalancana Karya Satya XX tahun	Presiden RI	2018
4.	Penghargaan 25 Tahun ITB	Rektor ITB	2020

**ITB PRESS**

📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,  
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132  
☎ +62 22 20469057  
🌐 [www.itbpress.id](http://www.itbpress.id)  
✉ [office@itbpress.id](mailto:office@itbpress.id)  
👤 Anggota Ikapi No. 043/JBA/92  
📄 APPTI No. 005.062.1.10.2018

**Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung**

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132  
E-mail: [sekretariat-fgb@itb.ac.id](mailto:sekretariat-fgb@itb.ac.id)  
Telp. (022) 2512532  
🌐 [fgb.itb.ac.id](http://fgb.itb.ac.id)     [FgbItb](https://www.facebook.com/FgbItb)     [FGB\\_ITB](https://twitter.com/FGB_ITB)  
📱 [@fgbitb\\_1920](https://www.instagram.com/@fgbitb_1920)     [Forum Guru Besar ITB](https://www.youtube.com/ForumGuruBesarITB)

ISBN 978-623-297-333-6

