



## Analisis Keanekaragaman Pohon di Kawasan Karst Gunung Sewu Studi Kasus: Gua Tembus dan Gua Potro-Bunder Pracimantoro, Wonogiri

Hasna Nadia Hikari, Lathifa Putri Wiedhya Syahrani\*, Luthfia, Sofiyana Khoirunnisa, Ahmad Dwi Setyawan

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret Surakarta

\*Corresponding Author: Lathifaputri87@student.uns.ac.id

### ABSTRACT

*This research examines the types of tree vegetation in the Sewu Mountain Karst area, especially in Wonogiri, Pacitan, and Gunung Kidul with the main focus on the Tembus cave and Potro-bunder cave. This study used primary data in the form of tree species inventory data and secondary data from literature studies, while the data analysis method was quantitative descriptive. The results showed that tree species that are commonly found and tend to dominate the Sewu mountain karst area are Tectona grandis and Acacia ratinodes with 144 and 116 individuals respectively in all caves. This is because both plant species have leaf structures and root systems that support their resistance and increase their adaptability to relatively dry karst areas. These results can be used as a basis for more effective conservation management in the karst area of Mount Sewu.*

**Keywords:** analysis, caves, karst, mount sewu, vegetation

### Abstrak

Penelitian ini mengkaji jenis vegetasi pohon di kawasan Karst gunung Sewu khususnya di Wonogiri, Pacitan, dan Gunung Kidul dengan fokus utama pada gua tembus dan gua Potro-bunder. Penelitian ini menggunakan data primer berupa data inventarisasi spesies pohon dan data sekunder dari studi literatur, sedangkan metode analisis data dilakukan dengan deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesies pohon yang banyak ditemui dan cenderung mendominasi kawasan karst gunung Sewu adalah *Tectona grandis* dan *Acacia ratinodes* dengan jumlah masing-masing 144 dan 116 individu pada keseluruhan gua. Hal ini dikarenakan kedua jenis tanaman tersebut memiliki struktur daun dan sistem perakaran yang mendukung resistensinya dan meningkatkan kemampuan adaptasinya pada kawasan karst yang relatif kering. Hasil ini dapat digunakan sebagai landasan untuk manajemen konservasi yang lebih efektif di kawasan karst gunung Sewu.

**Kata Kunci:** analisis, gunung sewu, gua, karst, vegetasi

### PENDAHULUAN

Indonesia terdiri atas 20 persen wilayahnya merupakan kawasan karst seluas 154.000 km<sup>2</sup> (1). Salah satu karst yang telah diakui secara global oleh (UNESCO) sebagai kekayaan geopark adalah kawasan Karst Gunung Sewu. Upaya pengelolaan kawasan ini dilakukan oleh tim geopark menggunakan sistem taman nasional dan taman bumi

yang tersusun atas perbukitan karst membentang antara wilayah administratif Kabupaten Gunungkidul, sebagian kecil wilayah Kabupaten Wonogiri, hingga Kabupaten Pacitan Jawa Timur sejauh 120 km (2). Wilayah ini kaya akan kandungan batu kapur yang membentuk goa-goa dan potensi sungai bawah tanah sebagai potensi pemasok dan penampung air serta pendukung berbagai sektor lain dengan potensi kekhasan sumber daya alam hayati

dan non hayati untuk pemenuhan kebutuhan masyarakat sekitar (3).

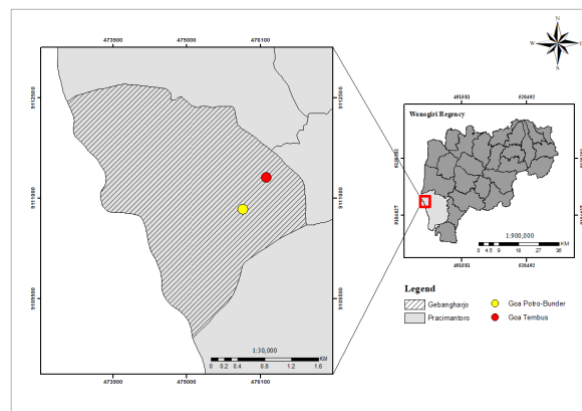
Kawasan Karst tersusun atas batuan karbonat yang mengalami proses pembentukan sangat lama sehingga terbentuk lanskap dengan tatanan hidrologi dan morfologi yang unik dan spesifik. Hal ini menyebabkan vegetasi pada suatu kawasan karst membentuk ciri khusus berupa bentuk dan komposisi yang khas pada setiap spesiesnya berupa tajuk yang jarang, berdaun kecil, serta memiliki kemampuan untuk tumbuh menempel di dinding tebing (4). Pada kondisi lingkungan tertentu, setiap jenis tumbuhan menyebar dengan tingkat adaptasi yang berbeda-beda yang mempengaruhi keberadaan suatu jenis tumbuhan di dalam lingkungan. Kelimpahan dan komposisi antarspesies berkaitan dengan pengaruh interaksi spesies, sinergi rantai makanan, dan adaptasi bertahan terhadap lingkungan sehingga mempengaruhi kestabilan komunitasnya (5). Karst berupa lanskap berbatu dengan sumber daya tanah dan air yang relatif langka, membentuk adaptasi daun tanaman yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air melalui pengurangan transpirasi (6). Dominasi tumbuhan yang sering dijumpai pada kawasan karst berupa tumbuhan pionir seperti semak, paku, lumut, dan rerumputan (7).

Penelitian ini bertujuan untuk menginventarisasi dan menganalisis karakteristik tumbuhan berdasarkan ciri morfologis serta kemampuan adaptasinya terutama pada jenis pohon di kawasan karst Gunung Sewu dengan fokus Gua Tembus dan Gua Potro-Bunder di Kecamatan Pracimantoro Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah. Hasil inventarisasi ini dapat digunakan sebagai data dominasi, keanekaragaman, dan keseragaman jenis tumbuhan tertentu pada kawasan karst, sehingga diharapkan dapat memudahkan upaya manajemen konservasi kawasan karst.

### METODE PENELITIAN

Lokasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kawasan Karst gunung Sewu yang ada di Desa Gebangharjo, Kecamatan Pracimantoro, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah yang dapat dilihat pada gambar 1. Lokasi pengambilan data dilakukan pada 2 titik yakni di kawasan gua tembus (8°2'23.076''LS, 110°47'3.593''BT) dan Gua potro-bunde (8°2'38.089''LS,

110°46'53.282''BT). Penelitian dilakukan pada bulan Agustus sampai bulan Oktober tahun 2023.



Gambar 1. Lokasi Gua Karst

Penelitian ini menggunakan data primer sebagai data utama yang diperoleh secara langsung di lapangan dan data sekunder sebagai data pendukung untuk melengkapi hasil penelitian. Analisis data digunakan untuk mendeskripsikan kondisi ekologis. Data inventarisasi jenis pohon diolah secara kuantitatif menggunakan tabulasi dan dianalisis secara deskriptif-kuantitatif (8).

#### 1. Indeks Nilai Penting (INP)

$$INP = KR + FR + DR$$

Keterangan:

KR = Kerapatan relatif

FR = Frekuensi relatif

DR = Dominasi relatif

#### 2. Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i)(\ln p_i)$$

Keterangan:

H' = Indeks keanekaragaman

Pi = ni/N

ni = Jumlah individu jenis ke-i

N = Jumlah individu semua jenis

klasifikasi indeks keanekaragaman menurut Shannon-wiener adalah sebagai berikut.

- $H' < 1$  = Keanekaragaman rendah  
 $1 < H' < 3$  = Keanekaragaman sedang  
 $H' > 3$  = Keanekaragaman tinggi

### 3. Indeks Kemerataan Jenis Evenness ( $E$ )

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

Keterangan:

$E$  = Indeks kemerataan

$H'$  = Indeks keanekaragaman

$S$  = Jumlah jenis

Klasifikasi Indeks Kemerataan adalah sebagai berikut.

$H' < 0,3$  = Kemerataan rendah

$0,3 < E < 0,6$  = Kemerataan Sedang

$H' > 0,6$  = Kemerataan Tinggi

## HASIL PENELITIAN

Berdasarkan hasil inventarisasi jenis pohon yang ada di kawasan karst Gunung Sewu dengan fokus Gua Tembus dan Gua Potro-Bunder di Kecamatan Pracimantoro Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah terkait jenis pohon yang ada di kawasan tersebut terbagi ke dalam 11 famili, 14 species, dan 319 individu. Individu ini terbagi dalam dua kawasan

di mana sebanyak 99 pohon ditemukan pada kawasan gua tembus dan 220 Pohon ditemukan pada kawasan gua Potro-bunder. Data hasil inventarisasi, nilai kerapatan relatif (KR), INP, indeks dan perbandingan antar kawasan disajikan dalam tabel 1.

Berdasarkan perhitungan pada nilai kerapatan relatif dan Nilai pentingnya didapatkan hasil bahwa 2 spesies dengan nilai tertinggi adalah *Tectona grandis* dan *Acacia rationodes* dimana hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2.

Hasil perhitungan indeks dapat dilihat pada tabel 3. Indeks Diversitas berdasarkan rata-rata lokasi dan kawasan indeks keanekaragaman pada lokasi penelitian ini tergolong rendah. Meskipun demikian, rata-rata keseluruhan Gua Potro-Bunder memiliki nilai diversitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan Gua Tembus. Terdapat selisih sebesar 0,069 antara nilai rata-rata diversitas Gua Tembus dan Gua Potro-Bunder. Sedangkan nilai kemerataan tergolong rendah.

Walaupun jumlah keanekaragaman vegetasi pohon di ketiga wilayah Karst Gunung Sewu berbeda-beda, tetapi dari peta yang tertera pada Gambar 2, terlihat bahwa vegetasi pohon dominan di daerah Wonogiri, Gunung Kidul, dan Pacitan memiliki kemiripan dalam hal kebutuhan dan habitat.

Tabel 1. Jenis dan jumlah pohon yang dijumpai di kawasan penelitian, Kab. Wonogiri

Family	Species	Local Name	Lokasi			
			Gua Tembus		Goa Potro-bunder	
			Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
<i>Annonaceae</i>	<i>Annona muricata</i>	Sirsak		1		
<i>Apocynaceae</i>	<i>Plumeria obtusa</i>	Kamboja		23		
<i>Araliaceae</i>	<i>Aralia spinosa</i>	Tongkat Setan			1	
<i>Arecaceae</i>	<i>Caryota mitis</i>	Sarai				17
<i>Combretaceae</i>	<i>Combretum collinum</i>	Sengon Laut	2			
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Jatropha curcas</i>	Jarak	2			
<i>Fabaceae</i>	<i>Acacia rationodes</i>	Akasia	2	36	26	52
	<i>Delonix regia</i>	Flamboyan		1		
<i>Gnetaceae</i>	<i>Gnetum gnemon</i>	Melinjo			5	
<i>Lamiaceae</i>	<i>Tectona grandis</i>	Jati	27	2	84	31
<i>Meliaceae</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	Mahoni		2		2
	<i>Artocarpus altilis</i>	Sukun				1
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus benjamina</i>	Beringin				1
	<i>Ficus tinctoria</i>	Ara Bereteh		1		
	Total		33	66	116	104

Sumber: Penelitian (2023)

Tabel 2. Nilai Kerapatan Relatif &amp; INP

Nama Latin	KR	FR	DR	INP
<i>Acacia rationodes</i>	0.364	0.190	0.071	62.55%
<i>Annona musicata</i>	0.003	0.048	0.071	12.22%
<i>Aralia spinosa</i>	0.003	0.048	0.071	12.22%
<i>Artocarpus altilis</i>	0.003	0.048	0.071	12.22%
<i>Comretum collinum</i>	0.006	0.048	0.071	12.53%
<i>Coryota mitis</i>	0.053	0.048	0.071	17.23%
<i>Delonix regia</i>	0.003	0.048	0.071	12.22%
<i>Ficus benjamina L</i>	0.003	0.048	0.071	12.22%
<i>Ficus tinctoria</i>	0.003	0.048	0.071	12.22%
<i>Genetum genemon</i>	0.016	0.048	0.071	13.47%
<i>Jatrophacuras</i>	0.006	0.048	0.071	12.53%
<i>Plimenra obetusa</i>	0.072	0.048	0.071	19.11%
<i>Swietenia macrophylla</i>	0.013	0.095	0.071	17.92%
<i>Tectona grandis</i>	0.451	0.190	0.071	71.33%
Total	100%	100%	100%	300%

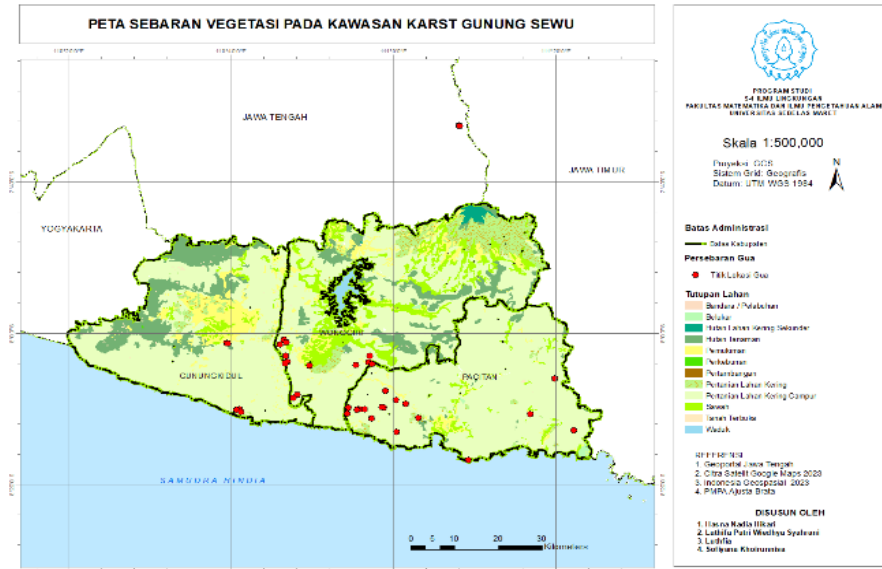
Tabel 3. Data Indeks

Lokasi	Posisi	Indeks	
		Diversitas (H')	Kemerataan (E)
Gua Tembus	Kanan	0.674	0.337
	Kiri	1.1	0.392
	Rata-Rata	0.887	0.364
Goa Potro-bunder	Kanan	0.745	0.373
	Kiri	1.169	0.452
	Rata-Rata	0.957	0.412
Rata-rata Kawasan		0.922	0.388

Tabel 4. Perbandingan Biodiversitas Vegetasi Pohon di Kawasan Karst Gunung Sewu

Lokasi	Nama Spesies (Jumlah)
Gunung Kidul	<i>Tectona grandis</i> (7), <i>Falcataria moluccana</i> (6), <i>Acacia rationodes</i> Wild (5), <i>Moringa oleifera</i> (1).
Pacitan	<i>Leucaena leucocephala</i> (17), <i>Swietenia mahagoni</i> (16), <i>Cerbera manghas</i> (11), <i>Artocarpus heterophyllus</i> (10), <i>Ficus septica</i> (10), <i>Ficus retusa</i> (10), <i>Cocos nucifera</i> (6), <i>Acacia sp.</i> (6), <i>Albizia chinensis</i> (6), <i>Tectona grandis</i> (6), <i>Hibiscus tiliaceus</i> (6), <i>Burretiokentia dumasii</i> (4), <i>Adonidia merrillii</i> (1), <i>Arenga pinnata</i> (1), <i>Dalbergia latifolia</i> (1), <i>Gnetum gnemon</i> (1), <i>Muntingia calabura</i> (1), <i>Psidium sp.</i> (1), <i>Bambusa sp.</i> (1).
Wonogiri	<i>Tectona grandis</i> (144), <i>Acacia rationodes</i> (116), <i>Plumeria obtusa</i> (23), <i>Caryota mitis</i> (17), <i>Viscum album</i> (8), <i>Gnetum gnemon</i> (5), <i>Swietenia macrophylla</i> (4), <i>Combretum collinum</i> (2), <i>Jatropha curcas</i> (2), <i>Annona muricata</i> (1), <i>Aralia spinosa</i> (1), <i>Artocarpus altilis</i> (1), <i>Delonix regia</i> (1), <i>Ficus benjamina</i> (1), <i>Ficus tinctoria</i> (1).

Sumber: Penelitian (2023); (9); (10).



Gambar 2. Peta Sebaran Vegetasi

## PEMBAHASAN

### Komposisi jenis pohon

Pohon adalah tegakan yang memiliki struktur kayu pada batang dan memiliki diameter lebih dari 10 cm yang diukur pada ketinggian setinggi dada sekitar 1,3m (11). Pohon merupakan fase tertinggi pada tingkatan vegetasi dengan diameter lebih dari 20 cm (10).

Berdasarkan tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa jumlah pohon yang ditemukan pada kawasan Goa Putra bunder lebih banyak daripada yang ada di kawasan Goa tembus. Hal ini disebabkan karena kawasan Goa tembus adalah kawasan penyangga (*buffer zone*). Kecenderungan rendahnya keanekaragaman hayati juga dikonfirmasi pada penelitian yang dilakukan di kawasan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS) dimana pada penelitian tersebut didapatkan nilai indeks keanekaragaman herpetofauna yang rendah pada beberapa resort yang sering terjadi interaksi dengan manusia seperti Ranu Regulo dan Ranu Pani (12). Kawasan penyangga ini didefinisikan sebagai kawasan yang menjadi pembatas antara dua kawasan atau lebih (13). *Buffer zone* memiliki risiko tinggi terhadap perubahan lingkungan yang terjadi karena tingginya interaksi kawasan dengan manusia (14).

Tingginya aktivitas manusia pada zona hijau juga menyebabkan gangguan yang dapat berpotensi mengubah struktur lanskap dan mengganggu habitat

sehingga berpengaruh terhadap kelimpahan vegetasi pada suatu kawasan (15). Aktivitas manusia juga berpengaruh terhadap keanekaragaman jenis tumbuhan yang ada pada suatu kawasan (16). Aktivitas manusia yang dimaksud dalam hal ini adalah segala bentuk kegiatan yang melibatkan interaksi alam dengan manusia seperti kegiatan pertanian, perkebunan, pertambangan, kegiatan domestik maupun pariwisata, yang dapat menjadi penyebab adanya konversi hutan, pembukaan lahan, dan perubahan habitat akibat pembangunan. Degradasi keanekaragaman hayati akibat aktivitas pariwisata disebabkan karena peningkatan jumlah pengunjung dan kegiatan wisata penyumbang polutan seperti sampah yang menyebabkan ekosistem alami menjadi terganggu dan berdampak pada kehidupan alami flora dan fauna yang ada di dalamnya (17). Selain itu, penelitian di Kawasan Hutan Lindung Bukit Batabuh Provinsi Riau juga membuktikan bahwa aktivitas manusia seperti perburuan liar, konversi hutan, dan perambahan memberikan tekanan tinggi pada kondisi ekosistem dan kekayaan hayati di dalamnya dengan indikasi degradasi kesesuaian habitat bagi harimau Sumatera akibat intervensi manusia (18).

### Tingkat keanekaragaman dan Kemerataan tingkatan pohon

Nilai keberagaman ( $H'$ ) yang masuk dalam kategori sedang dan tinggi dapat menjadi indikasi

bahwa kawasan tersebut memiliki produktivitas, keanekaragaman spesies, kestabilan, dan tekanan yang sedang hingga tinggi pada suatu ekosistem (19). Ekosistem memiliki kemampuan untuk menjalankan sistem secara harmoni sebagai perwujudan dalam pemeliharaan ekosistem itu sendiri (20). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rendahnya aktivitas manusia pada suatu kawasan dapat meringankan peran ekosistem dalam menjaga harmonis nya dimana hal ini dapat dilihat pada indeks keanekaragaman tinggi yang merupakan ciri-ciri dari ekosistem yang sehat dan stabil (21). Sedangkan indeks pemerataan (E) dapat menjadi indikasi dan memberikan gambaran terkait dengan persebaran individu suatu spesies pada sebuah komunitas. Berdasarkan Magurran (1988) apabila nilai pemerataan lebih dari 0,6 maka suatu jenis organisme menyebar secara merata hal ini berlaku kebalikannya (22). Pemerataan yang rendah dapat menjadi indikasi bahwa adanya dominasi spesies tertentu. Dominasi ini dipicu oleh karakteristik lingkungan yang hanya dapat ditumbuhi jenis tanaman tertentu yang dalam hal ini *Tectona grandis* dan *Acacia rationodes* merupakan dua jenis pohon yang toleran terhadap karakteristik lingkungan karst yang kering. Keduanya memang banyak ditemukan sebagai penyangga tanah dan pencegah erosi di kawasan karst, terutama di daerah Gunung Sewu Walaupun begitu, sebenarnya kedua jenis tanaman ini bukan tanaman native di Jawa. *Acacia rationodes* tercatat pada laman RBG Kew Science sebagai tanaman native di Maluku, New Guinea, dan Queensland. Sedangkan *Tectona grandis* tercatat sebagai tanaman non-Indonesia, tetapi sudah masuk ke berbagai daerah termasuk Jawa. Kemungkinan keduanya pernah dibawa oleh para pedagang pada masa lampau atau terbawa angin. Karena berdasarkan analisis polen sebagai dasar untuk identifikasi jenis flora asli di kawasan karst ditemukan polen *Acacia rationodes* dan *Tectona grandis* (23). Ketidakmerataan persebaran jenis pohon pada kawasan karst menjadikannya kawasan yang rentan terhadap gangguan perubahan iklim atau lingkungan (24). Ketidakmerataan persebaran jenis pohon ini juga dapat menjadi indikasi bahwa pada kawasan tersebut memiliki variasi jenis pohon yang rendah.

### **Kerapatan Relatif dan Nilai Penting**

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa spesies yang memiliki kerapatan relatif dan nilai INP paling

tinggi adalah *Tectona grandis*. Nilai kerapatan relatif menunjukkan bahwa spesies tersebut dalam satuan luas kawasan memiliki jumlah yang tinggi dibandingkan jumlah individu lainnya. Ketidakmerataan pola persebaran pohon ditandai dengan adanya didominasi oleh spesies *Tectona grandis* dan diikuti oleh dominasi *Acacia rationodes* dengan jumlah lebih dari 50 individu pada masing-masing lokasi penelitian. Indeks nilai penting atau INP pada suatu komunitas digunakan untuk mengetahui dominasi. Dalam hal ini diartikan sebagai tingkat penguasaan suatu spesies terhadap sebuah komunitas. Dengan nilai INP tertinggi pada sebuah komunitas maka dapat diartikan bahwa spesies tersebut merupakan spesies dominan atau yang menguasai komunitas tersebut (13). Dalam hal ini dua spesies dengan nilai kerapatan relatif dan inp tertinggi adalah *Tectona grandis* dan *Acacia rationodes*.

Adaptasi sebagai proses penyesuaian tumbuhan terhadap berbagai lingkungan tinggalnya merupakan bagian dari proses terbentuknya keanekaragaman hayati. Komunitas tanaman karst memerlukan berbagai adaptasi khusus untuk dapat tumbuh dan berkembang biak secara maksimal pada tingkat keasaman yang cenderung tinggi (25). Tingkat keasaman ini ditentukan oleh senyawa terlarut dan mineral yang ada di tanah tersebut sehingga tingkat keasaman tanah pada kawasan karst sangat relatif (26). Relativitas tersebutlah yang menyebabkan ketidakpastian eksternal pada kawasan tumbuh tanaman yang ada di kawasan karst. Tanaman jati ini digolongkan ke dalam tumbuhan yang tumbuh paling baik di tanah aluvial dalam dan memiliki drainase yang baik berasal dari batu kapur, sekis, maupun serpih. Sementara pada tanah berpasir kering, tumbuhan jenis ini cenderung buruk dalam hal pertumbuhan dan pembentukan batang. Kemampuan beradaptasi terhadap tanah berkapur dan lingkungan yang tidak pasti membuat *Tectona grandis* dan *Acacia rationodes* banyak ditemui di kawasan karst. Karst didominasi oleh tanaman tahunan seperti *Acacia*, *Paraserianthes falcataria*, dan *Tectona grandis* (27). Tanaman akasia termasuk dalam kelompok tangguh dan tahan lama serta mampu mentolerir berbagai kondisi kurang menguntungkan termasuk kekeringan, tanah berbatu, atau terlalu ekstrim. Akasia telah berasosiasi dengan berbagai tingkatan salinitas dan pH tanah yang tinggi sebagai respons adaptif terhadap suatu kondisi (28).

Pada lingkungan ekstrim, tumbuh-tumbuhan memerlukan serangkaian adaptasi untuk bertahan hidup dan tumbuh. Kemampuan ini didukung oleh morfologi dari tumbuhan tersebut dimana tanaman jati dan sengon sama-sama memiliki sistem perakaran yang kuat sehingga dapat menembus lapisan tanah yang lebih dalam untuk mencapai sumber air di bawah tanah dan bertahan hidup di daerah dengan curah hujan rendah (29). Tumbuhan akasia memiliki struktur daun *xeromorfik* untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi dan kemampuan untuk mengikat nitrogen dari udara. Serangkaian fiksasi nitrogen ini merupakan proses pembentukan klorofil tanaman sehingga sangat bergantung pada kondisi suatu ekosistem (30). Sementara itu, pohon jati memiliki kemampuan untuk meranggas atau menggugurkan daun (31). Kedua hal tersebut memiliki peran untuk mengurangi penguapan dan memastikan ketersediaan air tetap terjaga (32). Kemampuan adaptasi terutama dalam hal optimalisasi penggunaan air dan menjaga ketersediaannya tetap terjaga menjadikan jati dan sengon tumbuhan yang tahan terhadap lingkungan yang kering. Sehingga tanaman ini banyak ditemui di kawasan karst yang merupakan kawasan dengan keterbatasan pada aspek hidrologis (33).

Lingkungan ekstrem itu terjadi pada semua rangkaian Karst Gunung Sewu, yakni Gunung Kidul, Wonogiri, dan Pacitan. Hal ini karena Karst di Gunung Sewu memang tergolong jenis holokarst (34). Holokarst merupakan daerah karst yang ditandai dengan jumlah aliran sungai bawah tanah yang sangat sedikit bahkan hampir tidak ada (35,36). Maka relief goa karst jenis holokarst ini lebih dipenuhi bebatuan daripada jaringan perairan bawah tanah. Pada Gunung Sewu, jenis batumannya didominasi oleh *synoid karst*, *cone karst*, dan *karst a python*. Jenis-jenis batu ini terutama *cone karst* yang menjadi salah satu ciri khas kegelkarst yang mengacu pada pola topografi perbukitan yang dihasilkan oleh proses geologi berupa pelarutan batuan karst (37,38). Lingkungan ekstrem berbatu ini membuat keanekaragaman jenis vegetasi pohon di daerah Karst Gunung Sewu cenderung sedikit (tabel 4). Aspek ketidakberhasilan adaptasi tumbuhan inilah yang menjadikan kerapatan relatif dan nilai penting vegetasi di kawasan karst memiliki tantangannya sendiri terlebih dengan kondisi daya dukung minim dan cenderung sukar untuk proses perbaikan lingkungannya yang terlanjur rusak.

### Perbandingan Biodiversitas pada Karst Wonogiri, Gunung Kidul, dan Pacitan

Faktor kelembaban tanah dan udara sangat mempengaruhi pertumbuhan vegetasi di kawasan karst, baik di Karst Wonogiri, Gunung Kidul, maupun Pacitan. Terutama dengan kondisi keterbatasan air dan unsur hara di sana, sehingga kemampuan tanah dalam memelihara kelembabannya akan berdampak besar dalam memengaruhi perkembangan suatu tanaman (39). Selain itu, kelembaban udara juga mempengaruhi laju transpirasi tanaman. Kecepatan angin berperan dalam persebaran benih dan serbuk sari yang mempengaruhi komposisi komunitas tumbuhan di kawasan karst. Kecepatan angin yang terlalu tinggi dapat merusak jaringan tanaman dan menghambat pertumbuhan tanaman pada kawasan tanah dangkal dan batuan dasar terbuka sehingga akan berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan spesies-spesies di karst (40). Tumbuhan-tumbuhan dapat ditemukan di kawasan karst dengan berbagai tantangan dan medan sulit didasarkan pada kemampuan adaptasinya. Tumbuhan di kawasan ini mengembangkan kemampuan beradaptasi khusus untuk mengatasi kekeringan, suhu dan cahaya tinggi, respon stres kalsium tinggi, dan strategi pemanfaatan air bagi tanaman, dampak unsur hara tanah, campur tangan manusia, dan sifat geografis pada tumbuhan karst (41). Keberhasilan serangkaian proses adaptasi suatu tanaman menghasilkan keanekaragaman spesiesnya, dan ini berbeda-beda pada setiap wilayah Kawasan Karst Gunung Sewu.

Wonogiri, yang menjadi fokus penelitian ini, menjadi wilayah Kawasan Karst Gunung Sewu yang memiliki keanekaragaman jenis tertinggi, yakni mencakup 16 spesies vegetasi pohon, dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 3. Keanekaragaman spesies ini juga mencerminkan berbagai potensi penggunaan tanaman, termasuk kayu, makanan, obat-obatan, dan tanaman hias. Hasil penelitian ini tidak mengejutkan karena daerah Wonogiri merupakan pusat dari Global Geopark Network (GGN) Karst Gunung Sewu yang ditetapkan oleh UNESCO pada 2015. Kemudian Pacitan memiliki jumlah varietas vegetasi pohon yang lebih sedikit, yaitu 15 spesies (tabel 4). Sedangkan Gunung Kidul menunjukkan keanekaragaman yang sangat rendah dengan hanya 3 spesies vegetasi pohon yang tercatat (tabel 4). Meskipun begitu, akasia, sengon, dan jati yang tumbuh di sana merupakan jenis kayu yang sangat bagus untuk dijadikan sumber daya kayu.

Pohon jati merupakan spesies yang mendominasi hutan di sekitar Goa Karst di Wonogiri dan Gunung Kidul. Sementara itu pohon lamtoro yang mendominasi hutan di sekitar goa karst di Pacitan sama-sama membutuhkan iklim yang hangat dan cenderung panas. Keduanya mampu bertahan hidup melalui musim kering yang biasa terjadi pada pegunungan holokarst. Lamtoro sendiri biasanya ditanam secara tumpang sari oleh masyarakat sebagai tanaman sela, yakni tanaman pencegah erosi di lahan jati (42,43). Karena pohon lamtoro memiliki sistem perakaran yang dalam yang mampu mengikat tanah sekaligus menyuburkan tanah (44,45). Kearifan lokal berupa tumpang sari itulah yang membuat Pacitan bisa menjadi wilayah dengan keanekaragaman terbanyak kedua di antara ketiga kawasan karst Gunung Sewu (tabel 4).

Analisis kepadatan populasi menunjukkan bahwa di Pacitan, spesies *Leucaena leucocephala* dan *Swietenia mahagoni* adalah dua pohon terbanyak, masing-masing dengan jumlah 17 dan 16 individu. Di sisi lain, terdapat beberapa pohon dengan populasi yang sangat terbatas. Beberapa pohon tersebut yang tercatat di Pacitan meliputi *Adonia Merrillii* (Palem Natal), *Arenga pinnata* (Aren), *Dalbergia latifolia* (Sono), *Gnetum gnemon* (Melinjo), *Muntingia calabura* (Talok), *Psidium* (Jambu), dan *Bambusa* (Bambu), semuanya hanya terdiri dari satu individu masing-masing saja. Kehadiran individu tunggal ini menunjukkan bahwa spesies-spesies tersebut mungkin jarang ditemui atau mungkin tidak memiliki pengaruh signifikan dalam penggunaan manusia di daerah ini. Keberadaan biodiversitas vegetasi pohon ini walaupun tidak begitu banyak menjadi pertanda baik dan memberi harapan bahwa tanah di daerah karst Pacitan masih subur di tengah masalah kekeringan yang sering terjadi (46). Pacitan beberapa kali menghadapi krisis kekeringan yang serius akibat dari topografi lerengnya (47,48).

Pacitan, sebagai bagian dari Pegunungan Gunungsewu, didominasi oleh topografi berbukit dengan ketinggian berkisar antara 60-220 meter serta lereng curam berkisar antara 16 hingga 88%. Area dengan lereng yang landai hingga datar memiliki zona infiltrasi yang lebih besar dibandingkan dengan daerah berlereng curam, memfasilitasi pengisian kembali air tanah (49). Sebagian besar wilayah Pacitan, sekitar 85%, terdiri dari daerah berbukit dan pegunungan kecil dengan lereng yang bervariasi antara landai hingga lebih dari 40% kemiringan.

Sebagian besar wilayah tersebut ditetapkan sebagai zona buffer atau kawasan konservasi, terutama di bagian utara dan timur Pacitan, sementara 25% wilayah digunakan sebagai lahan pertanian yang seringkali menghadapi keterbatasan sumber daya air (50). Keterbatasan sumber daya air ini dikarenakan heterogenitas tingkat porositas pada akuifer karst yang tinggi, sehingga tidak semua wilayah bisa menyuplai air (51). Dibutuhkan penanganan khusus untuk bisa memaksimalkan potensi karst sebagai penyimpan air hujan terbaik di muka bumi (52).

Terakhir, kawasan karst Gunung Kidul pun sama seperti yang lainnya, yakni memiliki vegetasi khas dan beragam. Suku *malvaceae*, *annonaceae*, *leguminosae*, dan *moraceae* merupakan jenis vegetasi yang sering ditemui pada kawasan karst Gunung Sewu (10). Famili tumbuhan *malvaceae* termasuk dalam spesies dengan karakteristik bunga berwarna cerah dan menyerupai corong. Beberapa spesies yang sering dijumpai adalah *Hibiscus tiliaceus*, *Hibiscus rosa-sinensis*, dan *Urena lobata*, yang berpotensi dimanfaatkan sebagai obat dan tumbuhan hias (9). Tanaman waru digolongkan sebagai semak hias atau pohon kecil dengan tunas bunga bersifat astringen. Famili *annonaceae* memiliki beragam spesies dengan bentuk dan morfologi berbeda-beda meliputi tumbuhan *Durio* (durian), *Annona squamosa* (srikaya), *Artocarpus heterophyllus* (nangka), *Annona reticulata* (ketapang), dan *Asimina triloba* (pawpaw) (53). Pada karst kawasan Gunungkidul, ketapang merupakan jenis tanaman yang adaptif karena dapat tumbuh dengan baik dalam berbagai jenis habitat dan suhu ekstrim serta memiliki kemampuan bertahan dalam kekeringan panjang dan area batuan berkalsium tinggi. Jenis tanaman pelopor pada kawasan karst di antaranya adalah famili *moraceae* dengan genus *Ficus*, *Artocarpus sp.*, dan *Streblus sp.* sebagai keanekaragaman pendukung utama di Kawasan Karst Gunungkidul (54). *Ficus* berperan besar sebagai habitat satwa dan sumber makanan berasal dari buah uniknya yaitu *syconium*.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kawasan karst Gunung Sewu, khususnya di Wonogiri, Pacitan, dan Gunung Kidul memiliki perbedaan signifikan dalam keanekaragaman jenis vegetasi pohon. Akan tetapi terdapat spesies yang mendominasi kawasan tersebut



yakni spesies *Tectona grandis* dan *Acacia rationodes* dengan jumlah masing-masing 144 dan 116 individu pada keseluruhan gua. Hal ini menunjukkan kedua spesies tersebut memiliki resistensi yang tinggi terhadap tantangan lingkungan yang dihadapi dalam kawasan karst karena memiliki karakteristik sistem perakaran, struktur daun, dan pola adaptasi yang mendukung keberlangsungan hidupnya di lingkungan yang cenderung kering. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai dasar untuk upaya manajemen konservasi kawasan karst dan sistem hidrologinya serta memberikan pemahaman terkait adaptasi tanaman dan tantangan lingkungan yang ada di kawasan tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mandong Ia, Budiarti T, Munandar A. Kajian Potensi Objek Daya Tarik Wisata Alam Karst Rammang-Rammang Di Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Lanskap Indonesia*. 2023 Apr 1;15(1):36–41.
- [2] Reforma Ad, Purwani O, Iswati Ty. Pengembangan Museum Karst Sebagai Sentra Pariwisata Di Kecamatan Pracimantoro, Wonogiri. Deepublish; 2022.
- [3] Priyono P, Jauhari A. Kearifan Lokal Dalam Pengelolaan Sumberdaya Air Sungai Bawah Tanah Kawasan Gamping Di Pegunungan Sewu Kabupaten Wonogiri. In: *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*. Pro Sejahtera; 2019.
- [4] Puspita D, Notoedarmo S, Fauzi Mr. Studi Etnobotani Di Kawasan Karst Bukit Bulan Untuk Mendukung Studi Arkeologi. *Jpsl*. 2020 Jul 3;10(2):270–83.
- [5] Chen M, Mo F, Zheng L, Bin G, Zou Z, Chen P, Et Al. Correlation And Community Stability Analysis Of Herbaceous Plants In Dashiwei Tiankeng Group, China. *Forests*. 2023 Jun 15;14(6):1244.
- [6] Wang Y, Zhang L, Chen J, Feng L, Li F, Yu L. Study On The Relationship Between Functional Characteristics And Environmental Factors In Karst Plant Communities. *Ecology And Evolution*. 2022 Sep;12(9):E9335.
- [7] Shen Jc, Zhang Zh, Liu R, Wang Zh. Ecological Restoration Of Eroded Karst Utilizing Pioneer Moss And Vascular Plant Species With Selection Based On Vegetation Diversity And Underlying Soil Chemistry. *International Journal Of Phytoremediation*. 2018 Dec 6;20(14):1369–79.
- [8] Sihotang Es, Waluyo B. Keanekaragaman Tanaman Pisang (*Musa Spp*) Di Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara. *Agrowiralodra*. 2021 Jul 29;4(2):36–41.
- [9] Septiasari A, Balgis M, Lathifah Mn, Hanugroho Pd, Setyawan Ad. Identification And Potential Of Vascular Plants In The Karst Ecosystem Of Somopuro Cave, Pacitan, East Java, Indonesia. *Intl J Trop Drylands [Internet]*. 2021 Dec 28 [Cited 2023 Nov 11];5(2). Available From: <https://Smujo.Id/Td/Article/View/10212>
- [10] Yuslinawari Y, Doris D, Wahyudiono S. Kajian Identifikasi Jenis Flora Dan Kelimpahannya Di Lahan Penetapan Taman Keanekaragaman Hayati Kelurahan Karangasem, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunung Kidul. *Journal Of People, Forest And Environment*. 2021;1(1):34–42.
- [11] Heriyanto Nm, Samsedin I, Bismark M. Biodiversity Flora And Fauna In The Region Forest Bukit Datuk Dumai Riau Province. *Jsl*. 2019 Feb 8;7(1):82.
- [12] Arroyan An, Idrus Mr, Aliffudin Mf. Keanekaragaman Herpetofauna Di Kawasan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (Tnbs) Kabupaten Lumajang Jawa Timur. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi*. 2020;6(1):263–9.
- [13] Azvi Ts, Sembiring J. Tree Diversity In Bufferzone Area At Sikulaping Protected Forest, Pakpak Bharat District, Indonesia. *Jurnal Pembelajaran Dan Biologi Nukleus*. 2021;7(1):235–47.
- [14] Jalaludin J, Irwan Suriadi. Dinamika Kependudukan Dan Dampaknya Terhadap Perubahan Lingkungan (Kasus Penambangan Batu Apung Ijobalit Kec. Labuan Haji Lombok Timur). *Ekonobis*. 2019 Sep 14;5(2):64–96.
- [15] Thamrin H, Bulkis S, Malaysia E, Aquastini D, Fadjeri M. Analisis Vegetasi Di Hutan Pulau Nunukan Dan Pulau Sebatik Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara. *Poltanesa*. 2022 Jun 20;23(1):157–67.
- [16] Nurkhotimah N, Hikmat A, Setyowati T. Composition, Structure And Diversity Of Species Plant In Dungus Iwul Nature Reserve, Bogor District. *Media Konservasi*. 2017;22(2):138–45.

- [17] Pratiwi Le, Suprpto D, Taufani Wt. Evaluasi Konservasi Mangrove Berdasarkan Tingkat Partisipasi Masyarakat Di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Jakarta. *J Penyul Perikan Dan Kelaut*. 2020 Apr 27;14(1):27–44.
- [18] Hadadi Oh, Hartono H, Haryono E. Analisis Potensi Habitat Dan Koridor Harimau Sumatera Di Kawasan Hutan Lindung Bukit Batabuh, Kabupaten Kuantan Singingi, Provinsi Riau. *Mgi*. 2016 Sep 26;29(1):40.
- [19] Zhang L, Du H, Yang Z, Song T, Zeng F, Peng W, Et Al. Topography And Soil Properties Determine Biomass And Productivity Indirectly Via Community Structural And Species Diversity In Karst Forest, Southwest China. *Sustainability*. 2022 Jun 23;14(13):7644.
- [20] Yazevich M, Kalinina O, Zhironkina O. Ecological Consciousness In A Shift Of Scientific Paradigms. Khoreshok A, Atrushkevich V, Vöth S, Nuray D, Janocko J, Tan Y, Et Al., Editors. *E3s Web Conf*. 2019;134:03004.
- [21] Tang D, Liu X, Zou X. An Improved Method For Integrated Ecosystem Health Assessments Based On The Structure And Function Of Coastal Ecosystems: A Case Study Of The Jiangsu Coastal Area, China. *Ecological Indicators*. 2018 Jan;84:82–95.
- [22] Komul Yd, Hitipeuw Jchristian. Keragaman Jenis Vegetasi Pada Hutan Dataran Rendah Wilayah Adat Air Buaya Pulau Buano Kabupaten Seram Bagian Barat. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*. 2021;5(2):163–74.
- [23] Faida Lrw, Sunarto S, Sutikno S, Fandeli C. Gunungsewu: Menguak Jejak Sejarah Flora Merekonstruksi Kawasan Karst.
- [24] Qian C, Qiang H, Zhang G, Li M. Long-Term Changes Of Forest Biomass And Its Driving Factors In Karst Area, Guizhou, China. *International Journal Of Distributed Sensor Networks*. 2021 Aug;17(8):155014772110391.
- [25] Nasrudin A. Vegetation Analysis Of Karst In Padjadjaran University Campus Area Cintaratu, Pangandaran, West Java. In *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 2020;6(1):493–500.
- [26] Xiao P, Xiao B, Adnan M. Effects Of Ca<sup>2+</sup> On Migration Of Dissolved Organic Matter In Limestone Soils Of The Southwest China Karst Area. *Land Degrad Dev*. 2021 Nov;32(17):5069–82.
- [27] Savitri Nd, Wicaksono Ap, Santoso Dh. Transport Sedimen Melayang Di Telaga Jambanom, Banjarnegara, Karangasem, Paliyan, Gunungkidul. In: *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan Satu Bumi*. 2021. (November; Vol. 3).
- [28] Bui En. Evidence For The Role Of Salinity And Alkalinity In Plant Diversification In Australia. In: Gul B, Böer B, Khan Ma, Clüsener-Godt M, Hameed A, Editors. *Sabkha Ecosystems* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2019 [Cited 2023 Nov 11]. P. 7–14. (Tasks For Vegetation Science; Vol. 49). Available From: [Http://Link.Springer.Com/10.1007/978-3-030-04417-6\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-04417-6_2)
- [29] Mujiyo M, Nugroho D, Sutarno S, Herawati A, Herdiansyah G, Rahayu R. Evaluasi Kemampuan Lahan Sebagai Dasar Rekomendasi Penggunaan Lahan Di Kecamatan Ngadirojo Kabupaten Wonogiri. *Agrikultura*. 2022 Apr 29;33(1):56.
- [30] Taresh S, Bai Sh, Abdullah Km, Zalucki J, Nessa A, Omidvar N, Et Al. Long-Term Impact Of Prescribed Burning On Water Use Efficiency, Biological Nitrogen Fixation, And Tree Growth Of Understory Acacia Species In A Suburban Forest Ecosystem Of Subtropical Australia. *J Soils Sediments*. 2021 Nov;21(11):3620–31.
- [31] Blegur Wa. Profil Vegetasi Habitat Komodo Di Riung Dan Pulau Ontoloe, Nusa Tenggara Timur. *Indigenous Biologi: Jurnal Pendidikan Dan Sains Biologi*. 2022;5(2):49–62.
- [32] Fauzi Ma, Hasna Tm, Setiadi D, Adinugraha Ha. Variasi Morfologi Empat Spesies Jati ( *Tectona Sp*) Di Asia Tenggara: Potensi Pemuliaan Pohon Dan Bioteknologinya. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*. 2021 Jan 20;115–23.
- [33] Wicaksono Ap, Febriarta E, Nurani Dtt, Larasati A. Evaluasi Kebutuhan Air Persemaian Di Kawasan Karst Nggorang Manggarai Barat, Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur. *J Ilmu Lingk*. 2020 Dec 1;18(3):572–81.
- [34] Aprilia D, Arifiani Kn, Sani Mf, Jumari J, Wijayanti F, Setyawan Ad. Review: A Descriptive Study Of Karst Conditions And Problems In Indonesia And The Role Of Karst For Flora, Fauna, And Humans. *Intl J Trop Drylands* [Internet]. 2021 Nov 29 [Cited 2023

- Nov 11];5(2). Available From: <https://Smujo.Id/Td/Article/View/10385>
- [35] Beaupré M. Anticosti Island: Geomorphological Context Of A Unique Karst Area. In: Slaymaker O, Catto N, Editors. *Landscapes And Landforms Of Eastern Canada* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2020 [Cited 2023 Nov 11]. P. 229–44. (World Geomorphological Landscapes). Available From: [http://Link.Springer.Com/10.1007/978-3-030-35137-3\\_9](http://Link.Springer.Com/10.1007/978-3-030-35137-3_9)
- [36] Soedwiwahjono, Pamardhi-Utomo R. A Strategy For The Sustainable Development Of The Karst Area In Wonogiri. *Iop Conf Ser: Earth Environ Sci.* 2020 Feb 1;447(1):012057.
- [37] Haryono E, Adji Tn, Cahyadi A, Widyastuti M, Listyaningsih U, Sulistyowati E. Groundwater And Livelihood In Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *Groundwater For Sustainable Livelihoods And Equitable Growth*; 2022.
- [38] Ringle Wm, Gallareta Negrón T, May Ciau R, Seligson Ke, Fernandez-Diaz Jc, Ortegón Zapata D. Lidar Survey Of Ancient Maya Settlement In The Puuc Region Of Yucatan, Mexico. Zerboni A, Editor. *Plos One.* 2021 Apr 28;16(4):E0249314.
- [39] Yu M, Song S, He G, Shi Y. Vegetation Landscape Changes And Driving Factors Of Typical Karst Region In The Anthropocene. *Remote Sensing.* 2022 Oct 27;14(21):5391.
- [40] Guo B, Zang W, Luo W. Spatial-Temporal Shifts Of Ecological Vulnerability Of Karst Mountain Ecosystem-Impacts Of Global Change And Anthropogenic Interference. *Science Of The Total Environment.* 2020 Nov;741:140256.
- [41] Liu C, Huang Y, Wu F, Liu W, Ning Y, Huang Z, Et Al. Plant Adaptability In Karst Regions. *J Plant Res.* 2021 Sep;134(5):889–906.
- [42] Irsyad Mn, Jumari J, Murningsih M. Studi Etnobotani Masyarakat Desa Sukolilo Kawasan Pegunungan Kendeng Pati Jawa Tengah. *Biom.* 2013 Jun 10;15(1):27.
- [43] Zuhria Sa, Nasrulloh Ms, Ghozali A, Susanti A. Revitalisasi Lahan Melalui Gerakan Penanaman Seribu Pohon Sebagai Upaya Pencegahan Erosi Di Desa Banjarsari Kecamatan Bandarkedungmulyo Jombang. *Jumat Pertanian: Jurnal Pengabdian Masyarakat.* 2021;2(1):27–32.
- [44] Nurhayati N, Nufus H, Holifa An, Pradana Es, Trisani B, Windari Ra, Et Al. Pemanfaatan Daun Lamtoro Sebagai Pakan Ternak Sapi Pada Kelompok Tani Tunas Karya Ii Di Desa Teruwai Kecamatan Pujut Kabupaten Lombok Tengah. In: *Prosiding Seminar Nasional Gelar Wicara.* 2023. P. 64–9. (1; Vol. 1).
- [45] Suryanto H, Prasetyawati Ca. Model Agroforestri Untuk Rehabilitasi Lahan Di Spoilbank Dam Bili-Bili Kabupaten Gowa. *Buletin Eboni.* 2014;11(1):15–26.
- [46] Negeros-Castillo P, Mize Cw. Soil-Site Preferences For Mahogany (*Swietenia Macrophylla* King) In The Yucatan Peninsula. *New Forests.* 2013 Jan;44(1):85–99.
- [47] Hardyani Pv, Bahri As, Hariyanto T, Parnadi Ww, Rosandi Y, Sunardi, Et Al. Groundwater Recharge Assessment Using Geographic Information System Aplis Method In Donorojo Karst Area, Pacitan. *Iop Conf Ser: Earth Environ Sci.* 2021 Dec 1;936(1):012027.
- [48] Wardani Iak, Nafiah Su. Analisis Spasial Potensi Tingkat Kekeringan Di Kabupaten Pacitan. *Jggp.* 2022 Aug 3;20(1):1–8.
- [49] Susanti Aa, Antika Aa, Pratama R, Pradana Fg, Handayani S, Sutaryono S. Implementasi Dan Pengembangan Program Unggulan Kampung Iklim (Proklm) Di Desa Kertonatan. *Bkkndik.* 2022 Sep 30;4(1):58–68.
- [50] Widiyanti W, Dittmann A. Climate Change And Water Scarcity Adaptation Strategies In The Area Of Pacitan, Java Indonesia. *Procedia Environmental Sciences.* 2014;20:693–702.
- [51] Ashari A. Kajian Geomorfologi Kompleks Gua Seplawan Kawasan Karst Jonggrangan. Gm [Internet]. 2015 Mar 4 [Cited 2023 Nov 11];11(1). Available From: <https://Journal.Uny.Ac.Id/Index.Php/Geomedia/Article/View/3568>
- [52] Hartmann A, Goldscheider N, Wagener T, Lange J, Weiler M. Karst Water Resources In A Changing World: Review Of Hydrological Modeling Approaches: Karst Water Resources Prediction. *Rev Geophys.* 2014 Sep;52(3):218–42.
- [53] Harahap D, Niaci S, Mardina V, Zaura B, Qanita I, Purnama A, Et Al. Antibacterial Activities Of Seven Ethnomedicinal Plants From Family Annonaceae. *Journal Of Advanced Pharmaceutical Technology & Research.* 2022;13(3):148–53.

- [54] Sutomo S, Suyadi S. Keanekaragaman Jenis dan Peran Tanaman Pelopor pada Kawasan Karst di Desa Gombang, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Biologi Tropis*. 2017;17(2):87–94.