

ADAPTASI, KESAMAAN SPESIES, DAN TANTANGAN KONSERVASI ANGGREK (ORCHIDACEAE) PADA EKOSISTEM PEGUNUNGAN TINGGI JAWA TENGAH (GUNUNG SINDORO, SUMBING, DAN SLAMET)

Salma Nurhaliza¹, Analekta Tiara Perdana²

^{1,2}Program Studi Biologi, Fakultas Sains, Universitas Islam Negeri Sultan Maulana
Hasan Banten

ABSTRAK

Ekosistem pegunungan tinggi pada ketinggian 2100–3000 mdpl di Jawa Tengah merupakan lingkungan dengan tekanan ekologis yang tinggi, ditandai oleh suhu rendah dengan fluktuasi harian ekstrem, intensitas radiasi ultraviolet yang tinggi, tekanan atmosfer rendah, serta kondisi tanah yang tipis dan miskin unsur hara. Kondisi tersebut membatasi keberadaan vegetasi sehingga hanya tumbuhan dengan kemampuan adaptasi khusus yang mampu bertahan, termasuk anggrek (Orchidaceae). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji adaptasi, kesamaan spesies, serta tantangan konservasi anggrek yang hidup pada ekosistem pegunungan tinggi di Gunung Sindoro, Gunung Sumbing, dan Gunung Slamet. Kajian dilakukan melalui telaah pustaka terhadap hasil penelitian terkait kondisi abiotik, vegetasi inang, inventaris anggrek, serta aspek ekologi dan biogeografi kawasan pegunungan Jawa Tengah. Hasil kajian menunjukkan bahwa kesamaan komposisi genus anggrek di ketiga gunung tersebut dipengaruhi oleh kemiripan iklim pegunungan tropis, kemampuan biji anggrek untuk tersebar luas melalui angin, serta keberadaan jamur mikoriza yang relatif merata pada habitat hutan pegunungan lembap. Meskipun memiliki ketinggian yang relatif sama, ketiga gunung memperlihatkan perbedaan karakter lingkungan yang nyata, terutama pada struktur geologi vulkanik, perkembangan tanah, curah hujan, dan iklim mikro, yang turut memengaruhi distribusi dan kelimpahan anggrek. Ancaman utama terhadap keberlanjutan anggrek meliputi perubahan iklim, kebakaran hutan, serta tekanan aktivitas pendakian dan pariwisata. Oleh karena itu, upaya konservasi berbasis ekosistem dan penelitian lanjutan yang terintegrasi sangat diperlukan untuk menjaga kelestarian anggrek pegunungan tinggi di Jawa Tengah.

Kata kunci: adaptasi, anggrek, distribusi spesies, Jawa Tengah, konservasi, pegunungan tinggi

ABSTRACT

High mountain ecosystems at elevations of 2100–3000 m above sea level in Central Java represent environments with intense ecological stress, characterized by low temperatures with extreme daily fluctuations, high ultraviolet radiation, reduced atmospheric pressure, and shallow, nutrient-poor soils. These conditions severely limit vegetation growth, allowing only highly adapted plant groups, including orchids (Orchidaceae), to persist. This study aims to examine the adaptations, species similarity, and conservation challenges of orchids inhabiting high-elevation ecosystems on Mount Sindoro, Mount Sumbing, and Mount Slamet. The study is based on a literature review of previous research addressing abiotic conditions, host vegetation, orchid inventories, and ecological and biogeographical aspects of Central Java's mountainous regions. The results indicate that similarities in orchid assemblages among the three mountains are primarily driven by comparable tropical montane climates, the efficient wind-mediated dispersal of orchid seeds, and the relatively widespread occurrence of orchid mycorrhizal fungi in moist montane forest habitats. Despite having similar elevations, the three mountains exhibit distinct environmental

characteristics, particularly in volcanic geological structure, soil development, rainfall patterns, and microclimatic conditions, which influence orchid distribution and diversity. Major threats to orchid persistence include climate change, forest fires, and increasing pressure from hiking and nature-based tourism. Therefore, ecosystem-based conservation strategies and integrated future research are essential to ensure the long-term conservation of high-mountain orchid diversity in Central Java.

Keywords: *adaptation, Central Java, conservation, high mountain ecosystems, orchids, species distribution*

1. PENDAHULUAN

Pada kawasan pegunungan terdapat beberapa tipe ekosistem yang berkembang pada ketinggian 2100–3000 mdpl, namun keberadaannya relatif terbatas akibat suhu yang sangat rendah dan kondisi lingkungan yang ekstrem. Suhu udara di wilayah ini dapat mencapai sekitar -10°C , sementara suhu maksimum pada permukaan tanah dapat melebihi 20°C . Kondisi suhu ekstrem tersebut disebabkan oleh fluktuasi suhu harian yang besar, termasuk penurunan suhu hingga di bawah 0°C , yang berdampak pada pertumbuhan vegetasi alpine yang cenderung pendek serta menyebabkan suhu tanah tetap dingin. Selain faktor suhu, intensitas radiasi ultraviolet yang tinggi di ketinggian juga berpotensi menimbulkan stres UV pada tumbuhan maupun organisme lainnya. Faktor musiman jangka pendek turut berperan dalam membatasi keberlangsungan hidup organisme, karena dapat mempersingkat periode pertumbuhan dan siklus hidupnya. (1)

Walaupun dalam kondisi keadaan lingkungan yang begitu ekstrim masih terdapat penyintas ekosistem botani yang bertahan.

Dari berbagai pegunungan di Indonesia yang memiliki ketinggian hingga mencapai 3000 mdpl, kawasan pegunungan di Jawa Tengah dikenal sebagai “atap Jawa Tengah” yang terdiri atas Gunung Sumbing, Gunung Sindoro, dan Gunung Slamet, yang secara kolektif disebut sebagai “Triple S”. Ketiga gunung tersebut menunjukkan perbedaan kondisi lingkungan, terutama pada karakteristik tanah, suhu, kelembapan, dan ketinggian. Kondisi Gunung Sumbing dan Gunung Sindoro relatif serupa, khususnya pada zona

puncaknya, di mana tanah berkembang dari material vulkanik muda dan umumnya tergolong andosol. Namun, tanah di kedua gunung tersebut masih tergolong kurang berkembang akibat suhu yang rendah pada ketinggian 3.158 mdpl di Gunung Sindoro dan 3.371 mdpl di Gunung Sumbing, dengan suhu udara yang dapat turun hingga sekitar $5\text{--}10^{\circ}\text{C}$, sehingga secara tidak langsung memperlambat proses pelapukan dan pembentukan tanah. (2)

Sebaliknya, pada Gunung Slamet, khususnya pada ketinggian sekitar 1.600–2.200 mdpl, kondisi lingkungan relatif lebih mendukung, dengan suhu berkisar antara $16\text{--}26^{\circ}\text{C}$ pada zona ketinggian menengah. Zona ini juga memiliki variasi kelembapan tanah yang cukup luas, sehingga mampu mendukung perkembangan vegetasi yang lebih kompleks dan beragam (3).

Dari perbedaan ini Gunung Slamet memiliki kondisi tanah yang lebih mendukung pertumbuhan tumbuhan di bandingkan puncak Gunung Sindoro Sumbing yang lebih ekstrim.

Terdapat beberapa jenis tumbuhan yang mampu bertahan pada kondisi lingkungan ekstrem di pegunungan dengan ketinggian sekitar 3000 mdpl, salah satunya adalah anggrek (Orchidaceae). Anggrek merupakan kelompok tumbuhan yang banyak memiliki sebaran endemik, sehingga menunjukkan kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. Keanekaragaman anggrek (Orchidaceae) di kawasan pegunungan Jawa Tengah telah dilaporkan berdasarkan berbagai penelitian inventarisasi, yang mencatat keberadaan anggrek epifit maupun anggrek terestrial. Keberadaan kedua tipe anggrek tersebut

menunjukkan kemampuan bertahan dan beradaptasi terhadap kondisi lingkungan pegunungan, seperti variasi intensitas cahaya, tingginya kelembapan udara, serta keterbatasan dan variasi substrat tumbuh. (4)

Artikel ini bertujuan untuk mengkaji daya tahan serta keserupaan jenis anggrek yang dapat hidup pada lingkungan berketinggian ekstrem, melalui analisis bentuk adaptasi morfologi, fisiologi, dan ekologi anggrek terhadap berbagai faktor pembatas, seperti suhu yang rendah, tingginya paparan radiasi matahari, perubahan kelembapan yang tidak stabil, serta kondisi tanah dan substrat yang minim, sehingga dapat dipahami pola persebaran dan mekanisme adaptif anggrek dalam mempertahankan kelangsungan hidup di wilayah pegunungan tinggi.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kajian pustaka (literature review) dengan pendekatan naratif-deskriptif, yang bertujuan untuk menghimpun, menganalisis, dan mensintesis berbagai hasil penelitian ilmiah yang relevan mengenai adaptasi, kesamaan spesies, distribusi, serta tantangan konservasi anggrek (Orchidaceae) pada ekosistem pegunungan tinggi di Jawa Tengah, khususnya di Gunung Sindoro, Gunung Sumbing, dan Gunung Slamet.

3. HASIL PENELITIAN

3.1 Karakteristik Habitat 3000 Mdpl (Meter diatas Permukaan Laut)

Pada ketinggian sekitar 3000 mdpl pada lingkungannya itu terdapat faktor-faktor yaitu fisika dan kimia non hidup, yang menentukan struktur serta fungsi pada ekosistem, dibandingkan dengan di tempat dataran rendah itu sangat jauh berbeda karena terdapat perubahan pada tekanan atmosfer, suhu, radiasi, dan sifat tanah. Secara umumnya di ketinggian 3000 mdpl pada suhu udara menurun secara signifikan dengan meningkatnya ketinggian sehingga memiliki musim dengan suhu yang begitu rendah, periode tumbuh lebih pendek, dan fluktuansi suhu harian yang besar. (5)

Selain itu, pada tekanan atmosfer di sekitar 3000 mdpl lebih rendah dari pada di permukaan laut maka dari itu konsentrasi gas-gas seperti oksigen (O₂) dan karbon dioksida (CO₂) juga menurun, sehingga menyebabkan dampak pada fotosintesis tanaman, penurunan tekanan juga meningkatkan penguapan relatif dari permukaan tanah dan daun tanaman. (6)

Radiasi matahari juga meningkat di ketinggian yang tinggi karena lebih sedikit radiasi Ultraviolet (UV) intensitas UV yang tinggi bisa menyebabkan stress oksidatif pada organisme. (7)

Di ketinggian sekitar 3000 mdpl, pola presipitasi lokal memengaruhi air dan kelembapan, dengan curah hujan yang bervariasi berdasarkan angin serta topografi. Secara umum, kelembapan tanah rendah akibat drainase cepat dan lapisan tanah tipis, menyebabkan stres air tinggi pada tanaman alpine meski suhu dingin. Penelitian mengungkapkan bahwa tekanan uap rendah serta radiasi tinggi mempercepat penguapan dari daun dan tanah, menciptakan kondisi efektif kering bagi organisme walau pun curah hujan tak selalu minim. Tanah di ketinggian yang tinggi biasanya lebih tipis, karena kurang zat organik, dan kurang subur pada tanahnya karena udara dingin membuat sampah organik susah membusuk, dan nutrisi penting seperti nitrogen dan fosfor juga sedikit, jadi tanaman dan mikroba selain kedinginan juga kekurangan makanan. (8)

Kondisi abiotik pada Gunung Sumbing terdapat material vulkanik yaitu seperti abu dan lava yang membentuk tanah beragam di lerengnya, tekstur dan strukturnya berbeda-beda dari puncak sampai bawah, di sebagian lereng tanahnya banyak lempung yang gampang longsor karena claynya tinggi dan gampang melebur saat basah penelitian menunjukan lapisan tanah plastisitasnya berbeda-beda yang pengaruh ke kadar air dan bahaya longsor. (9)

Pada kondisi abiotik di Gunung Sindoro tidak jauh berbeda dengan Gunung Sumbing, Analisis fasies vulkaniknya mengungkapkan kombinasi batuan lava dan piroklastik, disertai struktur geomorfologi yang

mencerminkan sejarah erupsi tipe Strombolian, serta pola distribusi lava dan material vulkanik di lereng-lerengnya. Struktur tersebut berdampak pada karakteristik tanah, penyebaran vegetasi, dan risiko erosi di lereng lerengnya. (10)

Pada Gunung Slamet dengan curah hujan tahunan super tinggi yang membuat zona air di sekitarnya sering terjadi surplus atau defisit, faktor cuaca seperti hujan deras dan pola angin muson ini berpengaruh sekali ke kelembaban tanah dan jenis tanaman di sana. Dari sisi geologi, batuan vulkaniknya campur aduk andesit, basaltik, sama piroklastik, beda dari Sumbing dan Sindoro, yang bikin tanah kaya nutrisi seperti Ca, Fe, Mg, cocok buat perbaiki kesuburan. (11)

Walaupun ketiga gunung ini memiliki ketinggian yang relative sama sekitar 3000 mdpl ketiganya memiliki perbedaan struktur geologi vulkanik, jenis produk letusan, iklim mikro setempat (curah hujan dan suhu), serta morfologi lerengnya. Gunung Sumbing memiliki tanah andosol yang terbentuk dari pelapukan vulkanik sementara Sindoro menunjukkan variasi fasies vulkanik yang memengaruhi penyebaran material dan tekstur lereng. Sementara Gunung Slamet, karena curah hujan yang tinggi dan struktur geologi yang lebih kompleks, memiliki dinamika abiotik yang berbeda secara signifikan dalam hal distribusi air tanah, erosi, dan pembentukan tanah.

Anggrek epifit di pegunungan tropis Jawa, termasuk kawasan Sindoro, Sumbing, dan Gunung Slamet pada ketinggian tinggi, umumnya bergantung pada vegetasi hutan sebagai substrat tumbuhnya. Mereka tumbuh menempel pada batang dan dahan pohon dengan karakteristik kulit kasar atau beralur yang mampu menahan kelembapan dan akumulasi serasah, sehingga menyediakan mikrohabitat lembap yang dibutuhkan akar anggrek. Studi-studi di hutan pegunungan Indonesia telah menunjukkan bahwa berbagai spesies pohon seperti *Ficus* spp., *Shorea* spp., dan *Engelhardia* spp. menjadi inang yang mendukung keberadaan anggrek

epifit, dengan distribusi yang sering dipengaruhi oleh struktur kanopi dan ketinggian tempat. (12)

3.2 Analisis Kesamaan Inventaris Spesies Kunci

Berikut ini merupakan genus anggota umum dari Anggrek (*Orhidaceae*) yang paling sering di laporkan di pegunungan tropis Jawa yang kemungkinan overlap di wilayah Gunung Sindoro, Gunung Sumbing dan Gunung Slamet yang dimana cukup tinggi. Dengan Anggrek yang memiliki morfologi dasar yang dibedakan menjadi epifit, yang tumbuh menempel pada pohon dengan akar berlapis velamen untuk menyerap air dari udara serta daun tebal atau lentur sesuai intensitas cahaya, dan terestrial yang hidup di tanah dengan pseudobulb atau tuberkel sebagai penyimpan air serta daun simpodial atau monopodial. (13)

Tabel 1. Macam-macam Famili *Orhidaceae* dan Morfologi Adaptasinya

Jenis	Spesies	Morfologi Adaptasi
<i>Epifit</i>	<i>Bulbophyllum</i> spp.	Daun berukuran kecil hingga sedang dan bertekstur tebal membantu mengurangi transpirasi, sedangkan akar berlapis velamen efektif menyerap air dari hujan dan udara; bunganya memiliki struktur kompleks. (14)
	<i>Appendicula</i> sp.	Batang pendek dengan daun tipis hingga agak lebar untuk efisiensi penangkapan cahaya di bawah kanopi, akar ber-velamen untuk melekat dan menyerap air, serta bunga kecil

	berwarna putih yang berkelompok sebagai adaptasi penyerbukan di hutan tertutup. (14)		di hutan montana. (16)
<i>Liparis sp.</i>	Memiliki pseudobulb kecil–sedang sebagai penyimpan air dan nutrisi, daun tipis dan lebar untuk fotosintesis pada cahaya rendah, serta bunga sederhana yang mendukung efisiensi reproduksi di lingkungan lembap. (15)	<i>Cymbidium sp.</i>	Pseudobulb besar sebagai penyimpan air dan karbohidrat, daun panjang dan sempit untuk efisiensi cahaya dan pengurangan kehilangan air, serta akar kuat untuk penyerapan nutrisi. (13)
<i>Coelogyne spp.</i>	pseudobulb lonjong dan daun tebal berjumlah satu hingga dua helai per pseudobulb. Pseudobulb berfungsi sebagai cadangan air dan energi, sangat penting untuk bertahan pada periode kering di habitat	<i>Vanda sp.</i>	Akar ber-velamen tebal dan fotosintetik untuk penyerapan air dan energi tambahan, daun tebal untuk mengurangi penguapan, serta batang monopodial yang mendukung pertumbuhan vertikal. mengurangi penguapan air. (15)
	Pseudobulb lonjong sebagai cadangan air dan energi, daun tebal berlapis kutikula untuk mengurangi kehilangan air, serta bunga besar dan mencolok dengan labellum kompleks untuk menarik polinator	<i>Phalaenopsis spp.</i>	Daunnya tebal Daun berdaging sebagai penyimpan air, akar ber velamen lebar untuk penyerapan air dan fotosintesis, serta posisi daun menggantung untuk mencegah pembusukan. (16)
		<i>Dendrobium spp.</i>	Batang memanjang sebagai penyimpan air,

		daun gugur atau persisten sesuai lingkungan, serta akar ber-velamen untuk penyerapan air yang efisien. (17)
Terestrial	<i>Thelymitra Javanica</i>	Daun sempit dan tegak untuk mengurangi kehilangan air, batang pendek dan kuat, serta bunga sederhana yang mekar pada cahaya tinggi untuk penyerbukan efisien di lingkungan terbuka. (18)
	<i>Calanthe spp.</i>	Daun lebar dan tipis untuk menangkap cahaya rendah, akar berkembang di tanah lembap kaya bahan organik, mendukung pertumbuhan di lantai hutan. pegunungan yang lembap. (17)

4. PEMBAHASAN

4.1 Analisis Distribusi Vegetasi Anggrek di Ketiga Gunung

Kesamaan jenis anggrek yang ditemukan di Gunung Slamet, Gunung Sindoro, dan Gunung Sumbing terutama disebabkan oleh keseragaman kondisi ekologis pegunungan tropis Jawa Tengah, khususnya pada zona hutan montana bawah hingga montana atas. Ketiga gunung tersebut memiliki karakter iklim yang relatif serupa, yang ditandai oleh suhu udara sejuk berkisar $\pm 10-20^{\circ}\text{C}$, kelembapan udara tinggi, curah

hujan yang besar, serta tutupan hutan yang rapat. Kombinasi faktor-faktor lingkungan ini menciptakan mikrohabitat yang stabil dan sesuai bagi pertumbuhan anggrek, baik anggrek epifit maupun terestrial. Oleh karena itu, genus anggrek yang sama, seperti *Bulbophyllum*, *Coelogyne*, *Appendicula*, *Calanthe*, dan *Pholidota*, mampu bertahan dan berkembang di ketiga gunung tersebut meskipun secara geografis terpisah. Kesamaan iklim dan struktur vegetasi ini menjadi faktor utama yang membentuk pola kesamaan komposisi spesies anggrek di kawasan pegunungan Pulau Jawa. (19)

Selain dipengaruhi oleh keseragaman lingkungan, kesamaan jenis anggrek di Gunung Slamet, Sindoro, dan Sumbing juga diperkuat oleh mekanisme penyebaran biji anggrek yang sangat efisien. Anggrek memiliki strategi reproduksi melalui biji yang berukuran sangat kecil dan ringan, sehingga proses dispersinya terutama berlangsung melalui angin (anemokori). Biji-biji tersebut diproduksi dalam jumlah sangat besar di dalam kapsul buah yang akan pecah ketika matang. Karena ukurannya menyerupai partikel debu, biji anggrek mudah terangkat oleh aliran udara dan dapat tersebar hingga jarak yang jauh dari tanaman induknya. Akibatnya, meskipun ketiga gunung dipisahkan oleh lembah dan topografi yang kompleks, peluang berpindahnya biji dari satu gunung ke gunung lainnya tetap tinggi, sehingga spesies anggrek yang sama dapat ditemukan di Gunung Slamet, Sindoro, dan Sumbing. (20)

Namun demikian, keberhasilan penyebaran biji anggrek tidak hanya ditentukan oleh kemampuan biji untuk mencapai lokasi baru, melainkan juga sangat bergantung pada keberadaan jamur mikoriza anggrek (orchid mycorrhiza), yang merupakan syarat mutlak bagi proses perkecambahan. Jamur mikoriza ini umumnya berkembang pada tanah hutan pegunungan yang lembap serta pada substrat batang pohon tua yang tertutup lumut, kondisi yang secara ekologis serupa dan banyak dijumpai di Gunung Slamet, Sindoro, dan Sumbing. Oleh

karena itu, kesamaan komunitas jamur mikoriza di ketiga gunung memungkinkan biji dari spesies anggrek yang sama untuk berkecambah, tumbuh, dan menetap, sehingga semakin memperkuat pola kesamaan inventaris spesies anggrek antar gunung. (21)

Dengan demikian, kesamaan jenis anggrek di Gunung Slamet, Sindoro, dan Sumbing merupakan hasil interaksi berbagai faktor yang saling berkaitan, yaitu keseragaman lingkungan pegunungan tropis, kemampuan biji anggrek untuk tersebar luas melalui angin, ketergantungan pada jamur mikoriza yang tersebar relatif merata di hutan pegunungan, serta sejarah biogeografi Pulau Jawa yang memiliki konektivitas hutan yang tinggi. Keseluruhan proses tersebut bekerja secara simultan dan membentuk pola distribusi serta kesamaan spesies anggrek yang masih dapat diamati hingga saat ini.

4.2 Ancaman dan Tantangan Konservasi

Perubahan iklim merupakan salah satu ancaman terbesar bagi keberlangsungan anggrek karena secara langsung mengubah kondisi lingkungan tempat anggrek tumbuh, seperti peningkatan suhu, perubahan pola curah hujan, dan pergeseran musim. Mengingat anggrek sangat bergantung pada hubungan simbiotik yang kompleks dengan jamur mikoriza dan organisme penyerbuk, perubahan kecil pada suhu atau kelembapan dapat berdampak signifikan terhadap proses perkecambahan biji, pembungaan, serta keberhasilan siklus hidupnya. Oleh sebab itu, penelitian global menunjukkan bahwa perubahan iklim menjadi ancaman yang terus meningkat, terutama ketika berinteraksi dengan faktor lain seperti kebakaran hutan dan perubahan penggunaan lahan, sehingga diperlukan penetapan prioritas konservasi yang jelas untuk menekan risiko kepunahan anggrek liar. (22)

Sejalan dengan perubahan iklim, kebakaran hutan juga menjadi ancaman nyata bagi keanekaragaman anggrek di hutan tropis pegunungan. Kebakaran

tidak hanya menghancurkan vegetasi inang bagi anggrek epifit, tetapi juga menghilangkan substrat tumbuh serta mengubah struktur mikrohabitat yang dibutuhkan oleh jamur mikoriza untuk mendukung perkecambahan biji anggrek. Ancaman kebakaran semakin meningkat akibat kemarau panjang yang diperparah oleh perubahan iklim, serta aktivitas manusia seperti pembukaan lahan, pembakaran sampah, dan praktik pertanian berbasis api. Berbagai kajian ilmiah menunjukkan bahwa perubahan rezim kebakaran berdampak langsung terhadap penurunan kepadatan populasi dan penyempitan distribusi anggrek di berbagai wilayah. (23)

Selain faktor iklim dan kebakaran, aktivitas pendakian dan pariwisata alam turut memberikan tekanan tambahan terhadap habitat anggrek, khususnya di sepanjang jalur pendakian dan kawasan rekreasi hutan. Intensitas kunjungan manusia dapat menyebabkan penginjakkan tunas anggrek terestrial, kerusakan substrat anggrek epifit, serta penurunan kualitas habitat akibat pelebaran jalur, akumulasi sampah, dan meningkatnya lalu lintas manusia. Oleh karena itu, berbagai studi konservasi botani mengidentifikasi wisata dan rekreasi sebagai salah satu ancaman utama bagi populasi anggrek, terutama karena banyak spesies memiliki populasi yang kecil dan terfragmentasi, yang umumnya terdapat di ekosistem pegunungan tropis. (22)

5. KESIMPULAN

3000 mdpl di wilayah Jawa Tengah merupakan lingkungan dengan tingkat tekanan ekologis tinggi, yang ditandai oleh suhu rendah dengan fluktuasi harian yang tajam, intensitas radiasi ultraviolet yang besar, tekanan atmosfer yang lebih rendah, serta kondisi tanah yang tipis dan miskin unsur hara. Kondisi abiotik tersebut membatasi perkembangan vegetasi sehingga hanya tumbuhan dengan kemampuan adaptasi khusus yang mampu bertahan, termasuk anggrek (Orchidaceae) baik epifit maupun terestrial yang menunjukkan adaptasi morfologis, fisiologis, dan ekologis yang efektif. Meskipun Gunung

Sindoro, Gunung Sumbing, dan Gunung Slamet memiliki ketinggian yang relatif serupa dan dikenal sebagai kawasan "Triple S", ketiganya memperlihatkan perbedaan karakter lingkungan yang nyata, terutama terkait struktur geologi vulkanik, jenis dan tingkat perkembangan tanah, curah hujan, serta iklim mikro. Gunung Sindoro dan Gunung Sumbing umumnya didominasi tanah andosol muda dengan proses pelapukan yang lambat akibat suhu rendah, sedangkan Gunung Slamet memiliki curah hujan tinggi dan keragaman litologi vulkanik yang lebih kompleks sehingga mendukung pembentukan tanah yang relatif lebih subur dan vegetasi yang lebih beragam. Kesamaan komposisi jenis anggrek di ketiga gunung tersebut terutama dipengaruhi oleh kemiripan iklim pegunungan tropis Jawa, kemampuan biji anggrek untuk tersebar luas melalui angin, serta keberadaan jamur mikoriza yang relatif merata pada habitat hutan pegunungan lembap, sehingga pola inventaris anggrek yang serupa terbentuk sebagai hasil interaksi antara faktor lingkungan, proses ekologis, dan sejarah biogeografi Pulau Jawa.

6. SARAN

Berdasarkan hasil kajian ini, diperlukan penelitian lanjutan yang lebih spesifik dan terfokus pada inventarisasi anggrek di zona ketinggian ekstrem, khususnya di atas 2500 mdpl, dengan pendekatan kuantitatif dan pemetaan spasial yang detail. Penelitian yang mengintegrasikan data vegetasi inang, komunitas jamur mikoriza, serta kondisi iklim mikro akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme adaptasi dan distribusi anggrek di pegunungan tinggi. Selain itu, upaya konservasi anggrek di kawasan Gunung Sindoro, Gunung Sumbing, dan Gunung Slamet perlu menjadi prioritas, mengingat meningkatnya ancaman perubahan iklim, kebakaran hutan, dan aktivitas pendakian. Pengelolaan jalur pendakian yang lebih ramah lingkungan, pembatasan aktivitas pada zona sensitif, serta edukasi kepada pendaki dan masyarakat sekitar sangat penting untuk

meminimalkan gangguan terhadap habitat anggrek. Integrasi hasil penelitian ilmiah ke dalam kebijakan konservasi pengelolaan diharapkan kawasan mampu menjaga keberlanjutan ekosistem pegunungan tinggi dan melindungi keanekaragaman anggrek sebagai bagian penting dari kekayaan hayati Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh peneliti dan akademisi yang karya ilmiahnya menjadi rujukan utama dalam penulisan artikel ini. Kontribusi berbagai penelitian terkait keanekaragaman ekologi anggrek pegunungan, (Orchidaceae), adaptasi tumbuhan pada lingkungan ekstrem, serta konservasi keanekaragaman hayati sangat membantu dalam memperkaya analisis dan pembahasan yang disajikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pengelola jurnal ilmiah nasional dan internasional yang telah menyediakan akses terbuka terhadap publikasi ilmiah, tersusunnya sehingga memungkinkan kajian komprehensif. Pustaka ini secara Selain itu, penulis mengapresiasi dukungan dari berbagai pihak, baik dosen pembimbing, rekan akademik, maupun institusi pendidikan yang telah memberikan arahan, masukan, dan motivasi selama proses penyusunan artikel ini. Semoga artikel ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dan menjadi referensi dalam upaya pengelolaan serta konservasi anggrek di ekosistem pegunungan tinggi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Noroozi J, Körner C. A bioclimatic characterization of high elevation habitats in the Alborz mountains of Iran. *Alp Bot.* 2018;128(1):1–11.
2. Ramadhan MF, Samodra G, Nugraha MRS, Mardiatno D. Perbandingan metode multiple linear regression (mlr) dan regression kriging (rk) dalam pemetaan ketebalan tanah digital. *Jtsl j tanah dan sumber lahan.* 2023 Jan 1;10(1):65–74.
3. Helmanto H, Nisyawati, Robiansyah I, Zulkarnaen RN, Fikriyya N. Habitat

- preference and spatial distribution model of threatened species *Saurauia microphylla* in Mt. Slamet, Central Java, Indonesia. *Biodiversitas J Biol Divers* [Internet]. 2020 Jun 9 [cited 2026 Jan 24];21(7). Available from: <https://smujo.id/biodiv/article/view/5793>
4. Prapitasari B, Kurniawan AP. Distribution pattern and diversity of epiphytic orchids in the curug cibereum path, mount gede pangrango, indonesia. *Biotropia*. 2022 Aug 26;29(2):142–9.
 5. Rundel PW, Millar CI. Alpine ecosystems. Zavaleta E Mooney H Eds *Ecosyst Calif Berkeley Calif Univ Calif Press* 613-634 Chapter 29. 2016;613–34.
 6. Wang H, Prentice IC, Davis TW, Keenan TF, Wright IJ, Peng C. Photosynthetic responses to altitude: an explanation based on optimality principles. *New Phytol*. 2017 Feb;213(3):976–82.
 7. Gateva S, Jovtchev G, Angelova T, Nonova T, Tyutyundzhiev N, Geleva E, et al. Effect of UV Radiation and Other Abiotic Stress Factors on DNA of Different Wild Plant Species Grown in Three Successive Seasons in Alpine and Subalpine Regions. *Phyton-Int J Exp Bot*. 2021;91(2):293–313.
 8. Praeg N, Steinwandter M, Urbach D, Snethlage MA, Alves RP, Apple ME, et al. Biodiversity in mountain soils above the treeline. *Biol Rev Camb Philos Soc*. 2025 Oct;100(5):1877–949.
 9. Wida WA, Maas A, Sartohadi J. Pedogenesis of Mt. Sumbing Volcanic Ash above The Alteration Clay Layer in The Formation of Landslide Susceptible Soils in Bompon Sub-Watershed. *Ilmu Pertan Agric Sci*. 2019;4(1):15–22.
 10. Haqiqi JA, Marin J, Winarno T. Pemetaan Fasies Vulkanik berdasarkan Geomorfologi dan Stratigrafi Batuan Gunungapi pada Gunungapi Sindoro, Jawa Tengah. *J Geosains Dan Teknol*. 2019 Mar 31;2(1):24–32.
 11. Zaenurrohman JA, Qur'an MIN, Ismangil I, Siswandi S, Candra A. Volcanic Rock of Slamet Volcano as the Potential of Soil Ameliorant. *Indones J Geosci*. 2024 May 17;11(1):81–90.
 12. Nurfadilah S. Diversity of epiphytic orchids and host trees (phorophytes) in secondary forest of coban trisula, malang regency, east java, indonesia. *Biotropia*. 2015;22(2):120–8.
 13. Zhang S, Yang Y, Li J, Qin J, Zhang W, Huang W, et al. Physiological diversity of orchids. *Plant Divers*. 2018 Aug 1;40(4):196–208.
 14. Yani I, Susanto LH, Kamila HA, Maulidina W, Dstyara V, Jasmine DN. Analisis Keanekaragaman Jenis Anggrek (Orchidaceae) di Resort PTN Wilayah II Selabintana Sukabumi Taman Nasional Gunung Gede Pangrango (TNGGP) Jawa Barat. *J Green Growth Dan Manaj Lingkung*. 2022 Feb 2;11(1):50–5.
 15. Antonius A. Inventarisasi anggrek (orchidaceae) di kawasan hutan lindung bukit betung kenepai sintang kalimantan barat. *Piper*. 2023 Nov 9;19(2):161–70.
 16. Mardiyana M, Murningsih M, Utami S. Inventarisasi Anggrek (Orchidaceae) Epifit di Kawasan Hutan Petungkriyono Pekalongan Jawa Tengah. *J Akad Biol*. 2019 Jul 30;8(2):1–7.
 17. Merinda AS, Susatya A, Erniwati. Keanekaragaman jenis anggrek (orchidaceae) di suaka margasatwa isau-isau wilayah kerja resor konservasi wilayah ix kecamatan semendo darat laut kabupaten muara enim sumatera selatan. *J Glob For Environ Sci*. 2023 Dec 31;3(2):57–75.
 18. Irvani D, Susandarini R. Keanekaragaman spesies anggrek di jalur pendakian Cemara Kandang, Gunung Lawu, Jawa Tengah. *J Biol Udayana* [Internet]. 2022 [cited 2026 Jan 24];26(2). Available from: https://www.researchgate.net/publication/366969456_Keanekaragaman_spesies_anggrek_di_jalur_pendakian_Cemara_Kandang_Gunung_Lawu_Jawa_Tengah

19. Givnish TJ, Spalink D, Ames M, Lyon SP, Hunter SJ, Zuluaga A, et al. Orchid historical biogeography, diversification, Antarctica and the paradox of orchid dispersal. *J Biogeogr.* 2016;43(10):1905–16.
20. Karremans AP, Watteyn C, Scaccabarozzi D, Pérez-Escobar OA, Bogarín D. Evolution of Seed Dispersal Modes in the Orchidaceae: Has the Vanilla Mystery Been Solved? *Horticulturae.* 2023 Nov 27;9(12):1270–1270.
21. Li T, Wu S, Yang W, Selosse MA, Gao J. How Mycorrhizal Associations Influence Orchid Distribution and Population Dynamics. *Front Plant Sci* [Internet]. 2021 May 7 [cited 2026 Jan 24];12. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.647114/full>
22. Wraith J, Pickering C. Quantifying anthropogenic threats to orchids using the IUCN Red List. *Ambio.* 2018 Apr;47(3):307–17.
23. Fay MF, Andriamahefarivo L, Bachman SP, Brown MJM, Calevo J, Campbell T, et al. How threatened are orchids? A review of the state of play and identification of gaps and priorities. *Biodivers Conserv.* 2025 Dec 1;34(14):5075–115.