

KEANEKARAGAMAN TUMBUHAN DAN SIMPANAN KARBON TEGAKAN DI WANA WISATA TAMPORA, SITUBONDO, JAWA TIMUR

(Vegetation diversity and stand carbon stocks in Wana Wisata Tampora, Situbondo, East Java)

Trimanto^{1*} , Lia Hapsari¹, Titut Yulistyarini¹, Sugeng Budiharta¹, Setyawan Agung Danarto¹, Shofiyatul Mas'udah¹, Janis Damaiyani¹, Rachmawan Adi Laksono¹, Nurlaily Lavianti², Bakti Yunanto²

¹BKT Kebun Raya Purwodadi, Pusat Penelitian Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya-LIPI
Jalan Raya Surabaya-Malang, Km 65, Purwodadi, Pasuruan, Jawa Timur, 67163, Indonesia

²PT. POMI - Paiton Energy

Jalan Raya Surabaya-Situbondo Km 141 Bhinor, Paiton, Probolinggo, Jawa Timur, 67291, Indonesia

Article Info	ABSTRAK
<p>Article History: Received 04 January 2021; Accepted 27 May 2021; Published online 25 August 2021</p> <p>Kata Kunci: Flora, stok karbon, vegetasi, Tampora</p> <p>Keywords: Flora, carbon stock, vegetation, Tampora</p> <p>How to cite this article: Trimanto, Hapsari, L., Yulistyarini, T., Budiharta, S., Danarto, S.A., Mas'udah, S., Damaiyani, J., Laksono, R.A., Lavianti, N., Yunanto, B. (2021). <i>Vegetation diversity and stand carbon stocks in Wana Wisata Tampora, Situbondo, East Java. Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea</i>, 10(2), 103-116. : http://dx.doi.org/10.18330/jwallacea.2021.vol10i2ss2pp103-116</p>	<p>Degradasi hutan dan perkembangan industri memberikan dampak negatif bagi iklim global. Tegakan vegetasi hutan sangat berperan dalam penyerapan emisi CO₂ di udara. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur komunitas vegetasi, indeks keanekaragaman tumbuhan, dan simpanan karbon tegakan di Wana Wisata Tampora, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur. Penelitian dilakukan dengan metode transek dan menghitung indeks keanekaragaman tumbuhan meliputi indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), indeks kekayaan (R) dan indeks pemerataan (E), sedangkan penghitungan estimasi simpanan karbon dilakukan menggunakan persamaan alometrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai H' pada strata tumbuhan bawah tergolong tinggi (3,18) sedangkan untuk pancang dan pohon tergolong sedang (2,68 dan 2,60). Hasil estimasi simpanan karbon tegakan menunjukkan nilai rata-rata 145,94 ton/ha. Jenis-jenis tumbuhan dengan Indeks Nilai Penting (INP) dan penyumbang karbon tinggi antara lain <i>Schleichera oleosa</i> (83,97 dan 56,49 ton/ha), <i>Lannea coromandelica</i> (58,88 dan 32,35 ton/ha), <i>Tectona grandis</i> (24,72 dan 8,5 ton/ha), <i>Azadirachta indica</i> (20,72 dan 8,27 ton/ha), dan <i>Acacia nilotica</i> (9,40 dan 8,39 ton/ha). Hasil penelitian akan bermanfaat bagi pemerintah daerah sebagai dasar dalam pengembangan Wana Wisata Tampora dan pengelolaan keanekaragaman hayati.</p>
	<p>ABSTRACT</p> <p><i>Forest degradation and industrial development have a negative impact on the global climate. Forest vegetation plays a role in absorbing CO₂ emissions in the air. The aims of this research are to determine vegetation community structure, plant diversity indices, and estimation of stands carbon stocks in Wana Wisata Tampora, Situbondo district, East Java. The research was conducted using the transect method and measured the diversity indices including Shannon-Wiener diversity index (H'), richness index (R), and evenness index (E), while the carbon stock was estimated using an allometric equation. The results showed that the diversity index value at the ground cover layer was considered high (3.18), while saplings and trees were moderate (2.68 and 2.60). The results of the stands carbon stocks estimation have shown an average value of 145.94 tonnes/ha. Plant species with high Important Value Index (IVI) and carbon contributor including <i>Schleichera oleosa</i> (83.97 and 56.49 ton/ha), <i>Lannea coromandelica</i> (58.88 and 32.35 ton/ha), <i>Tectona grandis</i> (24.72 and 8.5 ton/ha), <i>Azadirachta indica</i> (20.72 and 8.27 ton/ha), and <i>Acacia nilotica</i> (9.40 and 8.39). The results of the research will be useful for local governments as the basis for the development of Wana Wisata Tampora and the management of flora biodiversity.</i></p>

Read online



Scan this QR code with your Smart phone

or mobile device to read online.

* Corresponding author. Tel: +62 85647138966

E-mail address trim006@lipi.go.id (Trimanto)

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global saat ini menjadi perhatian bagi dunia. Perubahan iklim didefinisikan sebagai pergeseran pola iklim yang terutama disebabkan oleh emisi gas rumah kaca. Pada tahun 2018, dunia mengalami 315 kasus bencana alam yang sebagian besar terkait dengan perubahan iklim (Fawzy *et al.*, 2020). Mitigasi iklim dapat dilakukan dengan pengelolaan hutan dan lahan yang mengacu pada strategi pelestarian stok karbon ekosistem dan memelihara atau meningkatkan sequestrasi karbon (Warren *et al.*, 2017). Pohon dengan kanopi besar mampu menangkap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer sehingga dapat membantu mengurangi peningkatan kadar CO₂ di atmosfer (Aba *et al.*, 2017). Diketahui bahwa aktivitas industri berperan dalam peningkatan gas rumah kaca dan polusi udara (Fujii & Managi, 2016).

Kabupaten Situbondo merupakan salah satu kawasan industri di Jawa Timur yang saat ini sedang dikembangkan oleh pemerintah daerah (Ladiana, 2013). Terkait dengan emisi gas rumah kaca, sektor industri merupakan salah satu penyumbang emisi terbesar yaitu 32 % (Ali *et al.*, 2020). Di sisi lain pemerintah daerah juga sedang mengembangkan pariwisata di Wana Wisata Tampora. Pengembangan area wana wisata tentunya harus mempertimbangkan berbagai sektor pembangunan. Pengembangan kawasan pesisir dan laut juga harus didasarkan pada pemanfaatan potensi-potensi daerah yang berorientasi pada peningkatan ekonomi dan pelestarian lingkungan. Keberadaan Wana Wisata Tampora yang menyediakan berbagai jenis tegakan pohon berpeluang mengurangi emisi CO₂ sebagai akibat dari aktivitas industri. Wana Wisata Tampora juga berpotensi dalam penyerapan CO₂ dan penyimpanan karbon. Pohon di hutan berfungsi sebagai tempat penimbunan karbon melalui proses fotosintesis (Kohl *et al.*, 2017).

Wana Wisata Tampora menyediakan keanekaragaman jenis tumbuhan sehingga berpotensi sebagai tempat dan media pembelajaran ilmu tumbuhan. Informasi keanekaragaman jenis-jenis tumbuhan Wana Wisata Tampora sangat dibutuhkan untuk pengembangan wilayah tersebut. Wana Wisata Tampora berkarakter dataran rendah

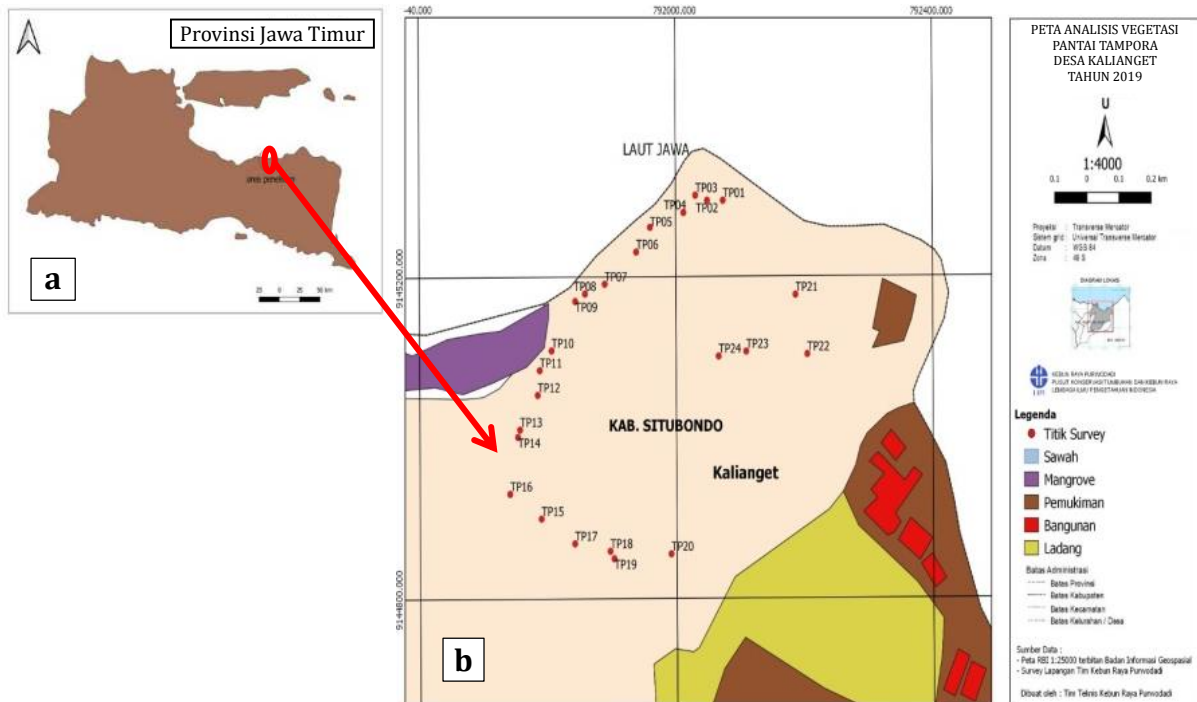
dengan berbukit dengan iklim yang panas dan kering. Pada musim kemarau banyak jenis tumbuhan yang berdormansi dan menggugurkan daun (meranggas), sehingga kondisi lingkungan akan terlihat kering. Beberapa jenis tumbuhan yang menggugurkan daunnya diketahui sebagai strategi tumbuhan tersebut dalam mengatasi kekurangan air (Koten *et al.*, 2020). Selain menyediakan oksigen, pohon di wilayah ini juga berperan dalam konservasi tanah dan habitat bagi hewan lain yang berperan dalam menyeimbangkan ekosistem di wilayah sekitar.

Keanekaragaman tumbuhan, struktur vegetasi, dan estimasi simpanan karbon di Wana Wisata Tampora belum pernah diinformasikan. Informasi hasil penelitian ini akan bermanfaat sebagai dasar dalam pengembangan wisata oleh pemerintah setempat karena kawasan ini diprioritaskan sebagai wilayah yang akan dikembangkan sebagai destinasi wisata alam di Kabupaten Situbondo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur komunitas vegetasi dan keanekaragaman tumbuhan baik pada strata tumbuhan bawah, pancang, dan pohon serta mengukur estimasi simpanan karbon tegakan. Informasi dari keanekaragaman flora dan simpanan karbon di Wana Wisata Tampora dapat dijadikan sebagai rujukan dalam pengelolaan keanekaragaman hayati dan pengembangan Wana Wisata Tampora yang lebih bermanfaat untuk masyarakat dan berwawasan lingkungan.

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

Lokasi penelitian Wana Wisata Tampora terletak di Dusun Kalianget, Desa Banyuglugur, Kecamatan Besuki, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur (Gambar 1). Secara geografis Wana Wisata Tampora dengan luas 47,2 ha terletak pada koordinat 07°43'26,8" LS - 113°38'51,7" BT. Secara umum kondisi iklim di sekitar wilayah Kabupaten Situbondo mempunyai curah hujan rata-rata 994-1503 mm/tahun dengan 3-4 bulan basah dan 8-9 bulan kering per tahun (puncak musim kering antara bulan Juli-September). Suhu tahunan berkisar 24,7°C - 27,9°C dengan kelembapan udara 76-90% (Dinas Pekerjaan Umum Situbondo, 2019). Ketinggian tempat di Wana



Gambar 1. Lokasi penelitian. a) peta Provinsi Jawa Timur, b) peta lokasi plot pengamatan untuk analisis vegetasi di Wana Wisata Tampora

Figure 1. Research location. a) map of East Java province, b) map of sampling plots for vegetation analysis in Wana Wisata Tampora

Wisata Tampora berkisar 16-90 m dpl. dengan topografi berbukit. Tanah di Wana Wisata Tampora didominasi oleh tekstur tanah lempungan. Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2019 dengan kondisi musim kemarau.

Sejarah nama Tampora digunakan karena lokasinya terletak di bukit Tampora. Kawasan hutan ini merupakan milik Perhutani dan dikelola oleh Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Probolinggo bersama Lembaga Masyarakat Desa Hutan (LMDH) sesuai dengan Surat Keputusan No. 13/PHBM-BINLING/PROB/2009. Wana Wisata Tampora berbatasan langsung dengan pantai dan vegetasinya termasuk dalam kategori hutan sekunder dataran rendah kering. Bukit Tampora bagian barat merupakan hutan heterogen yang terdiri dari pohon jati, kesambi, dan mangrove.

B. Alat dan Bahan

Alat dalam penelitian ini adalah alat *Global Positioning System* (GPS) untuk *tagging* lokasi, kamera DSLR untuk dokumentasi, *soil tester* untuk mengukur pH dan kelembapan tanah, *thermo-hygrometer* untuk mengukur

kelembapan udara dan suhu, dan *lux meter* yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya. Peta digital rupa bumi (RBI) dari Badan Informasi Geospasial (BIG) digunakan untuk memetakan lokasi *sampling*. Peralatan lain yang digunakan adalah meteran ukur, tali raffia untuk *ploting*, alat tulis kantor untuk pencatatan data yang meliputi buku lapangan dan pensil.

C. Prosedur Penelitian

1. Survei Vegetasi

Sampling vegetasi dilakukan dengan cara membuat petak-petak pengamatan yang dilakukan dengan metode garis berpetak pada garis transek yang dibuat memotong kontur sebanyak 24 titik (**Gambar 1**). Metode ini dipilih untuk menggambarkan keterwakilan vegetasi yang ada di Wana Wisata Tampora. Survei vegetasi dilakukan pada tiga strata pada plot secara bersarang yaitu tumbuhan bawah dan semai (tinggi $\leq 1,5$ m) dengan ukuran petak 2 m x 2 m, pancang (sapihan) diameter ≤ 10 cm, tinggi $\geq 1,5$ m dengan ukuran petak 5 m x 5 m, dan pohon (diameter > 10 cm) dengan ukuran petak 20 m x 20 m (Indriyanto, 2006; Fiqa et al., 2019).

2. Pengukuran Simpanan Karbon Tegakan

Estimasi simpanan karbon tegakan dilakukan menggunakan persamaan allometrik (Hairiah *et al.*, 2010). Parameter-parameter pertumbuhan yang berkaitan erat dengan biomassa tumbuhan yang diukur antara lain diameter dan berat jenis kayu. Pengukuran diameter pohon dilakukan dengan mengukur terlebih dahulu keliling batang setinggi dada yaitu 1,30 m dari permukaan tanah. Keliling pohon kemudian dikonversi ke diameter. Jika ditemukan pohon berbanir maka pengukuran keliling batang dilakukan dengan melihat tingginya banir. Pohon-pohon yang berbanir lebih tinggi dari 1,30 m dilakukan pengukuran 20 cm di atas banir. Berat jenis kayu diperoleh dari *database* berat jenis kayu pada website <http://www.wood-database.com> dan *global wood density database* (Zanne *et al.*, 2009). Pengukuran simpanan karbon tegakan dilakukan pada plot strata pancang (5 m x 5 m) dan pohon (20 m x 20 m). Biomassa dan simpanan karbon yang diukur yaitu *Above-ground Biomass* (AGB) atau biomassa dan simpanan karbon di atas permukaan tanah.

D. Analisis Data

Analisis vegetasi dilakukan untuk mengetahui komposisi dan struktur vegetasi dengan menggunakan variabel-variabel Indeks Nilai Penting (INP), indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), indeks kekayaan (R), dan indeks kemerataan (E) (Agbelade *et al.*, 2017; Kent & Coker, 1992; Magurran, 1983). Kriteria dan kategori indeks keanekaragaman mengacu pada Tabel 1. INP untuk tingkat pohon dinilai dari jumlah

Kerapatan Relatif (KR), Frekuensi Relatif (FR), dan Dominansi Relatif (DR), sedangkan INP untuk tingkat pancang dan tumbuhan bawah dinilai dari jumlah Kerapatan Relatif (KR) dan Frekuensi Relatif (FR). Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') dihitung dengan rumus:

$$H = -\sum p_i \ln p_i \quad (1)$$

$$p_i = \frac{n_i}{n}$$

H' = Indeks keanekaragaman tumbuhan

n_i = Jumlah individu jenis i

N = Total individu seluruh jenis

Indeks kekayaan (R) dihitung dengan persamaan:

$$R = \frac{(S-1)}{\ln(N)} \quad (2)$$

Keterangan:

R = Indeks kekayaan jenis

S = Jumlah total jenis

N = Jumlah total individu

Indeks kemerataan (E) dihitung dengan persamaan:

$$E = \frac{H}{\ln(S)} \quad (3)$$

Keterangan:

E = Indeks kemerataan jenis

H = Indeks keanekaragaman jenis

S = Jumlah jenis

Besaran biomassa pada tiap individu pohon atau pancang dihitung dengan persamaan allometrik yang sering digunakan untuk menghitung biomassa tegakan di kawasan tropis (Ketterings *et al.*, 2001). Persamaan tersebut dijabarkan sebagai berikut:

Tabel 1. Kategori indeks keanekaragaman

Table 1. Diversity indices category

No.	Analisis vegetasi (Vegetation analysis)	Kriteria nilai (Value criteria)	Kategori (Category)
1	Indeks keanekaragaman (H') (Diversity index)	$H < 1$ $1 \leq H \leq 3$ $H > 3$	Keanekaragaman rendah (Low diversity) keanekaragaman sedang (Moderate diversity) Keanekaragaman tinggi (High diversity)
2	Indeks Kemerataan (E) (Evenness index)	$0 < E \leq 0,4$ $0,4 < E \leq 0,6$ $0,6 < E \leq 1,0$	Kemerataan rendah (Low evenness) Kemerataan sedang (Moderate evenness) Kemerataan tinggi (High evenness)
3	Indeks Kekayaan (R) (Richness index)	$R < 3,5$ $3,5 \leq R \leq 5,0$ $R > 5$	Kekayaan jenis rendah (Low richness) Kekayaan jenis sedang (Moderate richness) Kekayaan jenis tinggi (High richness)

Sumber (Source): (Magurran, 1983; Kent & Coker, 1992; Agbelade *et al.*, 2017)

$$W = 0.11 \rho D^{2+0.62} \quad (4)$$

Keterangan:

W = biomassa individu pohon atau pancang (kg)

ρ = berat jenis kayu (g/cm³)

D = diameter individu pohon atau pancang (cm)

Besaran W kemudian dikonversi menjadi besaran karbon dengan mengalikannya menggunakan faktor standar 0,5 (Saatchi et al., 2011; Zhu et al., 2015).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Komposisi Vegetasi Tumbuhan

1. Strata tumbuhan bawah (*ground cover*)

Indeks keanekaragaman tumbuhan bawah di Wana Wisata Tampora termasuk tinggi dengan nilai H' sebesar 3,18 (Tabel 5). Jenis tumbuhan bawah yang mendominasi Wana Wisata Tampora adalah *Barleria prionitis*, *Mimosa invisa*, dan *Schoutenia ovata* dengan INP berurutan sebesar 19,21, 14,66, dan 11,78. Sepuluh jenis tumbuhan dengan INP tinggi dapat dilihat pada (Tabel 2). Jenis tumbuhan bawah yang paling mendominasi adalah *B. prionitis*. Jenis tumbuhan tersebut merupakan tumbuhan keluarga Acanthaceae berhabitus semak berduri kecil dan merupakan tumbuhan asli dari Asia Selatan dan Afrika. Pemanfaatan *B. prionitis* telah dikaji secara klinis yang bermanfaat sebagai tanaman obat (Talukdar et al., 2015). Jumlah jenis tumbuhan di kawasan ini pada tahun tahun 2018 ditemukan 115 jenis (Rohman et

al., 2018). Jenis tumbuhan pada tahun 2019 mengalami pengurangan jenis sebanyak 48 jenis. Jenis tanaman pada tahun 2019 hanya sejumlah 67 jenis tumbuhan. Indeks keanekaragaman tahun 2019 (H' = 3,43) mengalami penurunan sebesar 0,53. Indeks keanekaragaman tumbuhan lebih kecil jika dibandingkan dengan tahun 2018 (H' = 3,96).

Tumbuhan bawah atau anakan pohon dari jenis *Schoutenia ovata*, *Schleicera oleosa*, dan *Azadirachta indica* juga mendominasi di Wana Wisata Tampora. Jenis *S. oleosa* adaptif terhadap lingkungan (Banerjee et al., 2019), mengingat saat musim kemarau kondisi kawasan tersebut sangat kering dan panas. Jenis *A. indica* juga memiliki daya adaptasi yang baik melalui pembentukan kutikula yang tebal dan pengurangan stomata pada daunnya sehingga dapat beradaptasi di daerah kering (Lawal et al., 2018). Sedangkan jenis *S. ovata* merupakan tanaman yang sering mendominasi hutan dataran rendah (Mansur, 2020; Susila, 2020), hal tersebut menandakan bahwa tumbuhan ini mampu beradaptasi dengan baik di hutan dataran rendah. Jenis-jenis tumbuhan bawah tersebut masih dapat bertahan saat musim kemarau, hal tersebut mengindikasikan bahwa tumbuhan dari ketiga jenis tersebut dapat bertahan dalam kondisi iklim kering. Morfologi daun yang kering dan meranggas juga terjadi pada strata tumbuhan bawah sebagai adaptasi terhadap cuaca yang panas dan kekurangan air (Gambar 2).

Pada musim kemarau terjadi perubahan dinamika tumbuhan di Wana Wisata Tampora. Perubahan dinamika tumbuhan dapat disebabkan karena beberapa faktor seperti *life form* atau *growth form* tumbuhan *annual*,

Tabel 2. Sepuluh jenis tumbuhan bawah dengan INP tinggi

Table 2. Ten ground cover species with high IVI

No	Nama spesies (<i>Name of species</i>)	Famili (<i>Family</i>)	KR (<i>RD</i>)	FR (<i>RF</i>)	INP (<i>IVI</i>)
1	<i>Barleria prionitis</i> L.	Acanthaceae	11,62	7,59	19,21
2	<i>Mimosa invisa</i> Colla	Leguminosae	8,96	5,70	14,66
3	<i>Schoutenia ovata</i> Korth	Malvaceaea	6,08	5,70	11,78
4	<i>Capparis</i> sp.	Capparaceae	4,54	6,96	11,50
5	<i>Apluda mutica</i> L.	Poaceae	7,63	3,80	11,43
6	<i>Schleicheria oleosa</i> (Lour.) Merr.	Sapindaceae	3,65	6,96	10,61
7	<i>Jatropha gossypifolia</i> L.	Euphorbiaceae	7,63	1,90	9,53
8	<i>Themeda arguens</i> (L.) Hack.	Poaceae	6,19	2,53	8,73
9	<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	Meliaceae	2,99	5,70	8,68
10	<i>Pseuderanthemum</i> sp.	Acanthaceae	5,42	3,16	8,58

Keterangan (*Remarks*):

Indeks Nilai Penting (INP), Frekuensi Relatif (FR), Kerapatan Relatif (KR), *IVI* (*Importance Value Index*), *RF* (*Relative Frequency*), *RD* (*Relative Density*)



Gambar 2. Kondisi tumbuhan bawah pada musim kemarau di Wana Wisata Tampora
Figure 2. The condition of ground cover during the dry season at Wana Wisata Tampora

biennial, dan *perennial*; perubahan musim; kondisi fisiologis; dan adanya gangguan secara mekanis. Beberapa jenis tumbuhan seperti tumbuhan berimpang *Boesenbergia pandurata* selalu dormansi di musim kemarau. Beberapa jenis tumbuhan umbi seperti *Tacca* sp. dan *Amorphophallus variabilis* juga mengalami dormansi di musim kemarau. Beberapa jenis paku-pakuan *Adiantum* dan *Pteris biaurita* yang dilaporkan ditemukan pada tahun sebelumnya (Rohman et al., 2018) juga dimungkinkan mati. Banyak jenis tumbuhan bawah pada musim penghujan tumbuh di lokasi ini tetapi tidak ditemukan atau tumbuh pada musim kemarau, kemungkinan tumbuhan tersebut mati karena kondisi tanah yang kering dan panas dan dimungkinkan akan tumbuh kembali pada musim penghujan. Banyak jenis tumbuhan bawah bersifat *annual* atau musiman. Tumbuhan dengan karakter musiman akan tumbuh pada saat kondisi lingkungan mendukung pertumbuhannya dan memiliki ketersediaan air yang cukup.

2. Strata pancang

Indeks keanekaragaman pancang di Wana Wisata Tampora tergolong sedang dengan nilai H' sebesar 2,68 (Tabel 5). Jumlah jenis tumbuhan pancang diketahui lebih sedikit dibandingkan tumbuhan bawah. Pada strata pancang, jenis tumbuhan dataran rendah kering yang mendominasi kawasan adalah *Schoutenia ovata*, *Schleichera oleosa*, dan *Azadirachta indica*. Strata pancang merupakan strata yang kelak akan menjadi pohon. Jika tumbuhan pada strata pancang dapat hidup dengan baik maka keanekaragaman pancang akan menambah keanekaragaman pohon. Sepuluh jenis tumbuhan strata pancang dengan INP tinggi dapat dilihat pada Tabel 3. Keadaptifan *S. ovata*, *S. oleosa*, dan *A. indica* pada lahan kering juga terjadi pada strata pancang. Tumbuhan tersebut juga meranggas dengan menggugurkan daunnya pada musim kemarau.

Salah satu jenis tumbuhan yang mendominasi pada strata pancang adalah *Schoutenia ovata* (nama lokal walikukun).

Tabel 3. Sepuluh jenis tumbuhan strata pancang dengan INP tinggi
Table 3. Ten species of sapling layer with high IVI

No	Nama spesies (Name of species)	Famili (Family)	KR (RD)	FR (RF)	INP (IVI)
1	<i>Schoutenia ovata</i> Korth	Malvaceae	23,97	10,78	20,26
2	<i>Schleichera oleosa</i> (Lour.) Merr.	Sapindaceae	17,36	16,67	19,24
3	<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	Meliaceae	10,74	10,78	9,19
4	<i>Morinda citrifolia</i> L.	Rubiaceae	6,20	7,84	11,37
5	<i>Olax scandens</i> Roxb.	Olacaceae	4,55	6,86	7,79
6	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Arn.	Leguminosae	5,37	4,90	4,87
7	<i>Ziziphus nummularia</i> (Burm.f.) Wight & Arn	Rhamnaceae	4,55	3,92	3,54
8	<i>Dovyalis caffra</i> (Hook.f. & Harv.) Sim	Salicaceae	3,72	2,94	3,16
9	<i>Uvaria</i> sp.	Annonaceae	1,65	3,92	1,76
10	<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	1,24	2,94	0,67

Keterangan (Remarks): Indeks Nilai Penting (INP), Kerapatan Relatif (KR), Frekuensi Relatif (FR), *IVI* (Importance Value Index), *RD* (Relative Density), *RF* (Relative Frequency)

Tumbuhan ini berhabitus pohon kecil dengan distribusi di Asia Tenggara (Thailand, Malaysia, Indonesia, Kamboja, Vietnam) hingga Australia. Habitat walikukun sering ditemukan di dataran rendah yang panas. Walikukun juga dapat tumbuh pada tanah yang kurang subur dan tahan terhadap naungan. Tumbuhan ini dimanfaatkan kayunya dan bernilai religi (Sujarwo & Keim, 2017).

3. Strata pohon

Indeks keanekaragaman pohon di Wana Wisata Tampora tergolong sedang dengan nilai H' sebesar 2,60 (Tabel 5). Hal tersebut menunjukkan bahwa distribusi tiap jenis tumbuhan, tekanan ekologi, dan stabilitas komunitas tergolong sedang. Indeks keanekaragaman pohon di Wana Wisata Tampora paling kecil jika dibandingkan dengan indeks keanekaragaman tumbuhan bawah dan strata pancang. Jenis tumbuhan pada strata pohon yang ditemukan juga paling sedikit. Jenis tumbuhan strata pohon yang mendominasi kawasan tersebut adalah *Schleichera oleosa*, *Lannea coromandelica*, dan *Morinda citrifolia*. Sepuluh jenis tumbuhan dengan INP tinggi disajikan pada Tabel 4. Indeks pemerataan jenis strata pohon tergolong tinggi dan komunitas stabil ($E = 0,81$). Salah satu jenis pohon yang mendominasi Wana Wisata Tampora adalah *S. oleosa* (pohon kesambi). Pohon kesambi sering ditemukan pada hutan dataran rendah yang beriklim kering di Indonesia seperti di Jawa, Bali, Sulawesi, Maluku, dan Nusa Tenggara. Di Jawa Timur, kesambi banyak ditemukan di Probolinggo, Panarukan, dan Pasuruan. Kesambi memiliki banyak manfaat, salah satunya adalah minyak biji kesambi

dapat digunakan sebagai pembuatan lilin, pelumas, dan sabun. Kesambi dapat dijadikan sebagai sumber penghasil biodiesel karena bijinya mengandung banyak minyak (Yadav et al., 2017). Daun kesambi juga berpotensi sebagai bahan obat karena mengandung metabolit sekunder dan antioksidan (Situmeang et al., 2016).

Jenis *Lannea coromandelica* juga mendominasi Wana Wisata Tampora yang dapat ditemui berjajar di pinggir jalan menuju perbukitan. *L. coromandelica* merupakan tumbuhan dengan habitus pohon yang dapat mencapai tinggi 20 m. Distribusi jenis ini adalah di Asia Timur hingga China, Thailand, Anak Benua India, Kamboja, Vietnam, Myanmar, dan Laos. Tanaman ini juga dibudidayakan di beberapa daerah tropis sebagai tanaman pagar dan pohon pinggir jalan. Bagian tumbuhan yang bermanfaat antara lain daunnya *edible* (dapat dimakan) dan bermanfaat obat, getah karet yang terkandung dalam batang sering digunakan dalam permen, dan bubuk dari kulit kayu digunakan sebagai penyedap. *L. coromandelica* diketahui mengandung antimikroba, antioksidan, dan antikanker (Hossain et al., 2018).

Jenis yang memiliki INP tinggi ke-tujuh (9,40) pada strata pohon adalah *Acacia nilotica*. Jenis ini perlu mendapat perhatian karena merupakan tumbuhan asing invasif yang dapat menyebar secara cepat. Tumbuhan ini diketahui sudah menginvasi 70% dari 7.000 ha hutan savana di Taman Nasional Baluran Jawa Timur (Basari, 2012). Diperlukan usaha yang besar untuk memberantas tumbuhan ini. Usaha pemberantasan yang sudah dilakukan yaitu dengan cara mekanis dengan menggunakan

Tabel 4. Sepuluh jenis strata pohon dengan INP tinggi

Table 4. Ten species of tree layer with high IVI

No	Nama spesies (Name of species)	Famili (Family)	KR (RD)	FR (RF)	DR (RDo)	INP (IVI)
1	<i>Schleichera oleosa</i> (Lour.) Merr.	Sapindaceae	34,66	20,79	28,51	83,97
2	<i>Lannea coromandelica</i> (Houtt.) Merr.	Anacardiaceae	16,56	7,92	34,40	58,88
3	<i>Morinda citrifolia</i> L.	Rubiaceae	9,82	10,89	4,00	24,71
4	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Lamiaceae	11,66	6,93	5,93	24,52
5	<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	Meliaceae	6,75	9,90	4,07	20,72
6	<i>Vitex trifolia</i> L.	Lamiaceae	1,53	2,97	8,86	13,36
7	<i>Acacia nilotica</i> (L.) Delile	Leguminosae	2,45	2,97	3,98	9,40
8	<i>Schoutenia ovata</i> Korth	Malvaceae	2,15	4,95	0,85	7,95
9	<i>Microcos tomentosa</i> Sm.	Malvaceae	1,84	4,95	0,61	7,40
10	<i>Microcos</i> sp.	Malvaceae	2,15	2,97	0,96	6,08

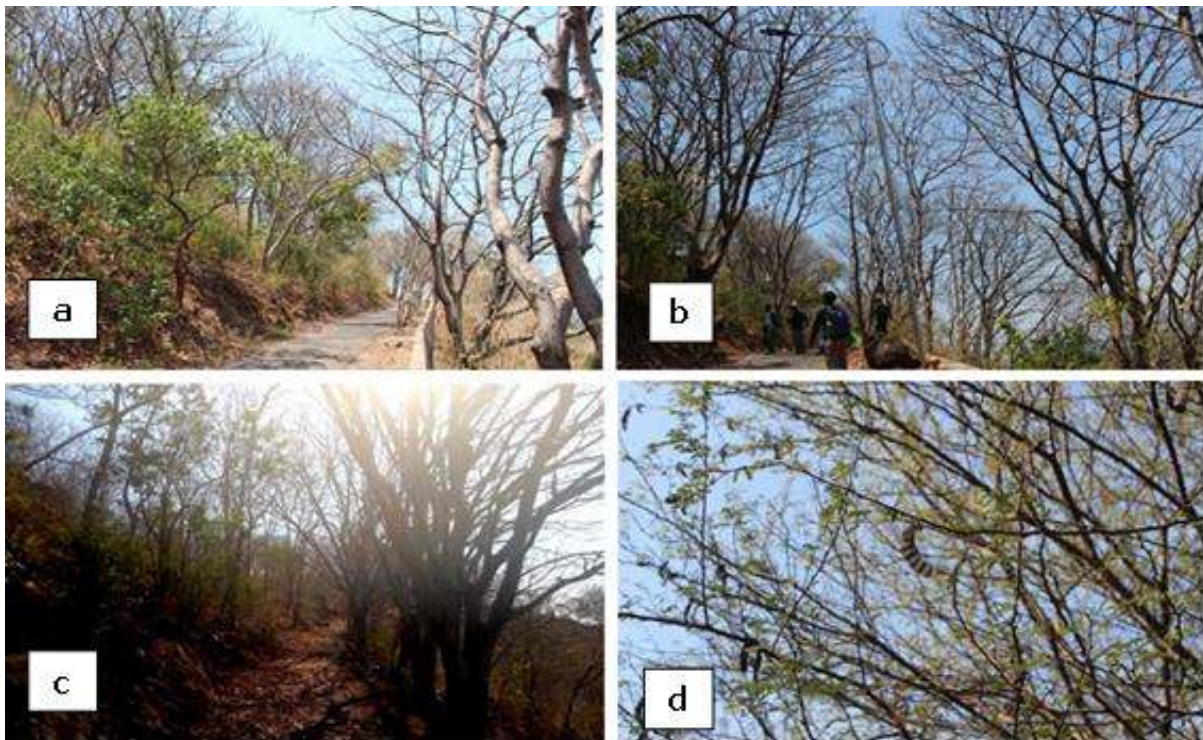
Keterangan (Remarks): Indeks Nilai Penting (INP), Kerapatan Relatif (KR), Frekuensi Relatif (FR), DR (Dominansi Relatif), IVI (Importance Value Index), RD (Relative Density), RF (Relative Frequency), RDo (Relative Dominance)

traktor hingga secara kimia. Pembakaran tunggak juga dilakukan untuk memberantas tumbuhan ini tetapi sampai saat ini belum menunjukkan hasil yang optimal (Basari, 2012). Selain itu serbuk sari dari jenis *A. nilotica* dilaporkan merupakan sumber alergen di daerah tropis dan subtropis (Araz et al., 2013). Keberadaannya yang terlalu banyak berpotensi mengganggu kesehatan wisatawan di Wana Wisata Tampora yang memiliki riwayat alergi serbuk sari. Oleh karena itu, pengelolaan tumbuhan *A. nilotica* di Wana Wisata Tampora perlu mendapat perhatian lebih supaya jenis tersebut tidak menginvasi area yang lebih luas.

Pohon di Wana Wisata Tampora beradaptasi dengan menggugurkan daunnya saat musim kemarau. Pengamatan di lapangan menunjukkan beberapa jenis pohon hanya terlihat batang dan rantingnya saja (Gambar 3). Pengukuran faktor lingkungan di Wana Wisata Tampora pada musim kemarau menunjukkan suhu tertinggi mencapai 40,5°C dengan suhu rata-rata sebesar 36,88°C, kelembapan udara terendah 43%, dan intensitas cahaya matahari tertinggi mencapai

85.000 lux. Strata pohon merupakan strata yang memiliki diameter batang yang besar. Keanekaragaman pohon di Wana Wisata Tampora sangat dibutuhkan dalam konservasi tanah mengingat tingkat kelerengan pada area ini yang bervariasi. Suhu di lapangan dapat mencapai suhu yang cukup tinggi. Suhu tersebut menyebabkan tanah yang kering semakin panas. Kelembapan udara di musim kemarau berkisar 49,66%, hal tersebut mengindikasikan bahwa kondisi udara juga kering. Intensitas cahaya matahari di musim kemarau dapat mencapai 85.000 lux dengan rata-rata intensitas cahaya adalah 46.887 lux. Intensitas cahaya matahari yang penuh menyebabkan kondisi lingkungan di Wana Wisata Tampora sangat panas. Kondisi lingkungan tersebut mengindikasikan bahwa jenis-jenis tumbuhan yang berada di Wana Wisata Tampora yang dapat hidup pada musim kemarau merupakan jenis-jenis tumbuhan yang adaptif terhadap daerah kering dan panas.

Penambahan keanekaragaman pohon diperlukan mengingat masih sedikitnya jenis pohon yang ada di Wana Wisata Tampora.



Gambar 3. a) Koridor Wana Wisata Tampora, b) pohon-pohon meranggas pada musim kemarau, c) Pohon *Lannea coromandelica* dan d) Jenis asing invasif *Acacia nilotica*
Figure 3. a) Wana Wisata Tampora Corridor, b) Withered trees during the dry season, c) *Lannea coromandelica* trees and d) The invasive alien species *Acacia nilotica*

Beberapa jenis tumbuhan yang dapat ditanam adalah jenis tumbuhan lokal yang berperan dalam konservasi tanah dan air, menyediakan pakan hewan liar, dan mempunyai nilai ekonomi sehingga bermanfaat bagi masyarakat. Pemilihan jenis pohon tentunya juga harus mempertimbangkan kondisi iklim di daerah tersebut karena kondisi lingkungan yang cenderung kering, panas, dan suhu tinggi saat musim kemarau (**Gambar 3**). Jenis tumbuhan yang dimungkinkan untuk ditanam di Wana Wisata Tampora antara lain *Parkia timoriana*, *Pterocarpus indicus*, *Dysoxylum gaudichaudianum*, *Madhuca longifolia*, *Peltophorum pterocarpum*, *Alstonia scholaris*, *Artocarpus altilis*, *Syzygium cumini*, dan *Canarium vulgare*. Jenis-jenis ini diketahui sebagai jenis-jenis yang berpotensi dalam sekuestrasi karbon tinggi pada hutan dataran rendah kering sehingga mampu meningkatkan layanan ekosistem di Wana Wisata Tampora. Jenis tumbuhan dari famili Moraceae sebagai contoh *Ficus* spp. juga dapat ditanam untuk tujuan konservasi tanah dan air (Danarto & Yulistyarini, 2019).

Hasil analisis vegetasi di area Wana Wisata Tampora ditemukan sebanyak 67 jenis tumbuhan (**Tabel 5**). Nilai indeks keanekaragaman (H') pada strata tumbuhan bawah tergolong tinggi, sedangkan indeks keanekaragaman pancang dan pohon tergolong sedang. Untuk nilai indeks kekayaan jenis, tumbuhan bawah, dan pancang bernilai tinggi ($R > 5$), sedangkan jenis pohon tergolong sedang. Hasil perhitungan indeks kemerataan di Wana Wisata Tampora berada pada kemerataan tinggi baik untuk strata tumbuhan bawah, strata pancang, dan strata pohon. Hal tersebut menunjukkan komunitas yang stabil. Sementara itu pada level komunitas, total jenis tumbuhan, indeks

keanekaragaman, indeks kekayaan, dan indeks kemerataan tumbuhan tergolong tinggi (**Tabel 5**).

B. Simpanan Karbon Tegakan di Wana Wisata Tampora

Wana Wisata Tampora menyediakan berbagai jenis tegakan baik pancang dan pohon yang berfungsi sebagai tempat penimbunan atau pengendapan karbon. Tegakan vegetasi di Wana Wisata Tampora berperan dalam penyerapan CO_2 di udara. Hutan menjadi sumber karbon sehingga hilangnya hutan akan berpengaruh terhadap perubahan iklim karena berkurangnya hutan untuk menangkap CO_2 di udara (Mitchard, 2018). Hadirnya keanekaragaman jenis pohon juga dapat meningkatkan simpanan karbon dan memperbaiki unsur nutrisi dalam tanah (Dawud et al., 2016). Tercatat setidaknya 40 jenis tegakan tumbuhan yang terdiri dari 25 jenis strata pohon dan 32 jenis strata pancang yang terdata pada tahun 2019 berada di Wana Wisata Tampora. Hasil pengukuran simpanan karbon tegakan di Wana Wisata Tampora menunjukkan nilai rata-rata 145,94 ton/ha. Simpanan karbon terendah berkisar antara 38,71 ton/ha dan simpanan karbon tertinggi berkisar 332,17 ton/ha. Cadangan simpanan karbon pada hutan lahan kering sekunder pada hutan bioregion Jawa bernilai minimum 48,43 ton/ha dan nilai maksimum adalah 172,08 ton (Rochmayanto et al., 2014). Berdasarkan estimasi nilai simpanan karbon dan pengamatan langsung di lapangan maka Wana Wisata Tampora termasuk dalam hutan sekunder dataran rendah kering.

Pendekatan hutan dengan simpanan karbon tinggi dapat digunakan untuk membedakan hutan alami dengan lahan terdegradasi. Pada lahan terdegradasi di

Tabel 5. Jumlah jenis dan indeks keanekaragaman tumbuhan di Wana Wisata Tampora
Table 5. Number of species and diversity indices of flora in Wana Wisata Tampora

Strata (Level)	Jumlah jenis (Number of species)	Indeks keanekaragaman (H') (Diversity index)	Indeks kekayaan (R) (Richness index)	Indeks kemerataan (E) (Evenness index)
Tumbuhan bawah (Ground cover)	44	3,18 (tinggi)	6,32 (tinggi)	0,84 (tinggi)
Pancang (Sapling)	32	2,68 (sedang)	5,65 (tinggi)	0,77 (tinggi)
Pohon (Tree)	25	2,60 (sedang)	4,15 (sedang)	0,81 (tinggi)
Komunitas (Community)	67	3,43 (tinggi)	9,05 (tinggi)	0,82 (tinggi)

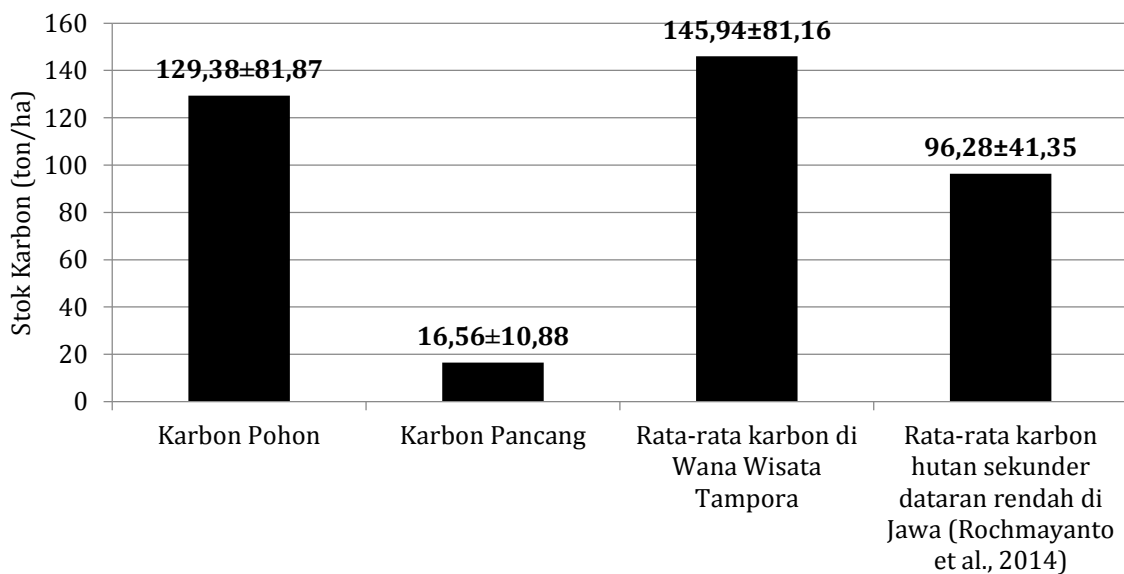
daerah tropis terdapat empat tipe hutan dengan simpanan karbon tinggi yaitu padang rumput (dengan simpanan karbon 15 ton/ha), semak belukar dengan pohon-pohon muda (25 ton/ha), hutan yang sedang beregenerasi (70 ton/ha), dan hutan primer (250 ton/ha) (Agri-Resources, 2012). Berdasarkan pendekatan tersebut maka simpanan karbon tegakan di Wana Wisata Tampora setara dengan pohon-pohon muda yang menuju ke hutan yang sedang beregenerasi (Gambar 4).

Terdapat 10 jenis tumbuhan yang menyumbang karbon tinggi di Wana Wisata Tampora yaitu *Schleichera oleosa*, *Lannea coromandelica*, *Tectona grandis*, *Acacia nilotica*, *Azadirachta indica*, *Morinda citrifolia*, *Schoutenia ovata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Olex scandens*, dan *Ficus sp.* Jenis tumbuhan *S. oleosa* merupakan pohon yang memberikan sumbangan tertinggi dalam simpanan karbon pohon yaitu 56,49 ton/ha (Gambar 5). Tingginya sumbangan karbon *S. oleosa* di Wana Wisata Tampora disebabkan karena jenis tersebut ditemukan secara melimpah. Selain itu, jenis tersebut juga memiliki nilai INP tertinggi dibandingkan jenis pohon yang lainnya.

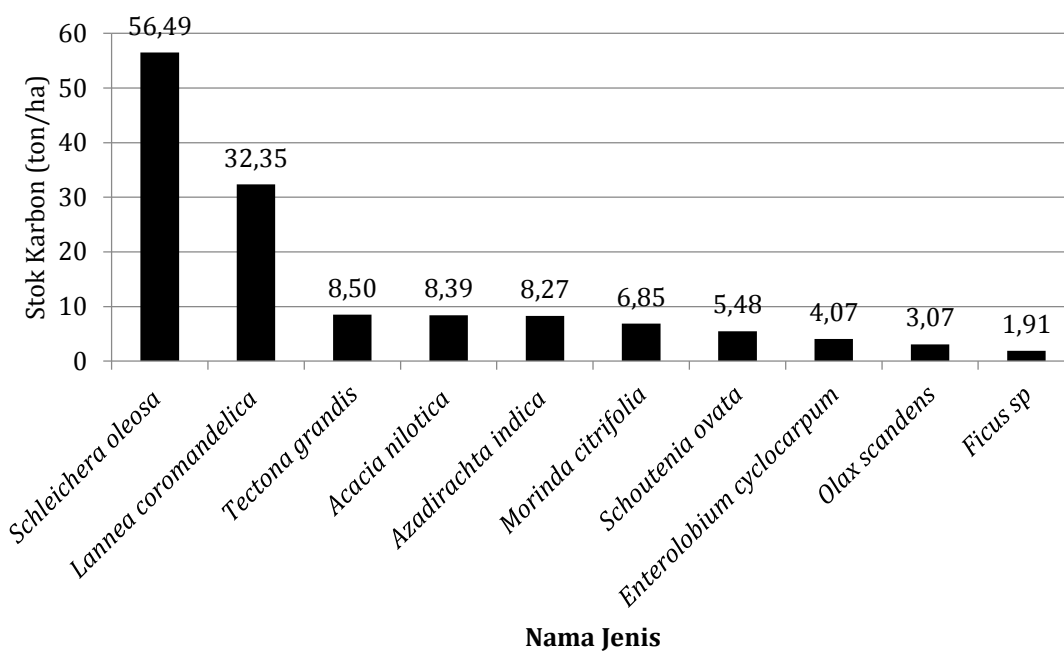
Selain pohon *Schleichera oleosa*, jenis *Lannea coromandelica* merupakan pohon yang memberikan sumbangan tinggi dalam simpanan karbon pohon yaitu 32,35 ton/ha. Pohon *L. coromandelica* juga ditemukan melimpah di Wana Wisata Tampora sehingga memberikan sumbangan simpanan karbon

pohon yang tinggi. Jenis tersebut juga memiliki nilai INP tertinggi kedua setelah pohon *S. oleosa*. Selain itu, jenis *Tectona grandis*, *Acacia nilotica*, dan *Azadirachta indica* juga memberikan sumbangan karbon yang cukup tinggi yaitu sekitar 8 ton/ha. Lebih lanjut, *A. nilotica* meskipun merupakan salah satu penyumbang karbon tinggi, namun keberadaannya perlu diwaspadai karena tergolong jenis tumbuhan asing invasif.

Tingginya simpanan karbon *Schleichera oleosa*, *Lannea coromandelica*, *Tectona grandis*, *Acacia nilotica*, dan *Azadirachta indica* disebabkan oleh melimpahnya jumlah spesies pohon tersebut. Kelimpahan tersebut ditunjukkan dengan nilai INP yang lebih tinggi dibandingkan spesies lainnya. *S. oleosa* memiliki simpanan karbon tertinggi karena secara kelimpahan juga paling besar yang ditunjukkan INP 83,97. Keanekaragaman pohon di Wana Wisata Tampora cenderung sedang yang ditunjukkan dengan nilai $H' = 2,60$ dengan nilai kekayaan jenis sedang (4,15). Dua spesies yang memiliki nilai INP terbesar yaitu *S. oleosa* dan *L. coromandelica* juga menyimpan karbon yang paling besar di Wana Wisata Tampora. Penelitian lain menunjukkan bahwa nilai biomassa di atas tanah memiliki korelasi yang kuat dengan INP (Mohanta et al., 2020). Indeks keanekaragaman pohon berada pada tingkat sedang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa indeks keanekaragaman berkorelasi rendah dengan simpanan karbon (Markum et al., 2013; Natalia et al., 2017).



Gambar 4. Nilai estimasi simpanan karbon tegakan di Wana Wisata Tampora
Figure 4. Estimation value of stands carbon stock in Wana Wisata Tampora



Gambar 5. Jenis pohon penyumbang simpanan karbon tinggi di Wana Wisata Tampora
Figure 5. Tree species which contribute high carbon stock in Wana Wisata Tampora

Sehingga area yang memiliki indeks keanekaragaman yang tinggi belum tentu menyimpan karbon yang tinggi.

Wana Wisata Tampora menyimpan karbon tegakan yang cukup tinggi sehingga diperlukan pengelolaan dan perlindungan kawasan. Penanaman pohon-pohon lokal Pulau Jawa dapat diaplikasikan untuk lebih meningkatkan cadangan karbon dan peran Wana Wisata Tampora bagi masyarakat sekitar. Diharapkan dengan adanya pengkayaan jenis tumbuhan tersebut maka Wana Wisata Tampora turut berperan dalam mengoptimalkan layanan ekosistem kawasan dan turut berperan dalam pengendalian pemanasan global. Cadangan karbon juga bernilai ekonomi dengan harga karbon diperkirakan pada tahun 2015 adalah USD 46/t CO₂ (Jerath *et al.*, 2016). Berdasarkan surat edaran terbaru dari Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia tahun 2021 tentang koalisi LEAF (*Lowering Emissions by Accelerating Forest Finance*) dari Amerika Serikat, Inggris dan Norwegia, harga karbon sangat fluktuatif dan tergantung skema perdagangannya. Harga karbon yang sudah terealisasi saat ini adalah USD 5/ton CO₂, harga tersebut merupakan harga dari perjanjian Result Based Payment Norway. Wana Wisata Tampora menambah informasi mengenai potensi cadangan karbon hutan

dataran rendah di Indonesia yang berpeluang dalam perdagangan karbon.

Upaya perlindungan kawasan Wana Wisata Tampora perlu dilakukan karena menyimpan karbon tegakan yang cukup tinggi. Lokasi Wana Wisata yang memiliki curah hujan tahunan yang rendah dengan iklim kering sehingga kemungkinan terjadinya kebakaran hutan sangat besar, membutuhkan tingkat kewaspadaan yang tinggi akan potensi bahaya kebakaran di dalam kawasan. Wana Wisata Tampora juga sering didatangi masyarakat untuk berwisata, oleh karena itu perlu adanya himbauan kepada pengunjung untuk tidak membuat api serta membuang puntung rokok sembarangan di sekitar Wana Wisata Tampora agar kebakaran hutan dapat diminimalisasi. Pohon-pohon penyumbang karbon tinggi seperti *Schleicheria oleosa*, *Tectona grandis*, *Lannea coromandelica*, dan jenis-jenis tumbuhan berkayu lainnya sudah selayaknya dilindungi karena menyimpan karbon tinggi. Tumbuhan berkayu lebih rentan terhadap pembalakan liar. Pencegahan pembalakan liar dan kebakaran hutan di Wana Wisata Tampora dapat dilakukan dengan pengawasan yang intensif dari petugas serta patroli rutin. Diperlukan juga upaya penegakan hukum dan peran serta masyarakat dalam pencegahan kebakaran dan pembalakan kayu di hutan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Nilai indeks keanekaragaman vegetasi (H') di Taman Wisata Tampora menunjukkan pada strata tumbuhan bawah tergolong tinggi dan indeks keanekaragaman pancang dan pohon tergolong sedang. Hasil pengukuran simpanan karbon tegakan di Wana Wisata Tampora menunjukkan nilai rata-rata 145,94 ton/ha, setara dengan pohon-pohon muda yang menuju ke hutan yang sedang beregenerasi. Jenis-jenis tumbuhan dengan INP dan simpanan karbon tinggi di Wana Wisata Tampora antara lain *Schleichera oleosa* (83,97 dan 56,49 ton/ha), *Lannea coromandelica* (58,88 dan 32,35 ton/ha), *Tectona grandis* (24,53 dan 8,50 ton/ha), *Acacia nilotica* (9,40 dan 8,39 ton/ha), dan *Azadirachta indica* (20,72 dan 8,27 ton/ha). Keberadaan jenis tumbuhan asing invasif *Acacia nilotica* dengan INP tinggi perlu menjadi perhatian agar tidak meluas dan mendominasi kawasan.

B. Saran

Kelestarian Wana Wisata Tampora harus dijaga dan ditingkatkan dengan baik karena memiliki keanekaragaman flora dan cadangan karbon yang cukup tinggi. Diperlukan pengkayaan jenis tumbuhan lokal dan perhatian terhadap invasi jenis asing *Acacia nilotica*. Upaya perlindungan kawasan Wana Wisata Tampora dapat dilakukan dengan himbauan kepada pengunjung untuk tidak membuat api serta membuang puntung rokok sembarangan untuk mencegah kebakaran hutan. Selain itu, patroli rutin oleh petugas sangat diperlukan untuk mencegah pembalakan liar dan kebakaran hutan.

Kegiatan penelitian berupa monitoring lanjutan perlu dilakukan pada musim penghujan sehingga akan terlihat perbandingan vegetasi tumbuhan dengan musim kemarau, khususnya pada strata tumbuhan bawah (*ground cover*). Selain itu, perlu dilakukan penelitian pendugaan simpanan karbon pada tumbuhan bawah, seresah dan dalam tanah sehingga diketahui simpanan karbon total kawasan Wana Wisata Tampora.

UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. POMI-Paiton Energy yang telah mendanai kegiatan penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

T dan LH merupakan kontributor utama, konseptualisasi penelitian dan penulisan, analisis hasil, interpretasi hasil, dan penulisan naskah; TY dan SB merupakan kontributor anggota, merancang konseptualisasi penelitian, pelaksana penelitian dan penelaah penulisan; SAD, SM, JD merupakan kontributor anggota dan pelaksana penelitian; RAL: pembuatan peta; NL dan BY pelaksana penelitian dan supervisor kegiatan penelitian.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis telah menyatakan tidak memiliki hubungan pribadi atau keuangan yang dimungkinkan secara tidak wajar dapat mempengaruhi dalam penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aba, S. C., Ndukwe, O., Amu, C. J., & Baiyeri, K. P. (2017). The role of trees and plantation agriculture in mitigating global climate change. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 17(4), 12691–12707.
- Agbelade, A. D., Onyekwelu, J. C., & Oyun, M. B. (2017). Tree species richness, diversity, and vegetation index for federal capital territory, Abuja, Nigeria. *International Journal of Forestry Research*, 2017.
- Agri-Resources, G. (2012). Laporan Penelitian Hutan Ber-stok Karbon Tinggi. Singapore: Golden Agri-Resources Ltd.
- Ali, A. K., Ahmad, M. I., & Yusup, Y. (2020). Issues, impacts, and mitigations of carbon dioxide emissions in the building sector. *Sustainability*, 12(18), 7427.
- Araz, O., Yilmazer Ucar, E., Aydın, Y., Meral, M., Bilen, Y., Alper, F., Gorguner, A. M., & Akgun, M. (2013). Effects of lymphadenopathy on pulmonary function tests in Sarcoidosis. *Turkish Thoracic Journal/Türk Toraks Dergisi*, 14(4), 152–157.
- Banerjee, S., Banerjee, A., Palit, D., & Roy, P. (2019). Assessment of vegetation under air pollution stress in urban industrial area for greenbelt development. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(10), 5857–5870.

- Basari, Z. (2012). Teknik pembongkaran tumbuhan invasif *Acacia nilotica* (L) Willd. Ex. Del dengan tirfor di Taman Nasional Baluran Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(4), 279–290.
- Danarto, S. A., & Yulistyarini, T. (2019). Seleksi tumbuhan dataran rendah kering yang berpotensi sekuestrasi karbon tinggi untuk rehabilitasi kawasan terdegradasi. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 5(1), 33–37.
- Dawud, S. M., Raulund-Rasmussen, K., Domisch, T., Finér, L., Jaroszewicz, B., & Vesterdal, L. (2016). Is tree species diversity or species identity the more important driver of soil carbon stocks, C/N Ratio, and pH? *Ecosystems*, 19(4), 645–660.
- Dinas Pekerjaan Umum Situbondo. (2019). *Profil Kabupaten Situbondo*. Situbondo: Cipta Karya.
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 2069–2094.
- Fiqa, A. P., Fauziah, Lestari, D. A., & Budiharta, S. (2019). The importance of in-situ conservation area in mining concession in preserving diversity, threatened, and potential floras in East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(1), 198–210.
- Fujii, H., & Managi, S. (2016). Economic development and multiple air pollutant emissions from the industrial sector. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(3), 2802–2812.
- Hairiah, K., Dewi, S., Agus, F., Velarde, S., Ekadinata, A., Rahayu, S., & Van Noordwijk, M. (2010). *Measuring Carbon Stocks Across Land Use Systems (A Manual)*. Bogor: World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Hossain, M. J., Biswas, S., Shahriar, M., Chowdhury, M. M., Islam, S., Ahsan, C. R., & Auther, C. (2018). Phytochemical screening, antimicrobial activity, antioxidant capacity and in vivo anticancer activity of *Lannea coromandelica* bark extracts. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences Ver. II*, 13(3, Ver II), 19–25.
- Indriyanto. (2006). *Ekologi Hutan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Jerath, M., Bhat, M., Rivera-Monroy, V. H., Castañeda-Moya, E., Simard, M., & Twilley, R. R. (2016). The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades Mangrove Forests, South Florida, USA. *Environmental Science and Policy*, 66, 160–169.
- Kent, M., & Coker, P. (1992). *Vegetation Description and Analysis: A Practical Approach*. New York: John Wiley and Sons.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., Van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C. A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146(1–3), 199–209.
- Kohl, M., Neupane, P. R., & Lotfiomran, N. (2017). The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. *PLoS ONE*, 12(8), 1–17.
- Koten, B. B., Lita, Y., Wea, R., & Dato, T. O. D. (2020). Respon tanaman pakan Arbila (*Phaseolus lunatus*. L) terhadap volume air yang berbeda di musim kemarau. *Pastura*, 10(1), 9–12.
- Ladiana, N. (2013). *Kolaborasi Pengembangan Destinasi Wisata Tampora Desa Kalianget Kecamatan Banyuglugur Kabupaten Situbondo*. Jember: Universitas Jember.
- Lawal, A., Ademujim, B. P., & Oladoyinbo, B. M. (2018). Eco-physiological variation and adaptation mechanism of *Azadirachta indica* A. JUSS in Nigeria. *Journal of Forestry Research and Management*, 15(1), 66–85.
- Magurran, A. E. (1983). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton: Princeton University Press.
- Mansur, M. (2020). Vegetasi pohon dan persebarannya di Taman Wisata Alam Gunung Tunak dan Hutan Karamat Mandalika, Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat. *Berita Biologi*, 19(2), 185–195.
- Markum, Arisoelaningsih, E., Suprayogo, D., & Hairiah, K. (2013). Plant species diversity in relation to carbon stocks at jangkok watershed, Lombok Island. *Agrivita*, 35(3), 207–218.
- Mitchard, E. T. A. (2018). The tropical forest carbon cycle and climate change. *Nature*, 559(7715), 527–534.
- Mohanta, M. R., Mohanta, A., Mohapatra, U., Mohanty, R. C., & Sahu, S. C. (2020). Carbon stock assessment and its relation with tree biodiversity in Tropical Moist Deciduous Forest of Similipal Biosphere Reserve, Odisha, India. *Tropical Ecology*, 61(4), 497–508.
- Natalia, D., Arisoelaningsih, E., & Hairiah, K. (2017). Are high carbon stocks in agroforests and forest associated with high plant species diversity? *Agrivita*, 39(1), 74–82.
- Rochmayanto, Y., Wibowo, A., Lugina, M., Butarbutar, T., Mulyadin, R., & Wicaksono, D.

- (2014). *Cadangan karbon pada berbagai tipe hutan dan jenis tanaman di Indonesia*. Yogyakarta: PT. Kanisius.
- Rohman, F., Novianti, V., Sumberartha, I. W., & Kiswojo. (2018). *Provide biodiversity monitoring for period 2018 consist of: Biodiversity index of flora and fauna, include micro climate condition, POH II (Permanent Operational Housing II), Selobanteng, Tampora, and Banyuglugur*. Universitas Negeri Malang and PT. POMI.
- Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T. A., Salas, W., Zutta, B. R., Buermann, W., Lewis, S. L., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M., & Morel, A. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(24), 9899–9904.
- Situmeang, B., Nuraeni, W., Ibrahim, A. M., & Silaban, S. (2016). Analysis of secondary metabolite compounds from leaves extract kesambi (*Schleichera oleosa*) and antioxidant activity test. *Pendidikan Kimia*, 8(3), 164–168.
- Sujarwo, W., & Keim, A. P. (2017). Ethnobotanical study of traditional building materials from the island of Bali, Indonesia. *Economic Botany*, 71(3), 224–240.
- Susila, I. W. W. (2020). Pendugaan volume, potensi dan dominasi jenis bidara laut (*Strychnos lingustrina* Blume) sebagai bahan baku obat Bali Barat. *Jurnal Penelitian Kehutanan FALOKA*, 4(1), 39–56.
- Talukdar, S. N., Rahman, M. B., & Paul, S. (2015). A review on *Barleria prionitis*: Its pharmacognosy, phytochemicals and traditional use. *Journal of Advances in Medical and Pharmaceutical Sciences*, 4(4), 1–13.
- Warren, M., Froking, S., Dai, Z., & Kurnianto, S. (2017). Impacts of land use, restoration, and climate change on tropical peat carbon stocks in the twenty-first century: implications for climate mitigation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(7), 1041–1061.
- Yadav, A. K., Khan, M. E., Pal, A., & Dubey, A. M. (2017). Experimental investigations of performance and emissions characteristics of Kusum (*Schleichera oleosa*) biodiesel in a multi-cylinder transportation diesel engine. *Waste and Biomass Valorization*, 8(4), 1331–1341.
- Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C., & Chave, J. (2009). *Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum, Dryad, Dataset*.
- Zhu, J. X., Hu, X. Y., Yao, H., Liu, G. H., Ji, C. J., & Fang, J. Y. (2015). A significant carbon sink in temperate forests in Beijing: based on 20-year field measurements in three stands. *Science China Life Sciences*, 58(11), 1135–1141.