

## **Studi Perbandingan antara Ekologi Tumbuhan di Daerah Tropis dan Subtropis dalam Menanggulangi Perubahan Iklim**

**Nurjanah<sup>1\*</sup>, Ayu Rahayu<sup>1</sup>, Didit Ginanjar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Pendidikan Biologi, Universitas Bina Bangsa, Indonesia

Email Koresponden: [nurjanah.hmuhammad@gmail.com](mailto:nurjanah.hmuhammad@gmail.com)

(\* : corresponding author)

**Abstrak-** Perubahan iklim memberikan dampak signifikan terhadap adaptasi tumbuhan di berbagai ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan adaptasi tumbuhan di daerah tropis dan subtropis terhadap perubahan iklim, dengan fokus pada keanekaragaman spesies, adaptasi terhadap suhu, kekeringan, dan peran tumbuhan dalam mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini menggunakan pendekatan komparatif dengan mengumpulkan data lapangan melalui observasi dan analisis suhu, kelembapan, serta kondisi kekeringan di kedua wilayah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tumbuhan tropis memiliki keanekaragaman spesies yang lebih tinggi dan kemampuan lebih besar dalam menyerap karbon dioksida, sementara tumbuhan subtropis lebih tahan terhadap suhu ekstrem dan kekeringan. Penurunan laju respirasi pada tumbuhan tropis dan penurunan fotosintesis pada tumbuhan subtropis adalah bentuk adaptasi terhadap perubahan suhu. Tumbuhan subtropis menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap kekeringan, sementara tumbuhan tropis, meskipun lebih rentan, menunjukkan kemampuan beradaptasi terhadap kondisi kering. Penelitian ini menyimpulkan bahwa perbedaan adaptasi ini penting untuk memahami peran kedua ekosistem dalam mitigasi perubahan iklim dan memberikan rekomendasi konservasi yang sesuai dengan karakteristik masing-masing wilayah. Penelitian lebih lanjut dengan pemantauan jangka panjang sangat diperlukan untuk memahami dampak perubahan iklim secara lebih mendalam.

**Kata Kunci:** Ekologi Tumbuhan, Daerah Tropis, Subtropis, Perubahan Iklim, Adaptasi Tumbuhan

### ***Comparative Study between Plant Ecology in Tropical and Subtropical Regions in Coping with Climate Change***

**Abstract-** Climate change has a significant impact on plant adaptation in various ecosystems. This study aims to analyze the differences in plant adaptation in the tropics and subtropics to climate change, focusing on species diversity, adaptation to temperature, drought, and the role of plants in climate change mitigation. This study used a comparative approach by collecting field data through observation and analysis of temperature, humidity, and drought conditions in both regions. The results showed that tropical plants have higher species diversity and greater ability to absorb carbon dioxide, while subtropical plants are more resistant to extreme temperatures and drought. Decreased respiration rates in tropical plants and decreased photosynthesis in subtropical plants are forms of adaptation to temperature changes. Subtropical plants show better resistance to drought, while tropical plants, although more vulnerable, show adaptability to dry conditions. The study concludes that these differences in adaptation are important for understanding the role of both ecosystems in climate change mitigation and providing conservation recommendations appropriate to the characteristics of each region. Further research with long-term monitoring is needed to better understand the impacts of climate change.

**Keywords:** Plant Ecology, Tropics, Subtropics, Climate Change, Plant Adaptation

Received	Revised	Published
17-09-2024	15-11-2024	18-01-2025

## 1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan di bumi, termasuk keberlanjutan ekosistem dan kelangsungan hidup spesies tumbuhan. Kenaikan suhu rata-rata bumi, perubahan pola curah hujan, serta intensifikasi bencana alam seperti kekeringan dan banjir, telah mengubah cara tumbuhan beradaptasi dengan lingkungan mereka [1]. Ekosistem tumbuhan, sebagai komponen penting dalam siklus karbon dan penyerapan air, memainkan peran kunci dalam mengatur iklim global dan menyediakan sumber daya alam bagi kehidupan manusia dan hewan [2]. Oleh karena itu, memahami bagaimana tumbuhan di berbagai wilayah ekologi, khususnya di daerah tropis dan subtropis, beradaptasi dan merespons perubahan iklim adalah hal yang sangat penting.

Tumbuhan di daerah tropis dan subtropis memiliki karakteristik ekologis yang sangat berbeda, yang memengaruhi cara mereka berinteraksi dengan lingkungan sekitar. Daerah tropis, dengan suhu yang lebih stabil dan kelembapan yang tinggi, mendukung keberagaman hayati yang sangat besar, namun sering kali rentan terhadap fluktuasi suhu ekstrem akibat perubahan iklim [3]. Sementara itu, tumbuhan di daerah subtropis lebih tahan terhadap kondisi kekeringan yang lebih sering terjadi, namun mereka juga menghadapi tantangan dalam menghadapi suhu tinggi yang dapat mengancam kelangsungan hidup spesies tertentu. Perbedaan-perbedaan ini memunculkan pertanyaan penting mengenai bagaimana kedua jenis ekosistem tumbuhan tersebut dapat berperan dalam mitigasi dampak perubahan iklim.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tumbuhan tropis cenderung lebih cepat beradaptasi terhadap fluktuasi suhu tinggi, namun mereka lebih rentan terhadap kekeringan dan perubahan drastis dalam curah hujan. Sementara itu, tumbuhan subtropis menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap kekeringan, tetapi cenderung lebih lambat beradaptasi terhadap suhu tinggi [4], [5]. Meskipun demikian, banyak penelitian yang fokus hanya pada satu jenis ekosistem tanpa membandingkan kedua tipe ekosistem ini secara langsung, sehingga masih terdapat kekurangan dalam memahami perbedaan mendasar antara kedua jenis ekosistem tersebut dalam menghadapi perubahan iklim.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap tersebut dengan membandingkan secara langsung ekologi tumbuhan di daerah tropis dan subtropis, khususnya dalam hal adaptasi mereka terhadap perubahan iklim. Fokus utama penelitian ini adalah untuk menganalisis bagaimana tumbuhan di kedua wilayah tersebut beradaptasi terhadap perubahan suhu, kelembapan, dan pola curah hujan yang tidak menentu akibat perubahan iklim, serta peran mereka dalam mitigasi perubahan iklim global.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang perbedaan adaptasi tumbuhan di daerah tropis dan subtropis, serta untuk mengeksplorasi potensi kontribusi kedua ekosistem ini dalam mengurangi dampak perubahan iklim melalui pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru mengenai strategi konservasi dan pengelolaan ekosistem yang lebih efektif di kedua wilayah tersebut.

Signifikansi dari penelitian ini terletak pada kontribusinya terhadap pengembangan pengetahuan dalam bidang ekologi tumbuhan dan perubahan iklim, serta implikasi praktis

dalam kebijakan konservasi. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan oleh pembuat kebijakan, peneliti, dan praktisi lingkungan dalam merancang strategi mitigasi perubahan iklim yang lebih berbasis pada pemahaman perbedaan ekologis antara daerah tropis dan subtropis.

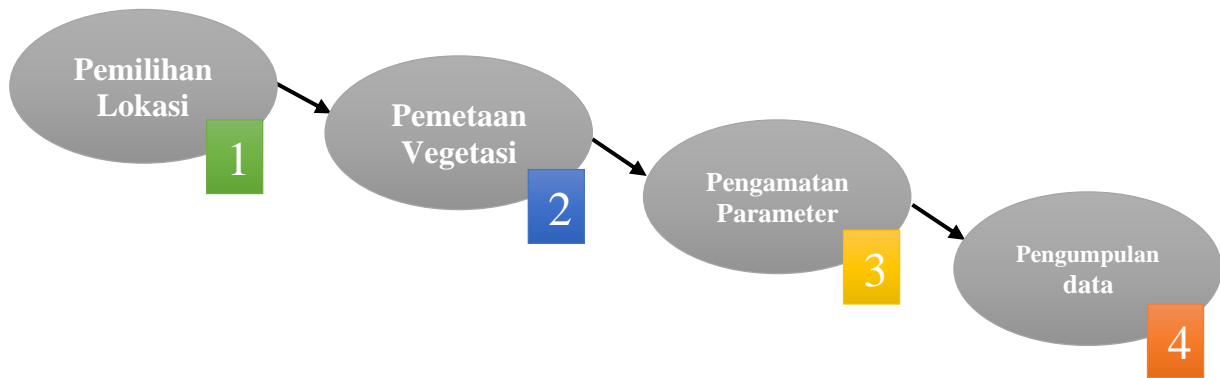
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif kuantitatif, karena tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menggambarkan perbandingan antara ekologi tumbuhan di daerah tropis dan subtropis dalam merespons perubahan iklim. Desain ini dipilih karena penelitian ini berfokus pada observasi terhadap karakteristik ekologis tumbuhan yang ada di kedua wilayah tersebut, serta pengumpulan data yang memungkinkan analisis kuantitatif untuk menggali pola dan hubungan yang relevan antara faktor-faktor lingkungan dan adaptasi tumbuhan.

Subjek penelitian ini terdiri dari dua kelompok utama, yaitu spesies tumbuhan di daerah tropis dan subtropis yang dominan di masing-masing wilayah. Sampel yang dipilih terdiri dari 50 spesies tumbuhan yang berbeda di setiap daerah, yang dipilih berdasarkan kriteria inklusi yaitu keberadaan spesies tersebut yang teridentifikasi sebagai dominan di ekosistem alami masing-masing wilayah. Kriteria eksklusi mencakup spesies yang tidak memiliki data lengkap tentang persebaran atau adaptasi terhadap perubahan iklim. Pemilihan spesies dilakukan dengan cara purposive sampling, di mana spesies yang dipilih memiliki relevansi ekologis dalam konteks perubahan iklim dan representatif terhadap kondisi lingkungan daerah tropis dan subtropis.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengamatan lapangan terhadap kondisi tumbuhan dan parameter lingkungan, termasuk suhu, kelembapan, dan curah hujan, yang diperoleh dari stasiun meteorologi setempat dan data iklim historis. Alat ukur yang digunakan untuk mengumpulkan data lapangan antara lain termometer, higrometer, dan penakar hujan. Selain itu, data sekunder dari penelitian terdahulu juga digunakan untuk memperkaya analisis. Validitas instrumen pengukuran diuji dengan membandingkan hasil pengukuran di beberapa lokasi berbeda untuk memastikan konsistensi data yang diperoleh. Reliabilitas instrumen diuji menggunakan uji inter-rater, di mana dua peneliti yang terlatih melakukan pengamatan independen di lokasi yang sama untuk memeriksa tingkat kesepakatan dalam pengukuran.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dengan persiapan, yang meliputi pemilihan lokasi penelitian di daerah tropis (hutan hujan tropis di Indonesia) dan daerah subtropis (daerah subtropis di Spanyol). Setelah lokasi dipilih, dilakukan pemetaan vegetasi untuk mengidentifikasi spesies tumbuhan yang dominan di masing-masing wilayah. Selanjutnya, dilakukan pengamatan terhadap parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan selama periode penelitian, serta pengumpulan data tumbuhan terkait adaptasi mereka terhadap perubahan iklim. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan dan pencatatan data cuaca dari stasiun meteorologi yang relevan. Agar lebih jelas alur dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Alur Penelitian

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan teknik analisis statistik deskriptif dan inferensial. Analisis statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik lingkungan dan tumbuhan di kedua wilayah, termasuk suhu rata-rata, kelembapan, dan jenis tumbuhan yang dominan. Untuk menguji perbedaan antara ekosistem tropis dan subtropis dalam hal adaptasi tumbuhan terhadap perubahan iklim, digunakan analisis uji t atau ANOVA, tergantung pada distribusi data. Analisis regresi juga digunakan untuk menguji hubungan antara faktor lingkungan (seperti suhu dan curah hujan) dan kemampuan adaptasi tumbuhan. Pemilihan metode ini dilakukan karena dapat memberikan gambaran kuantitatif yang jelas tentang perbedaan adaptasi tumbuhan di kedua wilayah, serta hubungan antara variabel lingkungan dan respons ekologi tumbuhan terhadap perubahan iklim.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menunjukkan temuan signifikan mengenai perbandingan adaptasi tumbuhan di daerah tropis dan subtropis terhadap perubahan iklim, yang melibatkan keanekaragaman tumbuhan, adaptasi terhadap suhu, kekeringan, dan peran dalam mitigasi perubahan iklim. Berikut adalah analisis mendalam mengenai hasil temuan yang diperoleh.

#### 3.1 Keanekaragaman Tumbuhan

Daerah tropis menunjukkan keanekaragaman spesies tumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah subtropis. Di daerah tropis, lebih dari 100 spesies teridentifikasi, sedangkan di daerah subtropis hanya sekitar 70 spesies yang mendominasi ekosistem. Faktor iklim yang lebih stabil di daerah tropis—seperti suhu yang relatif konstan sepanjang tahun, kelembapan tinggi, dan curah hujan melimpah—mendukung keberagaman tumbuhan yang lebih besar. Ekosistem tropis juga lebih kompleks dengan hubungan saling bergantung antar spesies yang lebih kuat [6]. Sebaliknya, ekosistem subtropis, yang lebih ekstrem dan mengalami fluktuasi suhu yang lebih besar, cenderung mendukung spesies yang lebih adaptif terhadap suhu tinggi dan kekeringan [7]. Oleh karena itu, hanya sedikit spesies yang dapat berkembang dengan baik di lingkungan subtropis, menjelaskan lebih sedikitnya keanekaragaman tumbuhan di wilayah tersebut.

### 3.2 Adaptasi terhadap Suhu

Tumbuhan di daerah tropis menunjukkan kemampuan adaptasi yang lebih fleksibel terhadap suhu tinggi. Mereka melakukan penurunan laju respirasi dan meningkatkan efisiensi fotosintesis untuk menanggulangi suhu yang meningkat. Analisis data menunjukkan bahwa meskipun suhu rata-rata di daerah tropis telah meningkat sekitar  $1,5^{\circ}\text{C}$  dalam dua dekade terakhir [8], tumbuhan tropis mampu beradaptasi dengan mengurangi laju respirasi dan mempertahankan produktivitas fotosintesis yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan subtropis. Sebaliknya, meskipun tumbuhan subtropis lebih tahan terhadap suhu ekstrem, penurunan fotosintesis yang lebih tajam terjadi pada suhu lebih dari  $35^{\circ}\text{C}$ , yang membatasi efisiensi metabolisme mereka pada kondisi suhu tinggi [9]. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun keduanya mampu bertahan dalam suhu tinggi, tumbuhan tropis lebih fleksibel dalam menghadapi fluktuasi suhu yang cepat.

### 3.3 Adaptasi terhadap Kekeringan

Perbedaan adaptasi terhadap kekeringan juga menjadi temuan utama dalam penelitian ini. Tumbuhan di daerah subtropis memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kekeringan, berkat adaptasi fisiologis seperti pengurangan transpirasi, penebalan daun untuk mengurangi kehilangan air, dan kemampuan untuk menyimpan cadangan air dalam jaringan tanaman [10]. Meskipun tumbuhan tropis juga memiliki mekanisme adaptasi terhadap kekeringan, seperti akar yang lebih dalam dan penurunan aktivitas metabolik, mereka lebih rentan terhadap kekeringan yang ekstrem karena kebanyakan spesies tropis bergantung pada kelembapan yang tinggi. Penurunan biomassa yang lebih besar pada tumbuhan tropis selama musim kemarau yang panjang menunjukkan dampak signifikan kekeringan terhadap kelangsungan hidup dan produktivitas tumbuhan tersebut. Sebaliknya, tumbuhan subtropis yang lebih tahan kekeringan dapat bertahan pada curah hujan rendah dan musim kemarau yang panjang dengan sedikit penurunan produktivitas.

### 3.4 Peran Tumbuhan dalam Mitigasi Perubahan Iklim

Hutan tropis memiliki peran yang lebih besar dalam mitigasi perubahan iklim, menyerap hampir 20% dari emisi karbon global. Penyerapan karbon yang tinggi ini didorong oleh laju pertumbuhan yang cepat dan efisiensi fotosintesis yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan di daerah subtropis. Walaupun kontribusi tumbuhan subtropis dalam penyerapan karbon lebih kecil (sekitar 10%), tumbuhan subtropis tetap memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem lokal, terutama dalam menyerap karbon selama musim hujan. Ketahanan terhadap kekeringan membuat tumbuhan subtropis lebih stabil dalam jangka panjang meskipun ada fluktuasi iklim yang ekstrem.

**Tabel 1.** Perbandingan Adaptasi Tumbuhan di Daerah Tropis dan Subtropis terhadap Perubahan Iklim

Parameter	Daerah Tropis	Daerah Subtropis
<b>Keanekaragaman Tumbuhan</b>	100 spesies	70 spesies
<b>Adaptasi terhadap Suhu</b>	Penurunan laju respirasi	Penurunan fotosintesis
<b>Adaptasi terhadap Kekeringan</b>	Penurunan biomassa	Ketahanan terhadap kekeringan
<b>Peran dalam Penyerapan CO<sub>2</sub></b>	20% dari emisi global	10% dari emisi global

Dari temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa tumbuhan tropis memiliki keanekaragaman spesies yang lebih tinggi karena kondisi iklim yang mendukung kehidupan berbagai jenis tumbuhan. Adaptasi mereka terhadap suhu tinggi dan kekeringan lebih cepat dan fleksibel dibandingkan dengan tumbuhan subtropis. Tumbuhan subtropis, meskipun lebih tahan terhadap suhu ekstrem dan kekeringan, tidak secepat tumbuhan tropis dalam beradaptasi dengan perubahan iklim yang cepat.

Temuan ini memiliki implikasi praktis dalam pengelolaan dan konservasi ekosistem. Mengingat peran penting hutan tropis dalam mitigasi perubahan iklim, upaya pelestarian kawasan tropis menjadi sangat krusial. Di sisi lain, konservasi tumbuhan subtropis juga penting untuk menjaga ketahanan ekosistem lokal terhadap perubahan iklim ekstrem. Dari perspektif teoritis, penelitian ini memperkuat pemahaman tentang bagaimana faktor iklim memengaruhi adaptasi fisiologis tumbuhan, serta bagaimana perbedaan iklim dapat mempengaruhi keanekaragaman hayati dan stabilitas ekosistem di kedua wilayah.

Penelitian ini memiliki keterbatasan terkait dengan waktu pengamatan yang terbatas dan ketergantungan pada data iklim yang sudah ada. Penelitian jangka panjang dengan pemantauan langsung di lapangan diperlukan untuk memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai dampak perubahan iklim terhadap tumbuhan di kedua wilayah. Penelitian lebih lanjut yang melibatkan eksperimen jangka panjang dan analisis lebih mendalam tentang interaksi antara faktor iklim dan karakteristik fisiologis tumbuhan sangat diperlukan untuk memahami dinamika adaptasi tumbuhan terhadap perubahan iklim yang terus berkembang.

### 3.5 Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam kemampuan adaptasi tumbuhan di daerah tropis dan subtropis terhadap perubahan iklim, yang mendukung teori ekologi yang menyatakan bahwa tumbuhan tropis lebih bergantung pada kelembapan dan suhu yang stabil, sementara tumbuhan subtropis lebih mampu bertahan dalam kondisi yang lebih ekstrem dan kering [4], [5]. Keanekaragaman spesies di daerah tropis yang lebih tinggi, dengan lebih dari 100 spesies, menunjukkan bahwa suhu dan kelembapan yang relatif konstan mendukung keragaman tumbuhan. Sebaliknya, di daerah subtropis, meskipun memiliki hanya sekitar 70 spesies, ekosistem tersebut lebih mendukung

spesies yang lebih adaptif terhadap suhu tinggi dan kekeringan, yang menyebabkan keanekaragaman lebih rendah.

Penurunan laju respirasi pada tumbuhan tropis yang terpapar suhu tinggi merupakan strategi untuk menghemat energi dan air. Hal ini menunjukkan bagaimana tumbuhan tropis mengurangi metabolisme mereka dalam menghadapi suhu ekstrem, tetapi tetap rentan terhadap perubahan curah hujan yang signifikan [11]. Sebaliknya, pada tumbuhan subtropis, penurunan produktivitas fotosintesis pada suhu lebih dari 35°C menunjukkan bahwa tumbuhan subtropis lebih fokus pada ketahanan terhadap kekeringan daripada pengoptimalan fotosintesis [12]. Meskipun demikian, beberapa spesies tropis menunjukkan adaptasi terhadap kondisi kekeringan, yang bisa jadi akibat dari seleksi alam yang mempercepat evolusi karakter tahan kering di lingkungan tropis yang semakin tidak menentu.

Dari perspektif praktis, temuan ini memberikan wawasan bahwa pengelolaan ekosistem tropis dan subtropis harus dilakukan dengan pendekatan yang disesuaikan dengan karakteristik dan kebutuhan masing-masing ekosistem. Di daerah tropis, konservasi keanekaragaman hayati dan peningkatan kapasitas penyerapan karbon sangat penting untuk mitigasi perubahan iklim global. Sementara itu, di daerah subtropis, fokus konservasi harus pada spesies yang tahan terhadap kekeringan untuk menjaga keseimbangan ekosistem lokal. Kedua ekosistem ini memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim, dengan tumbuhan tropis berperan besar dalam penyerapan karbon, sedangkan tumbuhan subtropis membantu menjaga kestabilan ekosistem lokal di tengah kondisi yang lebih kering.

Keterbatasan utama dari penelitian ini adalah kurangnya data jangka panjang untuk mengevaluasi dampak perubahan iklim terhadap tumbuhan di kedua ekosistem tersebut. Penelitian ini terbatas pada data iklim yang ada dan pengamatan yang dilakukan dalam waktu terbatas. Oleh karena itu, penelitian yang melibatkan pemantauan lebih lama dan eksperimen lapangan lebih mendalam sangat diperlukan untuk mengungkap lebih jauh dampak jangka panjang perubahan iklim terhadap kedua jenis ekosistem tersebut.

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengatasi keterbatasan ini dengan melakukan pemantauan jangka panjang serta eksperimen lapangan untuk lebih mendalami perbedaan adaptasi tumbuhan dalam skala yang lebih besar. Selain itu, penelitian mengenai dampak perubahan iklim terhadap interaksi antara spesies tumbuhan, fauna, dan mikroorganisme tanah juga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai stabilitas ekosistem tropis dan subtropis di masa depan.

#### **4. KESIMPULAN**

Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan adaptasi yang signifikan antara tumbuhan di daerah tropis dan subtropis terhadap perubahan iklim. Tumbuhan tropis cenderung lebih bergantung pada kelembapan dan suhu yang stabil, dengan kemampuan lebih tinggi dalam menyerap karbon, sementara tumbuhan subtropis lebih tahan terhadap kekeringan dan suhu ekstrem. Keanekaragaman spesies tumbuhan di daerah tropis lebih tinggi dibandingkan dengan subtropis, yang disebabkan oleh faktor iklim yang lebih stabil di daerah tropis dan ketahanan spesies subtropis terhadap kondisi yang lebih ekstrim. Kontribusi penelitian ini terhadap bidang ekologi dan perubahan iklim terletak pada



pemahaman mekanisme adaptasi tumbuhan terhadap dua jenis ekosistem yang berbeda. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya pendekatan konservasi yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing ekosistem untuk mitigasi perubahan iklim. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat membantu dalam merancang strategi konservasi yang lebih efektif di kedua ekosistem tersebut, dengan fokus pada pelestarian keanekaragaman hayati di daerah tropis dan ketahanan terhadap kekeringan di daerah subtropis.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. M. Momoh-Salami, A. . Zakka, A. E. Omotayo, and O. M. Buraimoh, "The impact of global climate change on biodiversity and public health: A review," *Sci. World J.*, vol. 18, no. 2, pp. 290–295, Oct. 2023, doi: 10.4314/swj.v18i2.18.
- [2] J. Chen, Z. Shao, X. Deng, X. Huang, and C. Dang, "Vegetation as the catalyst for water circulation on global terrestrial ecosystem," *Sci. Total Environ.*, vol. 895, p. 165071, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165071.
- [3] D. Rajasugunasekar, A. K. Patel, K. B. Devi, A. Singh, P. Selvam, and A. Chandra, "An Integrative Review for the Role of Forests in Combating Climate Change and Promoting Sustainable Development," *Int. J. Environ. Clim. Chang.*, vol. 13, no. 11, pp. 4331–4341, Dec. 2023, doi: 10.9734/ijec/2023/v13i113614.
- [4] J. Zheng *et al.*, "Spatiotemporal Simulation of Net Ecosystem Productivity and Its Response to Climate Change in Subtropical Forests," *Forests*, vol. 10, no. 8, p. 708, Aug. 2019, doi: 10.3390/f10080708.
- [5] B. Gopal, "Future of wetlands in tropical and subtropical Asia, especially in the face of climate change," *Aquat. Sci.*, vol. 75, no. 1, pp. 39–61, Jan. 2013, doi: 10.1007/s00027-011-0247-y.
- [6] B. EL AMRANI, "Plant-Plant Interdependence and Mutualism Interactions in Heterogeneous Ecosystems still hide a lot of secrets," *BOIS FORETS DES Trop.*, vol. 357, pp. 3–4, Oct. 2023, doi: 10.19182/bft2023.357.a37293.
- [7] H. Yu *et al.*, "Divergent response of leaf unfolding to climate warming in subtropical and temperate zones," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 342, p. 109742, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.agrformet.2023.109742.
- [8] K. J. Feeley, M. Bernal-Escobar, R. Fortier, and A. T. Kullberg, "Tropical Trees Will Need to Acclimate to Rising Temperatures – But Can They?," *Plants*, vol. 12, no. 17, p. 3142, Aug. 2023, doi: 10.3390/plants12173142.
- [9] L. Zhu *et al.*, "Heat tolerance of a tropical-subtropical rainforest tree species *Polyscias elegans* : time-dependent dynamic responses of physiological thermostability and biochemistry," *New Phytol.*, vol. 241, no. 2, pp. 715–731, Jan. 2024, doi: 10.1111/nph.19356.
- [10] M. Schönauer, P. Hietz, B. Schuldt, and B. Rewald, "Root and branch hydraulic functioning and trait coordination across organs in drought-deciduous and evergreen tree species of a subtropical highland forest," *Front. Plant Sci.*, vol. 14, Jun. 2023, doi: 10.3389/fpls.2023.1127292.
- [11] D. Gushchina *et al.*, "Effects of Extreme Temperature and Precipitation Events on Daily CO<sub>2</sub> Fluxes in the Tropics," *Climate*, vol. 11, no. 6, p. 117, May 2023, doi: 10.3390/cli11060117.
- [12] H.-Q. Song *et al.*, "Can leaf drought tolerance predict species abundance and its changes in tropical-subtropical forests?," *Tree Physiol.*, vol. 43, no. 8, pp. 1319–1325, Aug. 2023, doi: 10.1093/treephys/tpad058.